

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО**

Журнал заснований у 1918 році

**ВЧЕНІ ЗАПИСКИ
ТАВРІЙСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ІМЕНІ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО**

Серія: Технічні науки

Том 29 (68) № 2 2018

**Київ
2018**

Головний редактор:

Кисельов Володимир Борисович – доктор технічних наук, професор, директор Навчально-наукового інституту муніципального управління та міського господарства Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського.

Члени редакційної колегії:

Медведєв Микола Георгійович (відповідальний секретар) – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Домніч Володимир Іванович – кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Дубко Валерій Олексійович – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Єремєєв Ігор Семенович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Лисенко Олександр Іванович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Кузьменко Борис Володимирович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Огородник Станіслав Станіславович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Чумаченко Сергій Миколайович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Цомко Олена – доктор філософії по спеціальності «Безпека і управління інформацією», відділення комп'ютерної інженерії, Інститут Міжнародної освіти, Університет Донгсо, Республіка Корея.

**Рекомендовано до друку та поширення через мережу Internet
Вченою радою Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського
(протокол № 10 від 12.06.2018 року)**

Науковий журнал «Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки» зареєстровано Міністерством юстиції України (Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого ЗМІ серія КВ № 22895-12795Р від 11.08.2017 року)

Журнал включено до Переліку наукових фахових видань України з технічних наук відповідно Наказу Міністерства освіти і науки України від 28.12.2017 № 1714 (додаток 7)

Сторінка журналу: www.tech.vernadskyjournals.in.ua

ЗМІСТ

ПРИКЛАДНА ГЕОМЕТРІЯ, ІНЖЕНЕРНА ГРАФІКА ТА ЕРГОНОМІКА

Бадаев Ю.И., Ганношина И.Н., Лагодина Л.П. СЕГМЕНТ РАЦИОНАЛЬНОЙ КРИВОЙ БЕЗЪЕ 5-Й СТЕПЕНИ С ЗАДАНЫМИ КРИВИЗНАМИ НА КОНЦАХ СЕГМЕНТА.....	1
Броварець О.О. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РОБОЧИХ ПАРАМЕТРІВ ТА РЕЖИМІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ЛОКАЛЬНОГО ОПЕРАТИВНОГО МОНІТОРИНГУ ВАРІАБЕЛЬНОСТІ АГРОБІОЛОГІЧНОГО СТАНУ ҐРУНТОВОГО СЕРЕДОВИЩА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ УГІДЬ ЗАЛЕЖНО ВІД МЕХАНІКО-КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ТА ТИПУ ПІДВІСКИ ЇЇ РОБОЧИХ ЕЛЕКТРОДІВ.....	5
Реута О.В., Хабраман Хаді ПОБУДОВА 3D-ВЕЙВЛЕТІВ ХААРА ДЛЯ ЗАДАЧ АНАЛІЗУ ДИСКРЕТНИХ МОДЕЛЕЙ ПРОСТОРОВИХ ФОРМ.....	14
ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ У МАШИНОБУДУВАННІ	
Равська Н.С., Парненко В.С. ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОМЕТРІЇ ЗАДНЬОЇ ПОВЕРХНІ РІЗАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ ДИСКОВИХ ОБКАТНИХ ФРЕЗ З НЕРІВНОМІРНИМ КРОКОМ.....	19
ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ	
Дзержинська О.В. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ВЗАЄМОДІЇ ОПОРНОЇ ПОВЕРХНІ КРОКУЮЧОГО РУШІЯ З ҐРУНТОМ	24
АВІАЦІЙНА ТА РАКЕТНО-КОСМІЧНА ТЕХНІКА	
Шмельов Ю.М., Владов С.І., Клімова Я.Р. МОДЕЛЮВАННЯ ГАЗОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ, ЩО ПРОТІКАЮТЬ У ДВИГУНІ ВЕРТОЛЬОТУ МІ-8МТВ.....	29
Щербань А.П. СПОСІБ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРЯДНИХ ПРОЦЕСІВ У ДжЕРЕЛАХ ЖИВЛЕННЯ БЕЗПЛОТНИХ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН ТА АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ.....	35
КОРАБЛЕБУДУВАННЯ	
Garbuz S.K., Titov S.D. THE STAKEHOLDERS' MANAGEMENT OF THE EDUCATIONAL PROJECT BASED ON THE APPLICATION OF OPTIMAL STRATEGIES FOR MATRIX GAME	41
ЕЛЕКТРОТЕХНІКА	
Лободзинський В.Ю., Довгаль М.О., Мудрик В.І. КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ПОШКОДЖЕННІ КАБЕЛЬНОЇ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ.....	46
ПРИЛАДИ	
Цокота М.В., Тимчик Г.С. МЕХАНІЗМИ ЛАЗЕРНОЇ ТЕРМІЧНОЇ ВЗАЄМОДІЇ З БІОЛОГІЧНИМИ ТКАНИНАМИ.....	52

РАДИОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

Максимюк Т.А., Думич С.С., Брич М.В., Яремко О.М. МЕТОД АДАПТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ НЕЛІЦЕНЗІЙНИХ РАДІОЧАСТОТНИХ РЕСУРСІВ ОПЕРАТОРАМИ МЕРЕЖ LTE.....	58
Мацуї А.М., Кондратець В.О. РАДІОКАНАЛ ДЛЯ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ З ОБЕРТОВИХ ЧАСТИН АГРЕГАТИВ НА НЕРУХОМІ	64
Михальчан В.С. ДВУХЭТАПНИЙ ВИСОКОСКОРОСТНОЇ ІТЕРАЦІОННИЙ АЛГОРИТМ АДАПТИВНОЇ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ.....	73
Пиротти Е.Л., Злепко С.М., Кривонос В.Е. КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ІСПОЛЬЗУВАННЯ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ МЕДИЦИНСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	78
Семенов А.О. РАДІОЕЛЕКТРОННИЙ ПРИСТРІЙ ФОРМУВАННЯ СИГНАЛІВ ДЕТЕРМІНОВАНОГО ХАОСУ НА ОСНОВІ НЕЛІНІЙНОЇ СИСТЕМИ ДУФФІНГА-ХОЛМСА.....	84
Скулиш М.А., Романов О.І., Глоба Л.С. ПРИНЦИП ОБСЛУГОВУВАННЯ ПОТОКІВ У ГЕТЕРОГЕННОМУ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОМУ СЕРЕДОВИЩІ	92
Ямненко Ю.С., Терещенко Т.О., Хохлов Ю.В., Бучек П.І., Клепач Л.Є. УЗАГАЛЬНЕНЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ ДИСКРЕТНИХ ФУНКЦІЙ В ОБЕРТОВІЙ СИСТЕМІ КООРДИНАТ ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ В СИСТЕМАХ ЗВ'ЯЗКУ ІЗ CDMA.....	98

ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

Бабаков Р.М. ФОРМАЛЬНЕ РЕШЕННЯ ЗАДАЧИ АЛГЕБРАИЧЕСКОГО СИНТЕЗА МИКРОПРОГРАММНОГО АВТОМАТА С ОПЕРАЦИОННЫМ АВТОМАТОМ ПЕРЕХОДОВ	103
Власюк А.П., Жуковська Н.А., Жуковський В.В., Федорчук В.Ю. МАТЕМАТИЧНЕ ТА КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ТЕПЛОМАСОПЕРЕНОСЕННЯ НА ПРОСТОРОВИЙ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ҐРУНТОВОГО МАСИВУ.....	108
Гнатовская А.А., Мещеряков Д.В., Черепанова Е.В. КОНЦЕПЦИЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДАННЫХ ИНФРАКРАСНОЙ СИСТЕМОЙ С БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ.....	116
Жученко О.А., Цапар В.С. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ГРАФІТУВАННЯ ВУГЛЕЦЕВИХ ВИРОБІВ.....	121
Калініченко Ю.В. АДАПТИВНИЙ МЕТОД РОЗПІЗНАВАННЯ ДИНАМІЧНОГО АЛФАВІТНО-ЦИФРОВОГО РЯДУ.....	128
Качурівський В.О. ПОБУДОВА АДАПТИВНИХ ТА ДИНАМІЧНИХ ДІАГРАМ ЗАСОБАМИ CANVAS API.....	132
Коваленко О.В. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ТЕСТУВАННЯ БЕЗПЕКИ.....	137
Корж Р.О. ФОРМУВАННЯ КІЛЬКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТА ОЦІНЮВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ОБРАЗУ ЗАКЛАДУ ВИЩОЇ ОСВІТИ.....	142
Котунов В.О., Сліпченко В.Г. РЕАЛІЗАЦІЯ ВИСОКОШВИДКІСНОГО МОСТУ МІЖ МЕРЕЖАМИ RS-485 ТА ETHERNET.....	149
Лобов В.Й., Куменко С.О. ГАЗОПОВІТРЯНА ЕНЕРГЕТИЧНА УСТАНОВКА	154

Медушевський С.В. ПРАКТИЧНИЙ ПРИКЛАД ПІДХОДУ ДО ВАЛІДАЦІЇ АВТОМАТИЗОВАНИХ ЛАБОРАТОРНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ.....	160
Миронець І.В., Шкреттій А.В., Борисенко В.А. ТЕХНОЛОГІЯ БЛОКЧЕЙН: АНАЛІЗ ЗАГРОЗ ДЛЯ БЛОКЧЕЙН-СИСТЕМ ІЗ МЕХАНІЗМОМ ДОСЯГНЕННЯ КОНСЕНСУСУ.....	167
Савенко О.С. АРХІТЕКТУРА РОЗПОДІЛЕНОЇ БАГАТОРІВНЕВОЇ СИСТЕМИ ВІЯВЛЕННЯ ШКІДЛИВОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В ЛОКАЛЬНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖАХ.....	172
Стахов Р.О. АНАЛІЗ УЯЗВИМОСТЕЙ В АЛГОРИТМАХ ЦИФРОВОЇ ПОДПИСИ ТЕХНОЛОГІИ JSON WEB TOKEN.....	182
Тільняк Ю.Я., Корнага Я.І. РЕАЛІЗАЦІЯ ГІБРИДНИХ АЛГОРИТМІВ КОНТРОЛЮ В ДІАГНОСТИЦІ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ СУЧАСНИХ БОРТОВИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ.....	186
Чекурін В.Ф., Химко О.М. МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІЙ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ГАЗОТРАНСПОРТНИМИ СИСТЕМАМИ.....	192
Шевченко В.В., Заєць С.С., Богачов Є.В., Коробцов Є.І. СИСТЕМА ДІАГНОСТИКИ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ НА ВЕРСТАТАХ ІЗ ЧПК.....	198
Щапов П.Ф., Томашевский Р.С., Бородай В.А., Горбулич А.В. ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ И ПЛАНИРОВАНИЕ БИМ-АНАЛИЗА ДЛЯ МОНИТОРИНГА КРОВОПОТЕРЬ.....	203
ЕНЕРГЕТИКА	
Васюченко П.В., Кирисов И.Г. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ РЕЖИМА НАГРУЗКИ.....	211
Крот О.П. МЕТОД АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ ДЛЯ ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ТЕРМІЧНОГО ЗНЕШКОДЖЕННЯ ВІДХОДІВ	216
Олійник Ю.С. ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ У СУЧАСНИХ УМОВАХ.....	220
Черная В.О., Мельник О.Е., Омельченко А.В. ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И СПОСОБОВ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ В АВАРИЙНЫХ РЕЖИМАХ.....	225
РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН	
Калініченко О.В. УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ПІДЗЕМНИХ ГІРНИЧИХ РОБІТ З УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ НА НИХ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ГІРСЬКОГО МАСИВУ.....	232
Кобылянский Б.Б., Мнухин А.Г. НЕПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ СТАТИСТИКА ДЛЯ ОЦЕНКИ ОСОБЕННОСТЕЙ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	237
Kosenko A.V. WAYS OF INCREASING QUALITATIVE AND QUANTITATIVE RECOVERY PERCENTAGES OF ORE IN CONDITIONS OF DEEP HORIZONS OF THE MINES OF KRIVBAS.....	245
ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ	
Ткаченко Н.А., Дец Н.О., Вікуль С.І., Ланженко Л.О., Скрипніченко Д.М. ПАРАМЕТРИ ОТРИМАННЯ ЕКСТРАКТІВ ECHINACEA PURPUREA ТА ECHINACEA PALLIDA ДЛЯ ХАРЧОВИХ ТА КОСМЕТИЧНИХ ПРОДУКТІВ.....	251

ТЕХНОЛОГІЯ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

**Земліна Ю.В., Антоненко А.В., Грищенко І.М., Ліфіренко О.С.,
Криворучко М.Ю., Данілов І.С.**
КРІОТЕХНОЛОГІЯ ДЕСЕРТІВ «СОРБЕТ»..... 259

Колоскова Г.М.
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРНОГО ГРАДІЄНТУ У ВИПАДКУ
ЗАПАЮВАННЯ ПЛАСТИКОВОЇ ТАРИ НА ЯКІСТЬ ЇЇ ВМІСТУ..... 265

Севастьянова О.В., Пилипенко Л.М., Маковська Т.В., Гончаров Д.С.
НЕЖИРНІ СИРКОВІ ДЕСЕРТИ З РОСЛИННИМИ БІОКОРЕКТОРАМИ 272

Скрипніченко Д.М., Дец Н.О., Ланженко Л.О.
ОБГРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ КОНЦЕНТРАЦІЇ КАЛЬЦІЙ ХЛОРИДУ
В ТЕХНОЛОГІЇ М'ЯКИХ ПРОБІОТИЧНИХ СИРІВ..... 279

Шульга О.С., Шульга С.І.
БІОДЕГРАДАБЕЛЬНА ЇСТІВНА ПЛІВКА ТА ПОКРИТТЯ ЯК СПОСІБ
ВНЕСЕННЯ ВІТАМІНІВ У КОНДИТЕРСЬКІ ТА ХЛІББУЛОЧНІ ВИРОБИ..... 284

ТРАНСПОРТ

Бойків М.В., Житенко О.В., Діхтяр О.В.
АНАЛІЗ ПРИЧИН ВИНИКНЕННЯ ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНИХ ПОДІЙ В УКРАЇНІ..... 290

Братченко О.В., Громов В.І.
ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ВИЗНАЧЕННЯ СТУПЕНІВ ЗНОСУ
ТЯГОВИХ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ МОТОРВАГОННОГО РУХОМОГО СКЛАДУ..... 295

Добровольський О.С., Карев С.В., Ступак Н.С., Овчинніков Д.В., Ричок С.О.
ВПЛИВ ВМІСТУ СПИРТУ В БЕНЗИНІ
НА ПАЛИВНУ ЕКОНОМІЧНІСТЬ СУЧАСНОГО ДВИГУНА..... 299

Кузькін О.Ф.
АНАЛІЗ РОЗВИТКУ ТА РІВНЯ ЯКОСТІ ПОСЛУГ
ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ ЗАПОРІЖЖЯ..... 307

Ловська А.О., Рибін А.В.
МОДАЛЬНИЙ АНАЛІЗ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ ВАГОНА-ПЛАТФОРМИ
ЗЧЛЕНОВАНОГО ТИПУ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ПОРОМІ..... 314

БУДІВНИЦТВО

Ковальов В.В., Броневицький С.П.
ПЛАНУВАННЯ ЗАХОДІВ ЩОДО МОДЕРНІЗАЦІЇ ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ
ПІД ЧАС КОМПЛЕКСНОЇ РЕКОНСТРУКЦІЇ МІСЬКОЇ ЗАБУДОВИ..... 320

Лучковский И.Я., Чепурной Д.А., Есакова С.В.
АКТИВНОЕ ДАВЛЕНИЕ ГРУНТА ПРИ ГИБКОЙ ТРАНСФОРМИРУЕМОЙ НАГРУЗКЕ
НА ПОВЕРХНОСТИ ОДНОРОДНОГО И МНОГОСЛОЙНОГО ОСНОВАНИЯ..... 324

Нечепуренко Д.С., Данилова Т.В.
ДОСЛІДЖЕННЯ СЕКТОРІВ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ
КРАЇН ЄВРОПИ ТА УКРАЇНИ..... 331

ГЕОДЕЗІЯ

Пілічева М.О., Кінь Д.О.
МАСШТАБ ІНФРАСТРУКТУРИ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ МІСЦЕВОГО РІВНЯ..... 337

ЕЛЕКТРОНІКА

Крилов А.В., Ямненко Ю.С.
БЕЗПЕКА ІНФОРМАЦІЇ В MICROGRID
ІЗ ВПРОВАДЖЕНОЮ КОНЦЕПЦІЄЮ INTERNET OF THINGS..... 342

CONTENTS

APPLIED GEOMETRY, ENGINEERING GRAPHICS AND ERGONOMICS

Badaev Yu.I., Hannoshyna I.N., Lahodyna L.P.

SEGMENT OF THE RATIONAL CURVE OF THE BINDER OF THE 5th DEGREE
FROM THE STATED CURVATES AT THE END OF THE SEGMENT1

Brovarets O.O.

ATHEMATICAL MODEL FOR DETERMINING THE WORKING PARAMETERS
AND MODES OF THE FUNCTIONING OF THE INFORMATION TECHNICAL SYSTEM
OF LOCAL OPERATIONAL MONITORING OF CHANGING THE AGROBIOLOGICAL STATE
OF THE GROUND AGRICULTURE OF AGRICULTURAL HERITES DEPENDING
ON MECHANICALLY-CONSTRUCTIVE PARAMETERS AND THE TYPE OF SUSPENSION
OF ITS WORKING ELECTRODES5

Reuta O.V., Khabraman Khadi

CONSTRUCTION OF 3D HAAR WAVELETS
FOR ANALYSIS OF DISCRETE MODELS OF SPACE SHAPES14

MATERIAL PROCESSING IN MECHANICAL ENGINEERING

Ravska N.S., Parnenko V.S.

THE RESEARCHING OF THE GEOMETRY OF THE REAR SURFACE
OF THE SHAPED MILLING CUTTER WITH THE IRREGULAR STEP19

MACHINE SCIENCE

Dzerzhynska O.V.

METHODOLOGY EXPERIMENTAL RESERCHES
OF PROCESSES OF COOPERATION OF SUPPORTING SURFACE
A STEPPING MOVER OVER WITH SOIL24

AIRCRAFT AND AEROSPACE TECHNIQUES

Shmelov Yu.M., Vladov S.I., Klimova Ya.R.

SIMULATION GAS-DYNAMIC PROCESSES OCCURRING
IN THE HELICOPTER ENGINE MI-8MTV29

Shcherban A.P.

METHOD OF THE RESEARCH OF DISCHARGE PROCESSES
IN POWER SUPPLIES OF UNMANNED AERIAL VEHICLES
AND ANALYSIS OF RECEIVED RESULTS35

SHIPBUILDING

Garbuz S.K., Titov S.D.

THE STAKEHOLDERS' MANAGEMENT OF THE EDUCATIONAL PROJECT BASED
ON THE APPLICATION OF OPTIMAL STRATEGIES FOR MATRIX GAME41

ELECTRICAL ENGINEERING

Lobodzynskiy V.Yu., Dovhal M.O., Mudryk V.I.

COMPUTER MODELING OF TRANSITION PROCESSES
IN DAMAGED THE CABLE LINE OF ELECTRIC TRANSMISSION46

EQUIPMENT

Tsokota M.V., Tymchyk H.S.

LASER THERMAL INTERACTION MECHANISMS
WITH BIOLOGICAL TISSUES52

RADIO ENGINEERING AND TELECOMMUNICATIONS

Maksymiuk T.A., Dumych S.S., Brych M.V., Yaremko O.M. METHOD OF ADAPTIVE UTILIZATION OF UNLICENSED RADIO RESOURCES BY MULTIPLE LTE NETWORK OPERATORS.....	58
Matsui A.M., Kondratets V.O. RADIO CHANNEL FOR INFORMATION TRANSMISSION FROM ROTATING PARTS OF UNITS TO FIXED.....	64
Mykhalchan V.S. TWO-STAGE HIGH-SPEED ITERATIVE ALGORITHM ADAPTIVE SIGNAL PROCESSING.....	73
Pyrotty E.L., Zlepko S.M., Kryvonosov V.E. Semenov A.O. RADIO-ELECTRONIC DEVICE FOR FORMING DETERMINISTIC CHAOS SIGNALS BASED ON THE <i>DUFFING-HOLMES</i> NON-LINEAR SYSTEM	84
Skulysh M.A., Romanov O.I., Hloba L.S. PRINCIPLE OF FLOWS SERVICE IN THE HETEROGENEOUS TELECOMMUNICATION ENVIRONMENT	92
Yamnenko Yu.S., Tereshchenko T.O., Khokhlov Yu.V., Buchek P.I., Klepach L.Ye. GENERALIZED TRANSFORMATION OF DISCRETE FUNCTIONS IN A ROTATING COORDINATE SYSTEM FOR APPLICATION IN CDMA COMMUNICATION SYSTEMS	98

INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING AND AUTOMATION

Babakov R.M. A FORMAL SOLUTION OF THE PROBLEM OF ALGEBRAIC SYNTHESIS OF MICROPROGRAM FINITE STATE MACHINE WITH DATAPATH OF TRANSITIONS.....	103
Vlasiuk A.P., Zhukovska N.A., Zhukovskiy V.V., Fedorchuk V.Yu. MATHEMATICAL AND COMPUTER MODELLING OF HEAT AND MASS TRANSFER EFFECT ON THE THREE-DIMENSIONAL STRESSED-STRAINED STATE OF SOIL MASSIF	108
Hnatovskaia A.A., Meshcheriakov D.V., Cherepanova E.V. CONCEPT OF INFRARED SYSTEM WITH BIOLOGICAL FEEDBACK DATA TRANSFORMATION.....	116
Zhuchenko O.A., Tsapar V.S. STATEMENT PROBLEM OF OPTIMAL CONTROL OF THE PROCESS OF GRAPHITING OF CARBONE PRODUCTS.....	121
Kalinichenko Yu.V. ADAPTIVE METHOD OF RECOGNITION FOR A DYNAMIC ALPHANUMERIC SERIES	128
Kachurivskiy V.O. CONSTRUCTION OF ADAPTIVE AND DYNAMIC DIAGRAMS BY MEANS OF CANVAS API.....	132
Kovalenko O.V. EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF SECURITY TESTING TECHNOLOGY.....	137
Korzh R.O. FORMING QUANTITATIVE CHARACTERISTICS AND EVALUATION INFORMATION IMAGE OF HIGHER EDUCATION INSTITUTION.....	142
Kotunov V.O., Slipchenko V.H. IMPLEMENTATION OF HIGH-SPEED NETWORK BRIDGE BETWEEN RS-485 AND ETHERNET	149
Lobov V.Y., Kumenko S.O. GAS SUPPLY ENERGY INSTALLATION.....	154
Medushevskiy S.V. PRACTICAL EXAMPLE OF THE APPROACH TO THE VALIDATION OF AUTOMATED LABORATORY INFORMATION SYSTEMS.....	160

Myronets I.V., Shkrebtii A.V., Borysenko V.A. BLOCKCHAIN TECHNOLOGY: THREAT ANALYSIS FOR BLOCKCHAIN-SYSTEM WITH CONSENSUS-BUILDING MECHANISM.....	167
Savenko O.S. ARCHITECTURE OF DISTRIBUTED AND MULTILEVEL SYSTEM FOR DETECTION MALICIOUS SOFTWARE IN LOCAL COMPUTER NETWORKS.....	172
Stakhov R.O. VULNERABILITY ANALYSES OF THE JSON WEB TOKEN DIGITAL SIGNATURE ALGORITHM	182
Tilniak Yu.Ya., Kornaha Ya.I. REALIZATION OF HYBRID ALGORITHMS OF CONTROL IN THE DIAGNOSTICS OF THE INTERNAL CONDITIONING ENGINE WITH USING MODERN PASSENGER CIRCUIT DEVICES	186
Chekurin V.F., Khymko O.M. FUNCTIONAL MODELING OF THE PROGRAM COMPLEX FOR AUTOMATION OF MANAGEMENT BY GAS TRANSMISSION SYSTEMS.....	192
Shevchenko V.V., Zaiets S.S., Bohachov Ye.V., Korobtsov Ye.I. DIAGNOSTICS SYSTEM OF THE CUTTING TOOL ON MACHINE-TOOL WITH NUMERICAL CONTROL.....	198
Shchapov P.F., Tomashevskiy R.S., Borodai V.O., Horbulich O.V. APPLICATION POSSIBILITIES AND PLANNING OF BIM-ANALYSIS FOR MONITORING BLOOD LOSS	203
POWER ENGINEERING	
Vasiuchenko P.V., Kyrsov I.H. ENERGY SAVING MEASURES IN THE OPERATION OF POWER TRANSFORMERS WHEN CHANGING THE MODE OF THE LOAD	211
Krot O.P. A METHOD FOR THE ANALYSIS OF HIERARCHIES FOR SELECTION OF RATIONAL EQUIPMENT A WASTE INCINERATION.....	216
Oliinyk Yu.S. USING SOLAR BATTERIES IN MODERN CONDITIONS	220
Chernaia V.O., Melnyk O.E., Omelchenko A.V. RESEARCH OF MODES OF FUNCTIONING AND METHODS OF PROTECTION OF ELECTRICAL ENGINEERING COMPLEX OF PUMPING UNIT IN EMERGENCY REGIMES	225
RESOURCE DEVELOPMENT	
Kalinichenko O.V. CONTROL OF UNDERGROUND MINING PROCESSES CONSIDERING IMPACTS OF THE STRESS-STRAIN STATE OF ROCKS.....	232
Kobilyansky B.B., Mnukhin A.H. NONPARAMETRIC STATISTICS FOR ASSESSMENT OF MINERAL PRODUCTION FEATURES	237
Kosenko A.V. WAYS OF INCREASING QUALITATIVE AND QUANTITATIVE RECOVERY PERCENTAGES OF ORE IN CONDITIONS OF DEEP HORIZONS OF THE MINES OF KRIVBASS.....	245
CHEMICAL TECHNOLOGY	
Tkachenko N.A., Dets N.O., Vikul S.I., Lanzhenko L.O., Skrypnychenko D.M. PARAMETERS OF MAKING ECHINACEA PURPUREA AND ECHINACEA PALLIDA EXTRACTS FOR FOOD AND COSMETIC PRODUCTS	251

TECHNOLOGY OF FOOD PROCESSING AND CONSUMER GOODS INDUSTRY

Zemlina Yu.V., Antonenko A.V., Hryshchenko I.M., Lifirenko O.S., Kryvoruchko M.Yu., Danilov I.S. CRYOTECHNOLOGY OF DESSERTS «SORBET».....	259
Koloskova H.M., Sevastianova O.V., Pylypenko L.M., Makovska T.V., Honcharov D.S. NONFATTY CHEESE-CURD DESSERTS WITH PLANT BIOCORRECTORS.....	272
Skrypnychenko D.M., Dets N.O., Lanzhenko L.O. THE JUSTIFICATION OF THE RATIONAL CONCENTRATION OF CALCIUM CHLORIDE IN THE TECHNOLOGY OF SOFT PROBIOTIC CHEESES	279
Shulha O.S., Shulha S.I. BIODEGRADABLE EDIBLE FILMS AND COATINGS AS A METHOD OF INTRODUCING VITAMINS IN CONFECTIONERY AND BAKERY PRODUCTS	284

TRANSPORT

Boikiv M.V., Zhytenko O.V., Dikhtiar O.V. ANALYSIS OF CAUSES TRAFFIC ACCIDENTS IN UKRAINE.....	290
Bratchenko O.V., Hromov V.I. PECULIARITIES OF THE EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE DEGREES OF WEAR OF DRIVING GEAR TRANSMISSIONS OF MOTOR-CARGO ROLLING STOCK	295
Dobrovolskyi O.S., Karev S.V., Stupak N.S., Ovchynnikov D.V., Rychok S.O. INFLUENCE OF ALCOHOL CONTENT IN GASOLINE ON THE FUEL ECONOMICITY OF THE MODERN ENGINE	299
Kuzkin O.F., Lovska A.O., Rybin A.V. THE MODAL ANALYSIS OF THE CARRYING STRUCTURE OF AN ARTICULATED FLAT WAGON IN RAIL FERRY TRANSPORTATION	314

CONSTRUCTION

Kovalyov V.V., Bronevytskyi S.P. PLANNING MEASURES ON MODERNIZATION OF INDUSTRIAL OBJECTS IN RECONSTRUCTION OF URBAN DEVELOPMENT.....	320
Luchkovskiy I.Ya., Chepurnoi D.A., Esakova S.V. ACTIVE PRESSURE OF A SOIL UNDER A FLEXIBLE TRANSFORMABLE LOAD AT THE SURFACE OF A UNIFORM AND MULTI-LAYERED BASE.....	324
Nechepurenko D.S., Danylova T.V. RESEARCH OF CENTRALIZED HEAT-SUPPLY SECTORS IN EUROPEAN COUNTRIES AND UKRAINE	331

GEODESY

Pilicheva M.O., Kin D.O. THE SCALE OF INFRASTRUCTURE FOR SPATIAL INFORMATION IN LOCAL LEVEL.....	337
--	-----

ELECTRONICS

Krylov A.V., Yamnenko Yu.S. INFORMATION SECURITY IN MICROGRID WITH THE INTRODUCTION OF THE INTERNET OF THINGS.....	342
---	-----

ПРИКЛАДНА ГЕОМЕТРІЯ, ІНЖЕНЕРНА ГРАФІКА ТА ЕРГОНОМІКА

УДК 514.74

Бадаев Ю.И.

Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

Ганношина И.Н.

Национальный транспортный университет

Лагодина Л.П.

Национальный транспортный университет

СЕГМЕНТ РАЦИОНАЛЬНОЙ КРИВОЙ БЕЗЬЕ 5-Й СТЕПЕНИ С ЗАДАНЫМИ КРИВИЗНАМИ НА КОНЦАХ СЕГМЕНТА

Предлагается моделирование криволинейного обвода сегментами рациональных кривых Безье 5-й степени по заданному точечному каркасу с заданными в них кривизнами и с обеспечением непрерывности кривизны вдоль обвода.

Ключевые слова: полиномиальный сегмент, сегмент рациональной кривой Безье 5-й степени, кривизна, первая и вторая производные, непрерывность кривизны.

Постановка проблемы. В проектировании обводов машин и агрегатов, которые работают в движущейся среде (самолеты, автомобили, суда и др.) необходимо задание обвода с заданным законом изменения кривизны. Это требование имеет важное значение в конструкторских бюро, которые занимаются проектированием транспортных средств. Необходимо иметь аналитический аппарат решения этой задачи.

Анализ последних исследований и публикаций. В работах [3–5] предлагаются интерактивные способы проектирования обводов с заданной формой и кривизной с помощью специальной компьютерной программы. Однако такой подход не дает возможности предвидеть результаты в начале проектирования.

Постановка задачи. Вывод формулы рациональной кривой Безье по заданным двум точкам и величинам кривизны в них. Методами являются аналитические методы в геометрии. В результате получены формулы рациональной кривой Безье 5-й степени, которая проходит через две заданные точки и имеет в этих точках заданные величины

кривизны, что дает возможность проектировать криволинейные обводы по заданным графикам изменения кривизны.

Изложение основного материала исследования. Будем моделировать кривую, которая строится из состыкованных сегментов кривых рациональной кривой Безье 5-й степени, заданных двумя точками и кривизнами в них.

Как известно из [1; 2] кривизна на плоскости в заданной точке r_i задается формулой:

$$k = \frac{y''_{xx}}{(1 + y'^2_x)^{\frac{3}{2}}}. \quad (1)$$

Если плоская кривая задана в векторно-параметрическом виде

$$r = r(t), \quad (2)$$

то кривизна рассчитывается по формуле:

$$k^2 = \frac{\left| \begin{matrix} x''_t & y''_t \\ x'_t & y'_t \end{matrix} \right|^2}{(x'^2_t + y'^2_t)^{\frac{3}{2}}}, \quad (3)$$

Для пространственной кривой (2) будет задана кривизна:

$$k^2 = \frac{\begin{vmatrix} x''_u & y''_u \\ x'_t & y'_t \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} y''_u & z''_u \\ y'_t & z'_t \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} z''_u & x''_u \\ z'_t & x'_t \end{vmatrix}^2}{(x_t'^2 + y_t'^2 + z_t'^2)^3} \quad (4)$$

Учитывая, что в формулах (3) и (4) в числителе задается квадрат векторного произведения векторов r''_t и r'_t , то эти формулы можно переписать в следующем виде:

$$k^2 = \frac{(|r''_t| |r'_t| \sin 90^\circ)^2}{|r'_t|^6} = \frac{|r''_t|^2 |r'_t|^2}{|r'_t|^6} = \frac{|r''_t|^2}{|r'_t|^4} \quad (5)$$

Отсюда получаем результат:

$$k = \frac{|r''_t|}{|r'_t|^2} \quad (6)$$

Из (6) следует, что для задания в заданной точке величины кривизны k необходимо вначале задать модуль первой производной $|r'|$ и из (6) определить и задать необходимый модуль второй производной $|r''|$.

Векторно-параметрическая рациональная кривая Безье 5-й степени задается формулой [2]:

$$r(t) = \frac{\sum_{i=0}^n a_i r_i w_i t^i (1-t)^{(n-i)}}{\sum_{i=0}^n a_i w_i t^i (1-t)^{(n-i)}}, \quad (7)$$

где $a_i = \frac{n!}{i!(n-i)!}$ $n = 5$.

Перестроим (7) в виде:

$$r(t) = \frac{\sum_{i=0}^5 A_i (r_i w_i) t^i}{\sum_{i=0}^5 W_i t^i}, \quad (8)$$

где

$$\left. \begin{aligned} A_0 &= r_0 w_0 \\ A_1 &= 5(r_1 w_1 - r_0 w_0) \\ A_2 &= 10(r_0 w_0 - 2r_1 w_1 + r_2 w_2) \\ A_3 &= 10(r_2 w_2 + 3r_1 w_1 - r_0 w_0 - 3r_2 w_2) \\ A_4 &= 5(r_0 w_0 - 4r_1 w_1 + 6r_2 w_2 - 4r_3 w_3 + r_4 w_4) \\ A_5 &= (-r_0 w_0 + 5r_1 w_1 - 10r_2 w_2 + 10r_3 w_3 - 5r_4 w_4 + r_5 w_5) \end{aligned} \right\} (8.0-8.5)$$

Аналогично будут определены и W_i , однако, вместо $r_i w_i$ будут только веса W_i :

$$\left. \begin{aligned} W_0 &= w_0 \\ W_1 &= 5(w_1 - w_0) \\ W_2 &= 10(w_0 - 2w_1 + w_2) \\ W_3 &= 10(w_3 + 3w_1 - 3w_2 - w_0) \\ W_4 &= 5(w_0 - 4w_1 + 6w_2 - 4w_3 + w_4) \\ W_5 &= (-w_0 + 5w_1 - 10w_2 + 10w_3 - 5w_4 + w_5) \end{aligned} \right\} (8.6-8.11)$$

Пусть заданы точки r_0 и r_5 а также производные r'_0 и r'_5 и кривизны в них k_0 и k_5 .

В формуле (8) примем:

Тогда

$$r(t) = \frac{A(t)}{B(t)} \quad (9)$$

Рассчитаем первую производную:

$$r'(t) = \frac{A'(t)B(t) - A(t)B'(t)}{B^2(t)} \quad (10)$$

В точке $0(t=0)$ будем иметь:

$$\left. \begin{aligned} A(t) &= r_0 w_0 \\ A'(t) &= 5(r_1 w_1 - r_0 w_0) \\ B(t) &= w_0 \\ B'(t) &= 5(w_1 - w_0) \end{aligned} \right\} (10.0-10.3)$$

Подставив в (10), получим:

$$r'_t(0) = 5(r_1 - r_0) \frac{w_1}{w_0}, \quad (11)$$

$$r'_x(0) = \frac{y'_t(0)}{x'_t(0)} = \frac{(y_1 - y_0)}{(x_1 - x_0)} \quad (12)$$

Отсюда

$$y_1 = y_0 + (x_1 - x_0) r'_x(0) \quad (13)$$

Для окончательного решения поставленной задачи осталось рассчитать вторую производную от (8).

Возьмем производную от (10). Получим в виде:

$$r''_t(t) = \frac{[A''(t)B(t) - A'(t)B'(t) - A'(t)B'(t) - A(t)B''(t)]B^2(t) - [A'(t)B(t) - A(t)B'(t)]2B(t)B'(t)}{B^4(t)} \quad (13)$$

В точке $0(t=0)$ будут следующие результаты:

$$\left. \begin{aligned} A(0) &= r_0 w_0 \\ A'(0) &= 5(r_1 w_1 - r_0 w_0) \\ A''(0) &= 20(r_0 w_0 - 2r_1 w_1 + r_2 w_2) \\ B(0) &= w_0 \\ B'(0) &= 5(w_1 - w_0) \\ B''(0) &= 20(w_0 - 2w_1 + w_2) \end{aligned} \right\} (15)$$

Подставив в (13), будем иметь:

$$r''_t(0) = 20 \frac{2w_1(r_0 - r_1) + w_2(r_2 - r_0)}{w_0^2} - 50 \frac{w_1(r_1 - r_0)(w_1 - w_0)}{w_0^2} \quad (16)$$

Анализируя формулу (16), можно видеть, что если задаться значениями r_0, r_1, w_0, w_1 и w_2 , можно найти точку r_2 .

Точка r_0 задается по условию задачи.

Точка r_1 определится из задания первой производной:

$$y_1 = y_0 + (x_1 - x_0) r'_x(0).$$

Удобно принять $w_1 = w_0 = 1.0$. Тогда (16) упрощается:

$$r''_t(0) = 20 \frac{2w_1(r_0 - r_1) + w_2(r_2 - r_0)}{w_2} \quad (17)$$

Отсюда при заданных r_0, r_1, w_2 и $r''_t(0)$ легко находится r_2 :

$$r_2 = \frac{r''_t(0) w_2 - 2(r_0 - r_1) + r_0 w_2}{w_2} \quad (18)$$

Если задать r_0, r_1, r_2 и $r''_t(0)$, то можно определить w_2 :

$$w_2 = \frac{-2(r_0 - r_1)}{(r_2 - r_0) - \frac{r''_t(0)}{20}} \quad (19)$$

Используем симметрию (7).

Если заменить параметр t на $t=1-u$ то $1-t=u$, и подставив в (7), получим формулу, симметричную к (7) в том смысле, что точки 3, 4, 5 и 2, 1, 0 поменяются соответственно местами. А также, поскольку имеем формулы

$$\left. \begin{aligned} \frac{dr}{dt} &= \frac{dr}{du} \frac{du}{dt} \\ \frac{d^2r}{dt^2} &= \frac{d^2r}{du^2} \frac{du}{dt} + \frac{dr}{du} \frac{d^2u}{dt^2} \\ \frac{du}{dt} &= -1, \quad \frac{d^2u}{dt^2} = 0 \end{aligned} \right\}, \quad (20)$$

то вышеуказанные формулы (13), (18) и (19) при $t=1$ переписутся в виде:

$$y_4 = y_5 - (x_4 - x_5)r_x'(1), \quad (21)$$

$$r_3 = \frac{\frac{r_u''(1)}{20} w_3 - 2(r_0 - r_1) + r_5 w_3}{w_3}, \quad (22)$$

$$w_3 = \frac{-2(r_5 - r_4)}{(r_3 - r_5) - \frac{r_u''(1)}{20}}. \quad (23)$$

Тогда на основании формул (11), (17), (18) можно записать в точке 5 ($t=5$):

$$r_t'(0) = 5(r_1 - r_0) \frac{w_1}{w_0}, \quad (24)$$

$$r_x'(1) = \frac{y_t'(1)}{x_t'(1)} = \frac{(y_4 - y_5)}{(x_4 - x_5)}, \quad (25)$$

$$r_u''(1) = -20 \frac{2w_4(r_5 - r_4) + w_3(r_3 - r_5)}{w_3}. \quad (26)$$

Если принять $w_5=w_4=1$, то при заданных r_4, r_5, w_3 и $r_u''(1)$ получим:

$$r_3 = \frac{-\frac{r_u''(1)}{20} w_3 - 2(r_5 - r_4) + r_5 w_3}{w_3}. \quad (27)$$

При заданных r_5, r_4, r_3 и $r_u''(1)$ будем иметь:

$$w_3 = \frac{-2(r_5 - r_4)}{(r_3 - r_5) + \frac{r_u''(1)}{20}}. \quad (28)$$

Таким образом, задавшись координатами двух точек и величинами кривизн в этих точках, можно построить сегмент рациональной кривой Безье 5-й степени, которая проходит через эти точки и обеспечивает значения заданных кривизн в этих точках. Однако этот вывод оказывается неверен в том смысле, что полученные формулы не обеспечивают получение цельной кривой Безье в виде формулы (7). Это происходит потому, что формулы (16), (17) и (20), (21) оперируют векторами, которые в разложениях по координатам дают разные результаты. Так, например, имея значения x'', y'', z'' , что в совокупности дают вектор r'' , и, применяя формулы (17) и (21) отдельно по каждой координате x, y и z , получим различные значения весов точек r_2 и r_3 (т.е. w_2 и w_3) для различных координат. В связи с этим имеет смысл применять кривую Безье, которую можно назвать «рациональная координатно-разделенная кривая Безье», в формуле которой веса точек разделены по координатам: w_{ix}, w_{iy}, w_{iz} . В этом случае рациональную кривую Безье (7) нужно рассматривать по каждой координате отдельно:

$$\left. \begin{aligned} x(t) &= \frac{\sum_{i=0}^n a_i x_i w_{ix} t^i (1-t)^{(n-i)}}{\sum_{i=0}^n a_i w_{ix} t^i (1-t)^{(n-i)}} \\ y(t) &= \frac{\sum_{i=0}^n a_i y_i w_{iy} t^i (1-t)^{(n-i)}}{\sum_{i=0}^n a_i w_{iy} t^i (1-t)^{(n-i)}} \\ z(t) &= \frac{\sum_{i=0}^n a_i z_i w_{iz} t^i (1-t)^{(n-i)}}{\sum_{i=0}^n a_i w_{iz} t^i (1-t)^{(n-i)}} \end{aligned} \right\}. \quad (29)$$

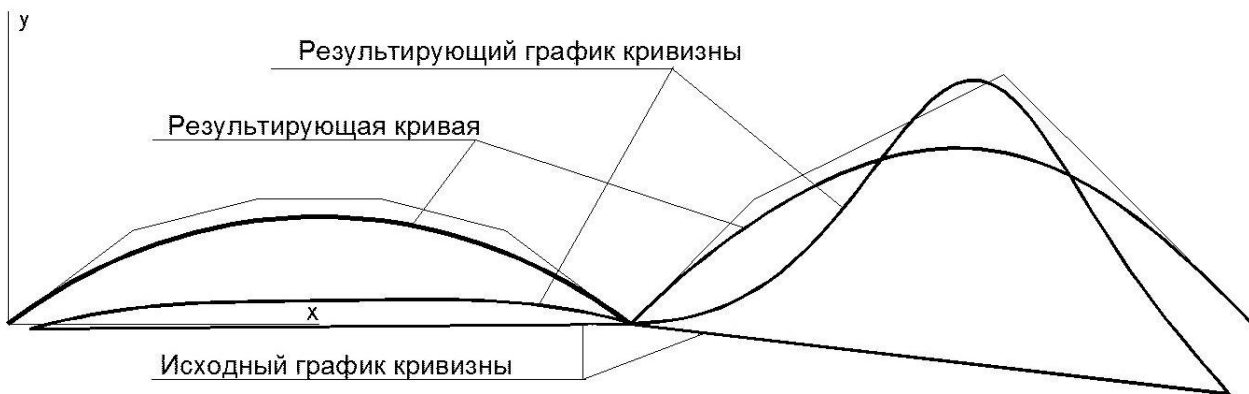


Рис. 1. Проектирование кривой по заданному графику кривизны

По окончании исследований была разработана компьютерная программа. Результаты ее работы представлены на рис.1. В качестве исходных данных были взяты три точки: 0($x=0$, $y=0$), 1($x=50$, $y=0$), 2 ($x=100$, $y=0$) и заданы в них кривизны ($k_0=-0.38$, $k_1=0$, $k_2=-5.6$), то есть график желаемой кривизны представлен в виде ломаной 0-1-2 (см. рис.1). На рис.1 видно, что результирующая кривая представлена в виде двух состыкованных сегментов рациональных

кривых Безье. Результирующий график кривизны также определен в виде двух сегментов кривых.

Вывод. Полученные результаты дают возможность интерполировать точно-заданную кривую с заданными в них кривизнами криволинейным обводом из сегментов рациональных кривых Безье 5-й степени. Дальнейшие исследования предполагается вести в направлении оптимизации формы кривой.

Список литературы:

1. Ефимов Н.В. Высшая геометрия. М.: Издательство «Наука», 1971. 576 с.
2. Голованов Н.Н. Геометрическое моделирование. М.: Физматгиз, 2002. 472 с.
3. Бадасв Ю.І., Блиндарук А.О. Керування кривою NURBS кривої 3-го порядку за допомогою ваги контрольних вектор-точок. Водний транспорт. 2014. Вип. 3(21). С. 103.
4. Бадасв Ю.І., Блиндарук А.О. Компютерна реалізація проектування криволінійних обводів проектування криволінійних обводів методом NURBS – технологій вищих порядків. Сучасні проблеми моделювання: зб. наук. праць МДПУ. 2014. С. 3– 6.
5. Бадасв Ю.І., Блиндарук А.О. Можливості локальної модифікації гладкої NURBS – кривої. Современные информационные и электронные технологии: труды XV международн. науч.-практ. конф. Одесса, 2014. Т. 1. С. 26–27.

СЕГМЕНТ РАЦИОНАЛЬНОЇ КРИВОЇ БЕЗЬЄ 5-ГО СТЕПЕНЯ ІЗ ЗАДАНИМИ КРИВИЗНАМИ НА КІНЦЯХ СЕГМЕНТУ

Пропонується моделювання криволінійного обводу сегментами раціональних кривих Безье 5-го степеня за заданим точковим каркасом із заданими в них кривизнами і з забезпеченням безперервності кривизни уздовж обводу.

Ключові слова: *поліноміальний сегмент, сегмент раціональної кривої Безье 5-го степеня, кривизна, перша і друга похідні, безперервність кривизни.*

SEGMENT OF THE RATIONAL CURVE OF THE BINDER OF THE 5th DEGREE FROM THE STATED CURVATES AT THE END OF THE SEGMENT

It is proposed to simulate the curvilinear contour by segments of rational Bézier curves of the 5th degree from a given point skeleton with the curvatures given in them and with the continuity of the curvature along the contour.

Key words: *polynomial segment, segment of the rational Bézier curve of degree 5, curvature, first and second derivatives, continuity of curvature.*

Броварець О.О.

Київський кооперативний інститут бізнесу і права

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РОБОЧИХ ПАРАМЕТРІВ ТА РЕЖИМІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ЛОКАЛЬНОГО ОПЕРАТИВНОГО МОНІТОРИНГУ ВАРІАБЕЛЬНОСТІ АГРОБІОЛОГІЧНОГО СТАНУ ҐРУНТОВОГО СЕРЕДОВИЩА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ УГІДЬ ЗАЛЕЖНО ВІД МЕХАНІКО-КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ТА ТИПУ ПІДВІСКИ ЇЇ РОБОЧИХ ЕЛЕКТРОДІВ

Побудована математична модель для визначення оптимальних робочих параметрів та режимів функціонування інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь залежно від механіко-конструктивних параметрів та типу підвіски її робочих електродів. Дана модель дає можливість оптимізувати робочі параметри та режими функціонування інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь залежно від механіко-конструктивних параметрів та типу підвіски її робочих електродів, а відповідно, і забезпечення максимальної продуктивності таких систем під час отримання достовірних даних із врахуванням агробіологічного стану ґрунтового середовища. Це дає можливість прийняти оперативне рішення для керування агробіологічним потенціалом сільськогосподарських угідь під час виконання технологічних операцій за допомогою машинно-тракторного агрегату, сільськогосподарської машини з використанням інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища.

Ключові слова: робочі електроди, якість технологічної операції, варіабельність ґрунтового середовища, технічна система оперативного моніторингу, агробіологічний стан, моніторинг.

Постановка проблеми. Сучасні інформаційно-технічні системи локального оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь дають можливість забезпечити належну якість керування виконанням технологічних операцій з використанням сучасних мехатронних та робототехнічних систем керування, пов'язаних з датчиками контролю якості виконання технологічних операцій, які в сучасному контексті їх розвитку отримали назву «розумних», або «смарт»-машин (Smart machinery) [1–3].

Такі «розумні» машини з датчиками оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь можуть широко використовуватися на всіх стадіях виробництва сільськогосподарської продукції рослинництва: основного обробітку, сівби (садіння), на етапі догляду за посівами в період

вегетації та під час збирання врожаю. Це дає можливість забезпечити належну якість виконання технологічних операцій під час оптимізації витрат на їх виробництво. «Розумні» машини «адаптуються» до агробіологічного стану ґрунтового середовища на основі інформації з датчиків про агробіологічний стан ґрунтового середовища.

Огляд сучасних літературних джерел та наукових розробок [1] показує, що останніми роками відбувається процес інтеграції натурального (органічного, або біологічного), біодинамічного, екстенсивного, інтенсивного (промислового) та no-till землеробства з новітніми технологіями, зокрема з інформаційно-технічними системами локального оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь. При цьому останній

напряв є найбільш актуальним та перспективним для умов України.

Важливою задачею оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь є так званий «management units» – територіальних одиниць з подібними параметрами просторової неоднорідності, де повинні використовуватися однотипні технології обробітку сільськогосподарських культур. Ці технології є основою роботи системи прийняття рішень «decision-making systems», яка дозволяє прийняти ефективні оперативні рішення на основі оперативних даних про агробіологічний стан ґрунтового середовища.

Неоднорідність ґрунту можна представити як ієрархічну підпорядкованість явищ. Питання про шкалу вимірювання неоднорідності. Звичайно, неоднорідність порівняно просто вираховується, коли порівнюються об'єкти вимірюються кількісно і при цьому використовуються кількісні критерії. Неоднорідність вважають фактором, відповідальним за біорізноманіття, тому що завдяки їй формується екологічна складова і забезпечується багатогранність організмів ґрунту [2]. У цьому аспекті важливу роль відіграє визначення ґрунтової електричної провідності для визначення величини прибутку на основі даних просторової мінливості та вмісту поживних речовин у ґрунті. Знання певної структура варіабельності ґрунтового покриття дозволяє прийняти ефективні рішення для управління агробіологічним потенціалом сільськогосподарських угідь [1].

Втілення сучасних технологій землеробства дозволяє планувати витрати насіннєвого матеріалу, добрив, пестицидів та інших технологічних матеріалів, у тому числі палива, визначати загальну стратегію управління агробіологічним потенціалом поля тощо. Проте на сьогодні під час реалізації даних технологій бракує ефективних систем збору та реєстрації (моніторингу) місцевизначеної інформації (агробіологічної та фітосанітарної) про стан сільськогосподарських угідь у технологіях точного землеробства. Існуючі способи і засоби реалізації цього процесу недосконалі [2; 3; 4].

У цьому сенсі набуває актуальності розробка та використання принципово нового класу сільськогосподарських машин – інформаційно-технічних систем локального оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь.

Слід відмітити, що важливість та доцільність використання інформаційно-технічних систем локального оперативного моніторингу варіабель-

ності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь залежить від виду технологічної операції, площі обробітку. Так доцільність використання зазначених машинно-тракторних агрегатів особливо висока на етапі сівби (садіння), оскільки дана технологічна операція фактично є «фундаментом» майбутнього врожаю [12].

Аналіз досліджень і публікацій показує, що традиційні фактори підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва за рахунок оптимізації механіко-конструктивних матеріалів, використання новітніх машинобудівних матеріалів (надміцного пластику, сплавів металу тощо) на сучасному етапі розвитку техніки не дають суттєвого підвищення ефективності.

Крупні агрохолдинги зробили ставку на використання стандартних рішень задач планування на основі використання так званих «коробочних продуктів» (1С, Парус, Oracle EBS та ін.) [5]. Але, на жаль, типові рішення не забезпечують реалізації принципу взаємозв'язку перспективного, поточного і оперативного планування та ефективного керування агробіологічним потенціалом сільськогосподарських угідь.

За межами типової системи інформаційного забезпечення процесів планування залишаються задачі, пов'язані з вибором оптимальних рішень, оцінки альтернативних варіантів розвитку і т. д.

У більшості сільськогосподарських підприємств, що використовують для автоматизації функцій планування системи операційного управління (розроблених на основі як типових, так і індивідуальних проектів), не можуть уникнути головного недоліку даного типу інформаційних систем: зміщення акцентів у бік поточного планування [4].

Така ситуація виникає через об'єктивні причини, пов'язані з використанням обчислювальних процесів у контексті опису поточного розвитку системи в рамках одного виробничого циклу [1]. При такому підході практично відсутнє середовище автоматизації процесів довгострокового і середньострокового планування, а методика планування, що реалізовується, не дозволяє інтегрувати в інформаційну систему методи ефективного коректування відхилень із метою виходу на плановий рівень, що базуються на використанні оптимізаційних математичних моделей.

Одним із перспективних напрямів є забезпечення необхідної якості виконання технологічних процесів за рахунок одержання більш високого (у порівнянні з фізіологічними можливостями

людини) рівня інформації та оперативного керування робочими процесами машин і на основі цього перехід до нових прогресивних технологій з використанням «розумних» сільськогосподарських машин. Тому виникає необхідність у розробці та використанні принципово нового класу сільськогосподарських машин підтримки виробництва продукції рослинництва – інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь.

Очевидно, що за таких умов виникає необхідність у принципово нових підходах до ведення агропромислового виробництва, що полягає в забезпеченні належної якості виконання технологічних операцій. Якість виконання технологічних операцій є інтегральним показником ефективності виробництва сільськогосподарської продукції в межах агробіологічного поля. Необхідна якість виконання основних технологічних процесів у рослинництві забезпечується за рахунок інтегрованих інформаційно-технічних систем оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь [13–15].

Структура ґрунту змінюється в значних межах на багатьох сільськогосподарських полях. Фізичні властивості ґрунту, як, наприклад, ґрунтова структура, мають прямий ефект на водомісткість, ємність катіонного обміну, урожайність тощо. Поживні речовини, що містяться в ґрунтах, використовуються рослиною, і їх вміст у ґрунті зменшуються. Загальноприйнятою характеристикою вмісту поживних речовин у ґрунтів є вміст азоту, наявність якого в ґрунті значною мірою визначає урожайність. Картографія ґрунтової електричної провідності широко використовується як ефективний засіб відображення ґрунтової структури і інших ґрунтових властивостей [5].

Швидкий опис мінливості сільськогосподарських угідь – важливий компонент для зональних методів управління [6].

Сучасні методики та засоби реєстрації властивостей ґрунту. Існує проблема організації спеціальних систем спостережень, контролю і оцінки стану природного середовища (моніторингу) як у місцях інтенсивної антропогенної дії, так і в глобальному масштабі [3]. Важливе місце на сучасному етапі займає реєстрація електромагнітних характеристик ґрунту. Електромагнітні характеристики ґрунту об'єднують багато властивостей ґрунту, що впливають на врожайності сільськогосподарських культур. До них відносяться

вміст ґрунтової вологи, гранулометричний склад ґрунту, ЄКО, засоленість, вміст обмінних катіонів кальцію (Ca) і магнію (Mg) та ін. Електромагнітні характеристики ґрунту не дозволяють безпосередньо виміряти вміст поживних речовин, але показують варіативність важливих характеристик, таких як структура ґрунту і вміст обмінних катіонів. Ця варіативність занадто важлива, щоб її ігнорувати, і повинна враховуватися під час відбору проб (рис. 1).

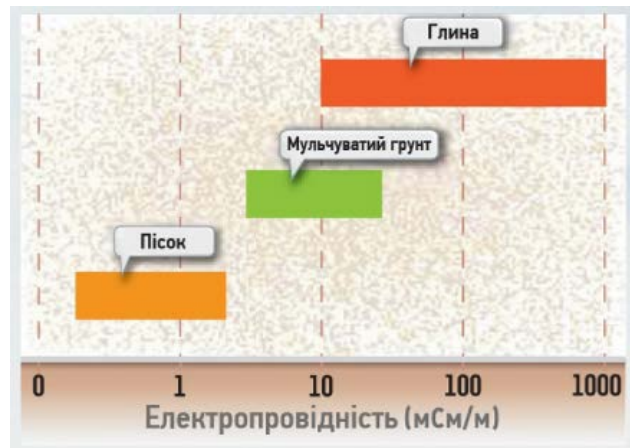


Рис. 1. Електропровідність різних типів ґрунтів

Очевидно, що для правильної організації управління якістю навколишнього природного середовища абсолютно необхідною умовою є організація системи ефективного моніторингу. Для оцінки стану навколишнього середовища важлива об'єктивна оперативна інформація про критичні чинники антропогенної дії, про фактичний стан біосфери і прогнози її майбутнього стану.

Відомий аналог (<http://www.veristech.com>), основним робочим органом якого є система електродів, в якості яких використано плоскі диски з горизонтальною віссю обертання на стояку, який жорстко закріплений до рами вимірювального пристрою таким чином, що опорні колеса пристрою визначають глибину ходу дисків-електродів у ґрунті.

Недоліком аналога є значна похибка у визначенні, яка обумовлена тим, що під час виконання робочого процесу порушується стабільність контакту диска-електрода з ґрунтом, що викликано поперечними відхиленнями вимірювального пристрою відносно прямолінійного напрямку руху обумовлено конструкцією диска. При цьому змінюється площа контакту диска-електрода з ґрунтом, оскільки при поперечних коливаннях плоскі диски-електроди однією стороною можуть взагалі не контактувати з ґрунтом.

При використанні суцільних дисків в якості електродів без підвіски для визначення електропровідних характеристик тиск ґрунту виникає значна похибка, яка обумовлена конструкцією дисків та відсутністю підвіски для стабілізації під час занурення їх у ґрунт.

Метою статті є побудова математичної моделі для визначення робочих параметрів та режимів функціонування інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь залежно від механіко-конструктивних параметрів та типу підвіски її робочих електродів.

Виклад основного змісту дослідження. *Пристрій для визначення електропровідних властивостей ґрунтового середовища конструкції використовують:* перед виконанням технологічної операції, одночасно з виконанням технологічної операції (сівба, внесення мінеральних добрив тощо); протягом вегетації та після збирання врожаю.

Це відкриває нові перспективи до ведення органічного землеробства з використанням таких «розумних» сільськогосподарських машин.

На рис. 2 зображено принципову схему розміщення інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь.

Завдання підвищення ефективності моніторингу стану сільськогосподарських угідь досягається шляхом розміщення робочих електродів виконаних попереду рухомого транспортного засобу під час виконання відповідної технологічної операції, що дозволяє проводити безперервний моніторинг на поверхні сільськогосподарських угідь (рис. 2).

Пристрій для моніторингу стану сільськогосподарських угідь складається з транспортного

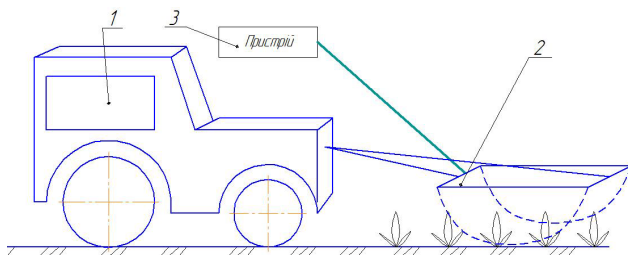


Рис. 2. Принципова схема розміщення обладнання інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь

засобу 1, робочих електродів 2, які розміщуються по переду транспортного засобу 1, що виконує відповідну технологічну операцію, та пристрою 3, що здійснює реєстрацію зміни щільності струму на електродних парах.

Пристрій працює таким чином: під час переміщення транспортного засобу 1 по поверхні поля за допомогою електродних пар виконаних 2, які розміщуються попереду рухомого транспортного засобу, здійснюється визначення щільності струму.

Важливим елементом інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь є робочі електроди 2, вибір форми яких залежить від агробіологічного стану сільськогосподарських угідь.

Пристрій для визначення електропровідних властивостей ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця *дає можливість оперативно визначити параметри агробіологічного стану ґрунтового середовища*, забезпечити «індивідуальний» підхід до кожної елементарної ділянки поля (рис. 2), при цьому за рахунок використання пружної підвіски робочих електродів 2 забезпечується стабілізація робочих електродів під час руху по нерівностям поверхні поля та копіювання нерівностей поверхні поля. Таким чином, можна отримати достовірні дані електропровідності ґрунту, які можна використовувати для забезпечення належної якості виконання технологічної операції.

Також інформаційно-технічна система локального оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь під час розміщення на машинно-тракторному агрегаті дає можливість забезпечити локально-стрічкове диференційованого внесення технологічного матеріалу (насіння, добрив) за допомогою спеціального пристрою індивідуального приводу робочих елементів машини для внесення технологічного матеріалу (насіння, добрива), на основі даних отриманих шляхом вимірювання вмісту поживних речовин у ґрунті (реєстрація електропровідних властивостей ґрунту сенсор-електродами), які розміщуються попереду транспортного засобу на підвісці під час виконання технологічної операції, що дає можливість забезпечити оптимальну норму внесення поживних речовин у ґрунт із використанням даних від такої системи (рис. 3).

Дана задача вирішується шляхом використання машини для локально-стрічкового дифе-

ренційованого внесення технологічного матеріалу із спеціальним пристроєм індивідуального приводу робочих елементів машини для внесення мінеральних добрив та пристроями для моніторингу варіабельності параметрів сільськогосподарського поля, на основі даних, отриманих шляхом вимірювання вмісту поживних речовин у ґрунті (реєстрація електропровідних властивостей ґрунту сенсор-електродами), який розміщується спереду на транспортному засобі під час виконання технологічної операції. Сигнал від даних інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь потрапляє на контролер, що керує роботою спеціального пристрою індивідуального приводу робочих елементів машини для внесення мінеральних добрив, при цьому можливий запис даних у вигляді електронної карти на PC card із магнітним носієм від пристрою для моніторингу стану ґрунту та рослинності (картограма завдання) та реалізація локально-стрічкового диференційованого внесення технологічного матеріалу (насіння, добрив) (картограма реалізація), що дає можливість забезпечити оптимальну норму внесення поживних речовин у ґрунт із використанням даних від двох систем моніторингу (рис. 3).

На рис. 3 зображено загальний вигляд машини для локально-стрічкового диференційованого внесення мінеральних добрив з інформаційно-технічною системою локального оперативного моніторингу варіабельності параметрів сільськогосподарського поля.

Пристрій складається з транспортного засобу 1, машини для внесення технологічного матеріалу 2, що розміщується позаду транспортного засобу 1, пристрою для моніторингу варіабельності параме-

трів сільськогосподарського поля – інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь 4, яка розміщена на підвісці 3, і розміщується спереду на транспортному засобі 1, контролера 5, спеціального пристрою індивідуального приводу робочих елементів машини для внесення технологічного матеріалу 6, PC card з магнітним носієм 7, приймача сигналів супутникової навігаційної системи DGPS 8.

Пристрій працює таким чином: під час переміщення транспортного засобу 1 з машиною для внесення технологічного матеріалу (насіння, добрива) 2, що розміщується позаду транспортного засобу 1, інформаційно-технічна система локального оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь проводить вимірювання вмісту поживних речовин у ґрунті (реєстрація електропровідних властивостей ґрунту сенсор-електродами) робочими електродами 4, які розміщуються на підвісці 3, і розміщуються спереду транспортного засобу, що забезпечує проведення оперативного локального моніторингу стану сільськогосподарських угідь. Контролер 5 отримує дані від пристроїв для моніторингу варіабельності параметрів сільськогосподарського поля та керує спеціальним пристроєм індивідуального приводу робочих елементів машини для внесення мінеральних добрив 6. Дані, отримані від пристроїв для моніторингу, записуються у вигляді електронної карти на PC card з магнітним носієм 7 з прив'язкою до координат місцезнаходження за допомогою системи DGPS 8. На PC card з магнітним носієм електронної карти 7 можливий запис даних від пристроїв для моніторингу (картограма завдання) та реалі-

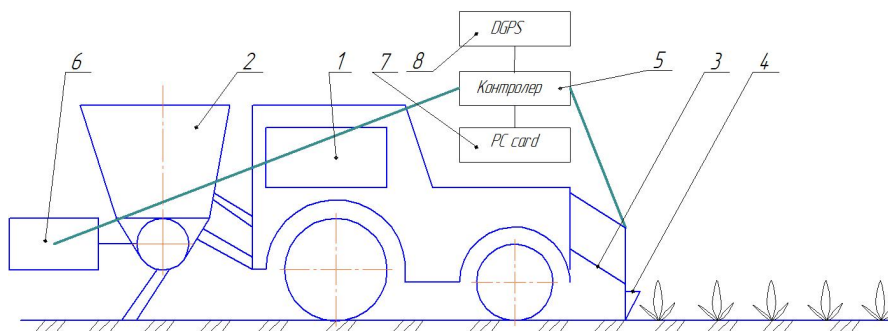


Рис. 3. Зображено загальний вигляд машини для локально-стрічкового диференційованого внесення мінеральних добрив з інформаційно-технічною системою локального оперативного моніторингу варіабельності параметрів сільськогосподарського поля

зації змінних норм внесення мінеральних добрив (технологічного матеріалу) – електронна карта (картограма реалізація).

Важливим елементом запропонованої інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь є підвіска 3, яка забезпечує стабілізацію робочих електродів 4 та копіювання нерівностей поверхні поля (рис. 3).

Тому наступним важливим етапом є визначення робочих параметрів робочих параметрів та режимів функціонування інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь залежно від механіко-конструктивних параметрів та типу

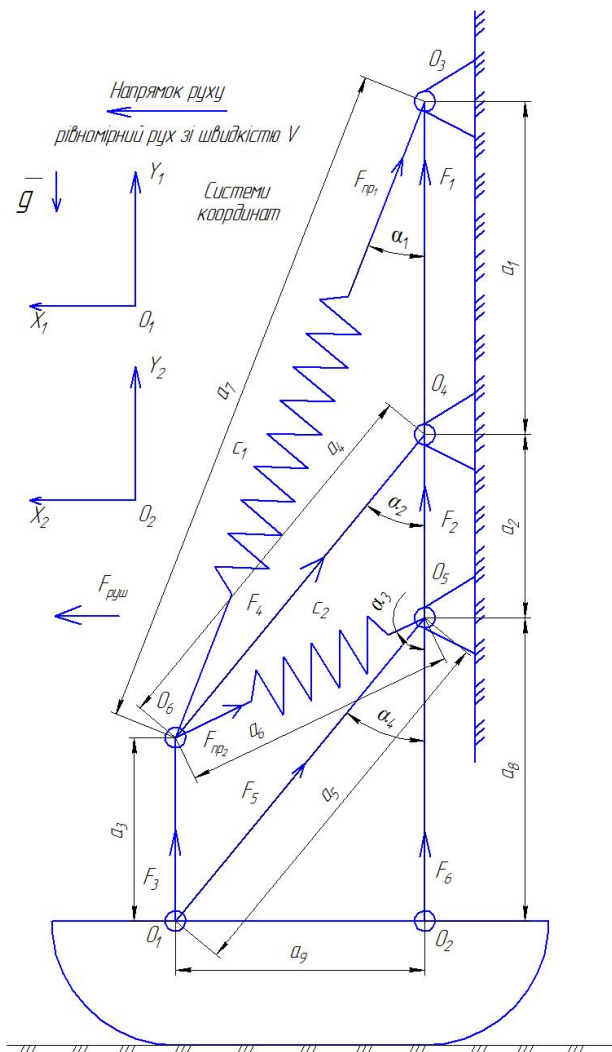


Рис. 4. Розрахункова схема підвіски та розміщення робочих електродів інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь

підвіски її робочих електродів (рис. 4). Маємо наступну систему підвіски (рис. 4).

Розглянемо зусилля, які діють у стержнях інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища та її динамічну модель для з'ясування оптимальних механіко-конструктивних параметрів системи та динамічних характеристик агробіологічного стану сільськогосподарських угідь.

У системі (рис. 4) введені:

$a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8$ – відстані відповідних важелів.

a_9 – відстань між O_1 й O_2 .

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ – кути розміщення важелів.

$F_{пр_1} = c_1 \cdot (\Delta l_1)$, $F_{пр_2} = c_2 \cdot (\Delta l_2)$ – пружні сили елементів підвіски;

$\Delta l_1, \Delta l_2$ – видовження/скорочення вдовж осей a_7, a_6 .

c_1, c_2 – жорсткості відповідних пружин.

$F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6$ – сили, які виникають у відповідних точках системи.

N_1 і N_2 – сили реакції опори ґрунту ($F_3 = N_1$; $F_6 = N_2$).

Для визначення зусиль, які діють у стержнях інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища, необхідно записати умови рівноваги окремо слід написати для точки O_1 , й для точки O_2 .

Відстань a_9 можна знайти за відомого кута α_1 й a_7 :

$$a_9 = a_7 \cdot \sin \alpha_1. \quad (1)$$

Кут α_2 можна знайти за відомого кута α_1 :

$$a_7 \cdot \sin \alpha_1 = a_4 \cdot \sin \alpha_2; \quad (2)$$

$$\text{Звідси } \sin \alpha_2 = \frac{a_7 \cdot \sin \alpha_1}{a_4}.$$

$$\alpha_2 = \arcsin \left\{ \frac{a_7 \cdot \sin \alpha_1}{a_4} \right\}; \quad (3)$$

$$a_7 \cdot \sin \alpha_1 = a_6 \cdot \sin \alpha_3. \quad (4)$$

$$\text{Звідси } \sin \alpha_3 = \frac{a_7 \cdot \sin \alpha_1}{a_6}.$$

$$\alpha_3 = \arcsin \left\{ \frac{a_7 \cdot \sin \alpha_1}{a_6} \right\}; \quad (5)$$

$$a_7 \cdot \sin \alpha_1 = a_5 \cdot \sin \alpha_4. \quad (6)$$

$$\text{Звідси } \sin \alpha_4 = \frac{a_7 \cdot \sin \alpha_1}{a_5}.$$

$$\alpha_4 = \arcsin \left\{ \frac{a_7 \cdot \sin \alpha_1}{a_5} \right\}. \quad (7)$$

Отже, кути $\alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ можна знайти через кут α_1 й лінійні розміри, дані у задачі.

Розглянемо рівновагу у системі $X_1O_1Y_1$.

При рівномірному русі системи у напрямку руху зі швидкістю V сума всіх сил, спроектованих на вісь O_1X_1 дорівнює нулю.

$$\sum_{X_1O_1} = F_{1X} + F_{2X} + F_{6X} + F_{3X} + F_{4X} + F_{5X} + F_{np1_X} + F_{np2_X} = F_{pyu} \quad (8)$$

$$\sum_{X_1O_1} = 0 = 0 + 0 + 0 + 0 + F_4 \cdot \cos \alpha_2 + F_5 \cdot \cos \alpha_4 + c_1 \Delta l_1 \cdot \cos \alpha_1 + c_2 \Delta l_2 \cdot \cos \alpha_3 = F_{pyu} \quad (9)$$

Остаточно маємо:

$$F_4 \cdot \cos \alpha_2 + F_5 \cdot \cos \alpha_4 + c_1 \cdot \Delta l_1 \cdot \cos \alpha_1 + c_2 \cdot \Delta l_2 \cdot \cos \alpha_3 = F_{pyu} \quad (10)$$

Аналогічно, для вісі O_1Y_1 :

$$\sum_{O_1Y_1} F_{yi} = -M \cdot g, \quad (11)$$

де M – маса інформаційно-технічної системи оперативного моніторингу агробіологічного стану ґрунтового середовища, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

$$\sum_{O_1Y_1} F_{yi} = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 \cdot \cos \alpha_2 + F_5 \cdot \cos \alpha_4 + F_6 + c_1 \cdot \Delta l_1 \cdot \cos \alpha_1 + c_2 \cdot \Delta l_2 \cdot \cos \alpha_3 = -M \cdot g. \quad (12)$$

Остаточно маємо для вісі O_1Y_1 :

$$F_1 + F_2 + F_3 + F_4 \cdot \cos \alpha_2 + F_5 \cdot \cos \alpha_4 + F_6 + c_1 \cdot \Delta l_1 \cdot \cos \alpha_1 + c_2 \cdot \Delta l_2 \cdot \cos \alpha_3 = -M \cdot g. \quad (13)$$

Можна легко зрозуміти, що для осей O_1X_1 і O_1Y_1 формули (1) та (2) повторюються.

Тепер розглянемо рівновагу системи при обертанні навколо точки O_1 й, окремо, навколо точки O_2 .

Рівновага навколо точки O_1 (при обертанні):

$$M_1 \downarrow = M_2 \uparrow \quad (14)$$

$$M_1 \downarrow = M_{1F4} + M_{1F5} + M_{1Fm1} + M_{1Fm2} = F_4 \cdot a_3 \cdot \sin \alpha_2 + c_1 \cdot \Delta l_1 \cdot a_3 \cdot \sin \alpha_1 + c_2 \cdot \Delta l_2 \cdot a_3 \cdot \sin \alpha_3; \quad (15)$$

$$M_2 \uparrow = F_1 \cdot a_9 + F_3 \cdot a_9 + F_6 \cdot a_9; \quad (16)$$

Тоді для рівноваги системи при обертанні відносно точки O_1 маємо умову:

$$F_4 \cdot a_3 \cdot \sin \alpha_2 + c_1 \cdot \Delta l_1 \cdot a_3 \cdot \sin \alpha_1 + c_2 \cdot \Delta l_2 \cdot a_3 \cdot \sin \alpha_3 = a_9 \cdot \{F_1 + F_2 + F_6\}. \quad (17)$$

Або:

$$a_3 \cdot (F_4 \cdot \sin \alpha_2 + c_1 \cdot \Delta l_1 \cdot \sin \alpha_1 + c_2 \cdot \Delta l_2 \cdot \sin \alpha_3) = a_9 \cdot \{F_1 + F_2 + F_6\}. \quad (18)$$

Рівновага системи відносно обертання навколо точки O_2 :

$$M_2 \downarrow = F_3 \cdot a_9 + F_4 \cdot (a_2 + a_8) \cdot \sin \alpha_2 + F_5 \cdot a_8 \cdot \sin \alpha_4 + c_1 \cdot \Delta l_1 \cdot (a_1 + a_2 + a_8) \cdot \sin \alpha_1 + c_2 \cdot \Delta l_2 \cdot a_8 \cdot \sin \alpha_3. \quad (19)$$

$$M_2 \uparrow = 0. \quad (20)$$

Тому маємо умову рівноваги при обертанні навколо вісі O_2 :

$$F_3 \cdot a_9 + F_4 \cdot (a_2 + a_8) \cdot \sin \alpha_2 + F_5 \cdot a_8 \cdot \sin \alpha_4 + c_1 \cdot \Delta l_1 \cdot (a_1 + a_2 + a_8) \cdot \sin \alpha_1 + c_2 \cdot \Delta l_2 \cdot a_8 \cdot \sin \alpha_3 = 0; \quad (21)$$

Об'єднаємо умови (10), (13), (18), (21) у систему рівнянь:

$$\begin{cases} F_4 \cdot \cos \alpha_2 + F_5 \cdot \cos \alpha_4 + c_1 \cdot \Delta l_1 \cdot \cos \alpha_1 + c_2 \cdot \Delta l_2 \cdot \cos \alpha_3 = F_{pyu}; \\ F_1 + F_2 + F_3 + F_4 \cdot \cos \alpha_2 + F_5 \cdot \cos \alpha_4 + F_6 + c_1 \cdot \Delta l_1 \cdot \cos \alpha_1 + c_2 \cdot \Delta l_2 \cdot \cos \alpha_3 = -M \cdot g; \\ a_3 \cdot (F_4 \cdot \sin \alpha_2 + c_1 \cdot \Delta l_1 \cdot \sin \alpha_1 + c_2 \cdot \Delta l_2 \cdot \sin \alpha_3) = a_9 \cdot (F_1 + F_2 + F_6); \\ F_3 \cdot a_9 + F_4 \cdot (a_2 + a_8) \cdot \sin \alpha_2 + F_5 \cdot a_8 \cdot \sin \alpha_4 + c_1 \cdot \Delta l_1 \cdot (a_1 + a_2 + a_8) \cdot \sin \alpha_1 + c_2 \cdot \Delta l_2 \cdot a_8 \cdot \sin \alpha_3 = 0. \end{cases} \quad (22)$$

Сили F_3 й F_6 відомі як реакції опори:

$$F_3 = N_1; \quad F_6 = N_2. \quad (23)$$

Тоді з рівняння з 1-го до 4-го у системі (22) маємо залежності сил $F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6$ від пружних сил $F_{пп1} = c_1 \cdot (\Delta l_1)$, $F_{пп2} = c_2 \cdot (\Delta l_2)$ й реакцій сил опори ґрунту N_1 і N_2 . Перепишемо систему (5) іншим чином:

$$\begin{cases} F_4 \cdot \cos \alpha_2 + F_5 \cdot \cos \alpha_4 = -c_1 \cdot \Delta l_1 \cdot \cos \alpha_1 - c_2 \cdot \Delta l_2 \cdot \cos \alpha_3 + F_{pyu}; \\ F_1 + F_2 + F_3 + F_4 \cdot \cos \alpha_2 + F_5 \cdot \cos \alpha_4 = -N_1 - N_2 - c_1 \cdot \Delta l_1 \cdot \cos \alpha_1 - c_2 \cdot \Delta l_2 \cdot \cos \alpha_3 - M \cdot g; \\ F_1 \cdot a_9 + F_2 \cdot a_9 - a_3 \cdot F_3 \cdot \sin \alpha_2 = -a_9 \cdot N_2 + a_9 \cdot c_1 \cdot \Delta l_1 \cdot \sin \alpha_1 + a_9 \cdot c_2 \cdot \Delta l_2 \cdot \sin \alpha_3; \\ F_4 \cdot (a_2 + a_8) \cdot \sin \alpha_2 + F_5 \cdot a_8 \cdot \sin \alpha_4 = -N_1 \cdot a_9 - c_1 \cdot \Delta l_1 \cdot (a_1 + a_2 + a_8) \cdot \sin \alpha_1 - c_2 \cdot \Delta l_2 \cdot a_8 \cdot \sin \alpha_3. \end{cases} \quad (24)$$

З цієї системи чотирьох лінійних рівнянь для сил F_1, F_2, F_3, F_4 можна знайти за правилом Крамера їх значення через (N_1, N_2) й $c_1 \cdot \Delta l_1$, та геометричні параметри системи (кути + лінійні розміри).

Наведемо нижче формули для цих обчислень.

Спочатку знайдемо систему рівнянь (24) у наступному стандартному вигляді:

$$\begin{cases} a_{11} \cdot F_1 + a_{12} \cdot F_2 + a_{13} \cdot F_3 + a_{14} \cdot F_4 = B_1; \\ a_{21} \cdot F_1 + a_{22} \cdot F_2 + a_{23} \cdot F_3 + a_{24} \cdot F_4 = B_2; \\ a_{31} \cdot F_1 + a_{32} \cdot F_2 + a_{33} \cdot F_3 + a_{34} \cdot F_4 = B_3; \\ a_{41} \cdot F_1 + a_{42} \cdot F_2 + a_{43} \cdot F_3 + a_{44} \cdot F_4 = B_4. \end{cases} \quad (25)$$

де:

$$\begin{cases} a_{11} = 0; a_{12} = 0; a_{13} = \cos \alpha_2; a_{14} = \cos \alpha_4; \\ a_{21} = 1; a_{22} = 1; a_{23} = \cos \alpha_2; a_{24} = \cos \alpha_4; \\ a_{31} = a_9; a_{32} = a_9; a_{33} = -a_3 \cdot \sin \alpha_2; a_{34} = 0; \\ a_{41} = 0; a_{42} = 0; a_{43} = (a_2 + a_8) \cdot \sin \alpha_2; a_{44} = a_8 \cdot \sin \alpha_4; \\ B_1 = -c_1 \cdot \Delta l_1 \cdot \cos \alpha_1 - c_2 \cdot \Delta l_2 \cdot \cos \alpha_3 + F_{pyu}; \\ B_2 = -N_1 - N_2 - c_1 \cdot \Delta l_1 \cdot \cos \alpha_1 - c_2 \cdot \Delta l_2 \cdot \cos \alpha_3 - M \cdot g; \\ B_3 = -a_9 \cdot N_2 + a_9 \cdot c_1 \cdot \Delta l_1 \cdot \sin \alpha_1 + a_9 \cdot c_2 \cdot \Delta l_2 \cdot \sin \alpha_3; \\ B_4 = -N_1 \cdot a_9 - c_1 \cdot \Delta l_1 \cdot (a_1 + a_2 + a_8) \cdot \sin \alpha_1 - c_2 \cdot \Delta l_2 \cdot a_8 \cdot \sin \alpha_3. \end{cases} \quad (26)$$

Головний визначник системи (25):

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{vmatrix} \neq 0; \quad (27)$$

Додаткові визначники:

$$\Delta F_1 = \begin{vmatrix} B_1 & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ B_2 & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ B_3 & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ B_4 & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{vmatrix}; \quad \Delta F_2 = \begin{vmatrix} a_{11} & B_1 & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & B_2 & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & B_3 & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & B_4 & a_{43} & a_{44} \end{vmatrix}; \quad (28)$$

$$\Delta F_4 = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & B_1 & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & B_2 & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & B_3 & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & B_4 & a_{44} \end{vmatrix}; \quad \Delta F_5 = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & B_1 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & B_2 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & B_3 \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & B_4 \end{vmatrix}.$$

Тоді, після обчислень Δ , ΔF_1 , ΔF_2 , ΔF_3 , ΔF_4 , ΔF_5 матимемо значення сил:

$$F_1 = \frac{\Delta F_1}{\Delta}; F_2 = \frac{\Delta F_2}{\Delta}; F_4 = \frac{\Delta F_4}{\Delta}; F_5 = \frac{\Delta F_5}{\Delta}. \quad (29)$$

Зусилля F_1, F_2, F_3, F_4 – це зусилля в рамках інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь. Зусилля N_1 і N_2 можна взяти як певні нормовані зусилля для ґрунтів сільськогосподарського призначення, які лежать у певних межах: $\min \leq (N_1, N_2) \leq \max$.

Стосовно оптимізації інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь по такій розрахунковій схемі слід сказати, що всі ці зусилля повинні бути \min . Тому критерій оптимальності, який визначить C_1, C_2 слід шукати для такої функції:

$$(F_1^2 + F_2^2 + F_4^2 + F_5^2) \rightarrow \min. \quad (30)$$

При цьому беруться квадрати сил, бо деякі з них можуть виявитися з від'ємним знаком.

Крім того, треба нормовано задати поля змін показників ΔI_1 й ΔI_2 , тобто,

$$\min \leq (\Delta I_1, \Delta I_2) \leq \max. \quad (31)$$

Тоді в цьому полі $(\Delta I_1, \Delta I_2)$ – нормованих, (N_1, N_2) – нормованих (заданих), шукаємо поле оптимальних значень C_1, C_2 за критерієм (30).

Висновки. Запропонована математична модель для визначення робочих параметрів та режимів функціонування інформаційно-технічної системи локального оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь залежно від механіко-конструктивних параметрів та типу підвіски її робочих електродів дозволить підвищити продуктивність та ефективність моніторингу стану сільськогосподарських угідь шляхом безперервної реєстрації щільності струму на робочих електродах пристрою, які розміщуються попереду рухомого транспортного засобу та дозволяють проводити безперервний моніторинг на поверхні сільськогосподарських угідь та дозволяє зекономити 10-25% посівного матеріалу і сприяє підвищенню урожайності сільськогосподарських культур у середньому на 10-20 ц/га.

Список літератури:

1. Sendreev Yu.N. Control of Finite-Matrix Linear Objects / Yu.N. Sendreev. M. Nauka, 1976. 424 p.
2. Krasovskiy N.N. Theory of motion control / N.N. Krasovsky. Moscow: Nauka, 1968. 474 p.
3. Roitenberg Ya.N. Automatic control / Ya.N. Roitenberg. Moscow: Nauka, 1978. 551 p.
4. Yegorov A.I. Optimal control of linear systems / A.I. Yegorov. Kiev: Vyshcha shkola, 1988. 276 p.
5. Pontryagin L.S. Mathematical theory of optimal processes. L.S. Pontryagin, V.G. Boltyansky, E.F. Mishchenko. Moscow: Nauka, 1961. 391 p.
6. Robson M.A. Practical guide to business process reengineering / M. Robson, P. Ullah. London: Gower Publishing Std, 1996.
7. Scherer F.M. Industrial market structure and economic performance. Boston, USA: Honglton Mifflin Co., 1990.
8. Erlich A. Technical analysis of commodity and financial markets / A. Erlich. Moscow: INFRA. M, 1996.
9. MacConnel L. Ekonopis: Principles, problems and politics / L. MacConnel, S. Brew. M.: Manager, 1993.
10. Karibskiy A.V. Modeling the development of the structure of large-scale production and transport systems. I, II / A.V. Karibsky, A.D. Tsvirkun, Yu.R. Shishorin // automatics and telemechanics. 1989. № 2. P. 116-131; № 4. P. 139-154.
11. Karibskiy A.V. Business plan: financial and economic analysis and performance criteria. (Methods of analysis and evaluation). AV Karibsky, Yu.R. Shishorin // Preprint Moscow: Institute for Control Sciences, 1996.
12. Karibskiy A.V. Managing the development of large-scale system/ A. Karibsky // Mathematics and Computers in Simulation. 1991. no. P. 287-293.
13. Shestakov N.V. Use of computer modeling methods in the investment planning of petrochemical industries. Abstracts of the International Scientific and Practical Conference «Management of large systems» M.I.PU, 1991. P. 391.
14. Karibskiy A.V. Information technologies and features of financial and economic analysis of large investment projects in the oil industry // World of Communication . 1998. № 7-8. P. 72.
15. Bakhrakh L.D., Bliskavitsky A.A. The successes of physical sciences. 1993. V. 162, No. 2. p. 160.
16. Landau L.D. Electrodynamics of continuous media. Moscow: Nauka, 1982. 624 p.
17. Brovarets O.O. Analysis of the structure of perturbing roughnesses of agrofones. MOTROL, 2011. No. 13B. P. 161-166.
18. Sun E., Rusch W. IEEE Transactions. Antennas & Propagation. 1994. V. 42, № 1. P. 9.
19. Kaizer G.A. Friendly Gnide to Wavelets / G.A. Kaizer. N.Y.: Birkhanser, 1994. 480 p.

20. Shvartsburg A.B. Time – Domain Optics of Ultrashort Waveforms. Oxford University Press, 1996. 510 p.
21. Shvartsburg A.B. Non-Linear Pulses in Integrated and Waveguide Optics. Oxford: Oxford University Press, 1993. 360 p.
22. Schwarzburg A.B. Video pulses and non-periodic waves of dispersive media (exactly solvable models). Progress in Physical Sciences. 1998. V. 168, № 1. P. 85-103.
23. Danilov V.A. Nonharmonic Electromagnetic Pulses in a Conductive Medium. Reports of the Academy of Sciences. 1995. V. 341, № 3. P. 330-333.
24. Harmuth H.F. Propagation of Electromagnetic Signals. H.F. Harmuth, G.M. Hussain / Singapore: World Scientific 1994. 400 p.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЛОКАЛЬНОГО ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА ИЗМЕНЕНИЯ АГРОБИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВОЙ СРЕДЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МЕХАНИКО-КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И ТИПА ПОДВЕСКИ ЕЕ РАБОЧИХ ЭЛЕКТРОДОВ

Построена математическая модель для определения оптимальных рабочих параметров и режимов функционирования информационно-технической системы локального оперативного мониторинга изменения агробиологического состояния грунтовой среды сельскохозяйственных угодий в зависимости от механико-конструктивных параметров и типа подвески ее рабочих электродов. Данная модель дает возможность оптимизировать рабочие параметры и режимы функционирования информационно-технической системы локального оперативного мониторинга изменения агробиологического состояния грунтовой среды сельскохозяйственных угодий в зависимости от механико-конструктивных параметров и типа подвески ее рабочих электродов, а соответственно, и обеспечивает максимальную производительность таких систем при получении достоверных данных с учетом агробиологического состояния грунтовой среды. Это дает возможность принять оперативное решение для управления агробиологическим потенциалом сельскохозяйственных угодий при выполнении технологических операций с помощью машинно-тракторного агрегата, сельскохозяйственной машины с использованием информационно-технической системы локального оперативного мониторинга изменения агробиологического состояния грунтовой среды.

Ключевые слова: рабочие электроды, качество технологической операции, изменения грунтовой среды, техническая система оперативного мониторинга, агробиологическое состояние, мониторинг.

ATHEMATICAL MODEL FOR DETERMINING THE WORKING PARAMETERS AND MODES OF THE FUNCTIONING OF THE INFORMATION TECHNICAL SYSTEM OF LOCAL OPERATIONAL MONITORING OF CHANGING THE AGROBIOLOGICAL STATE OF THE GROUND AGRICULTURE OF AGRICULTURAL HERITES DEPENDING ON MECHANICALLY-CONSTRUCTIVE PARAMETERS AND THE TYPE OF SUSPENSION OF ITS WORKING ELECTRODES

A mathematical model has been constructed to determine the optimal operating parameters and operating modes of the information technical system for local operational monitoring of the agrobiological state of the soil environment of agricultural land, depending on the mechanical and structural parameters and the type of suspension of its working electrodes. This model makes it possible to optimize the operating parameters and operating modes of the information technical system for local operational monitoring of the agrobiological state of the soil environment of agricultural land, depending on the mechanical design parameters and the type of suspension of its working electrodes, and thus ensuring the maximum performance of such systems in obtaining reliable data from taking into account the agrobiological state of the soil environment. This makes it possible to make an operative decision to manage the agrobiological potential of agricultural lands when performing technological operations with the help of a machine-tractor unit and an agricultural machine using the information technology system of local operational monitoring of the agrobiological condition of the ground environment.

Key words: working electrodes, quality of technological operation, changes in soil environment, technical monitoring system, agrobiological condition, monitoring.

Реута О.В.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

Хабраман Хаді

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

ПОБУДОВА 3D-ВЕЙВЛЕТІВ ХААРА ДЛЯ ЗАДАЧ АНАЛІЗУ ДИСКРЕТНИХ МОДЕЛЕЙ ПРОСТОРОВИХ ФОРМ

У роботі розглянуто процес формування вейвлетів довільної розмірності та запропоновано його геометричну інтерпретацію для розмірностей 1, 2 та 3. Наведено геометричні форми масштабної функції та вейвлетів перетворення Хаара для розмірностей 1, 2 та 3. Отримано аналітичні вирази для просторових вейвлетів Хаара з метою їх опису за довільними параметрами перенесення і масштабування.

Ключові слова: просторова форма, розмірність, воксельна модель, вейвлет-перетворення, вейвлет-коефіцієнти, тривимірний вейвлет Хаара, кратно-масштабний аналіз.

Постановка проблеми. Вейвлети є популярним засобом аналізу форми об'єктів. Зокрема, коли форма подана дискретною моделлю: гістограмою для одновимірного об'єкту, матрицею – для двовимірного, і вексельною – для просторового тіла. Аналіз форми останнього із застосуванням вейвлетів ефективно може бути здійснений лише за наявності вейвлетів відповідної розмірності. Однак проблемою є те, що натеper відсутні аналітичні вирази для вейвлетів конкретних типів розмірності більшої за 1, навіть для випадків їх найпростішої форми. У роботі пропонується узагальнення вейвлетів Хаара для випадку трьох розмірностей, дається геометрична інтерпретація процесу їх утворення і наводиться процедура їх визначення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вейлет-перетворення одно – і двовимірних функцій широко застосовується в науці і техніці для аналізу й оброблення сигналів, що подають об'єкти і процеси реального світу. Водночас, незважаючи на розмірність функції, що перетворюється, вейвлет-перетворення завжди одновимірне, а змінюється лише спосіб його застосування. Так, наприклад, у разі перетворення Хаара, яке є предметом розгляду нашої роботи, коли функція подана двовимірним масивом своїх значень, спочатку перетворення здійснюється вздовж однієї розмірності (наприклад, над рядками). потім – уздовж другої (над стовпцями) [1, с. 281]. Кожного разу об'єктом перетворення є одновимірний масив. Розширення

цього підходу на перетворення просторових форм (тривимірних або просторових об'єктів) лише додає ще один крок перетворення, залишаючи незмінним як вигляд самого перетворення, так і використаний для цього вейвлет [2, с. 391]. Між тим, вейвлети довільної розмірності описані як у загальному вигляді [3, с. 79; 4, с. 500], так і більш конкретно – для випадку трьох розмірностей [5, с. 309]. Це дає можливість констатувати, що натеper уже існує достатньо розвинений математичний апарат, який дозволяє розглянути вейвлет-перетворення просторової форми, не зменшуючи розмірність задачі під час її розв'язання.

Постановка завдання. Мета роботи – описати процес побудови просторового вейвлету Хаара, дати геометричну інтерпретацію й отримати відповідні аналітичні вирази для масштабної функції й власне вейвлету.

Виклад основного матеріалу дослідження. Просторова форма може бути ефективно подана своєю дискретною моделлю (далі – ДМ), побудованою на основі просторових елементів – векселів [7, с. 501]. Її аналіз за допомогою вейвлетів визначений кратно-масштабним аналізом (далі – КМА), що здійснюється, як правило, за схемою [2, с. 393], названою пірамідальною [1, с. 218], у якій застосовуються одновимірні вейвлети послідовно для кожної розмірності (рис. 1).

Розв'язання поставленого завдання почнемо з того, що розглянемо узагальнення вейвлетів для довільної розмірності.

Нехай функція $\psi(\mathbf{x})$, $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ – n -вимірний вейвлет, що означає виконання для неї таких умов [6, с.10]:

$$\psi(\mathbf{x}) \in L^2(\mathbb{R}^n) \text{ і } \int_{-\infty}^{\infty} \psi(\mathbf{x}) d\mathbf{x} = 0. \quad (1)$$

Тоді вейвлет-перетворення довільної функції $f(\mathbf{x}) \in L^2(\mathbb{R}^n)$ матиме вигляд:

$$Wf(\mathbf{x}) = \frac{1}{\|\mathbf{a}\|} \int_{-\infty}^{\infty} f(\mathbf{x}) \psi\left(\frac{\mathbf{b} - \mathbf{x}}{\mathbf{a}}\right) d\mathbf{x}. \quad (2)$$

Вейвлети виду $\Psi = \{\psi_{m,k}(\mathbf{x}) = 2^{m/2} \psi(2^{m/2} \mathbf{x} - \mathbf{k})\}$ для фіксованого $m \in \mathbb{Z}$ є базисом підпростору $W_m = V_m \setminus V_{m-1}$ ($m = 0, \pm 1, \dots$) в ортогональному КМА форми, визначеної за допомогою $f(\mathbf{x})$ [6, с. 130].

Безпосередній шлях побудови n -вимірного ортонормального базису, виходячи з одновимірного ортонормального вейвлет-базису Ψ , полягає в застосуванні тензорного добутку для утворення відповідної функції з n -одновимірних базисів (мається на увазі й інша можливість, зазначена в [4, с. 500]): ...

$$\Psi_{j_1 k_1 j_2 k_2 \dots j_n k_n}(x_1, x_2, \dots, x_n) = \psi_{j_1 k_1}(x_1) \otimes \psi_{j_2 k_2}(x_2) \otimes \dots \otimes \psi_{j_n k_n}(x_n), \quad (3)$$

де \otimes – операція тензорного добутку.

У цьому базисі всі складники x_i , $i = 1, n$ змінюються по різному. Між тим, практичне значення для аналізу форм просторових об'єктів або їх дискретних моделей (і найбільший інтерес) має конструкція, у якій масштабування отриманого ортонормованого вейвлет-базису здійснюється за всіма змінними однаково.

У цьому разі n -вимірні вейвлети задаються такими виразами:

$$\Psi_{j_1 k_1 j_2 k_2 \dots j_n k_n}(x_1, x_2, \dots, x_n) = 2^j \psi(2^j x_1 - k_1, 2^j x_2 - k_2, \dots, 2^j x_n - k_n). \quad (4)$$

У цьому базисі всі складники x_i , $i = 1, n$ змінюються по різному. Між тим, практичне значення для аналізу форм просторових об'єктів або їх дискретних моделей (і найбільший інтерес) має

конструкція, у якій масштабування отриманого ортонормованого вейвлет-базису здійснюється за всіма змінними однаково.

У цьому разі n -вимірні вейвлети задаються такими виразами:

$$\Psi_{j_1 k_1 j_2 k_2 \dots j_n k_n}(x_1, x_2, \dots, x_n) = 2^j \psi(2^j x_1 - k_1, 2^j x_2 - k_2, \dots, 2^j x_n - k_n). \quad (4)$$

Як відомо [4, с. 501], у загальному n -вимірному випадку існує $2^n - 1$ функцій, що утворюють ортонормальний базис і здійснюють КМА будь-якої функції з $L^2(\mathbb{R}^n)$. Тому функція Ψ (4) вже не буде єдиною, а буде сформованою з $2^n - 1$ елементарних вейвлетів і для того щоб створити ортонормований базис, необхідно буде використати $2^n - 1$ сімейства.

Геометрична інтерпретація цього сімейства полягає в тому, що кількість елементарних вейвлетів $N_w = 2^n - 1$ визначає кількість напрямів аналізу моделі в просторі. Так, нехай t – параметр ($t \in \mathbb{Z}$). Тоді в ортонормованому базисі $(\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k})$ напрями аналізу моделі будуть визначатися такими виразами:

- випадок одновимірної ДМ ($n = 1, N_w = 1$):

$$\mathbf{r}_1(t) = \mathbf{i}t;$$

- випадок двовимірної ДМ ($n = 2, N_w = 3$):

$$\mathbf{r}_1(t) = \mathbf{i}t, \mathbf{r}_2(t) = \mathbf{j}t, \mathbf{r}_3(t) = (\mathbf{i} + \mathbf{j})t;$$

- випадок тривимірної ДМ ($n = 3, N_w = 7$):

$$\mathbf{r}_1(t) = \mathbf{i}t, \mathbf{r}_2(t) = \mathbf{j}t, \mathbf{r}_3(t) = \mathbf{k}t, \mathbf{r}_4(t) = (\mathbf{i} + \mathbf{j})t,$$

$$\mathbf{r}_5(t) = (\mathbf{j} + \mathbf{k})t, \mathbf{r}_6(t) = (\mathbf{k} + \mathbf{i})t, \mathbf{r}_7(t) = (\mathbf{i} + \mathbf{j} + \mathbf{k})t.$$

Визначимо аналітичні вирази елементів одного з найпоширеніших вейвлет-базисів – базиса Хаара [1, с. 232; 6, с. 10], масштабна функція якого φ і сам вейвлет Ψ визначаються так:

$$\varphi(x) = \begin{cases} 1, & x \in [0, 1) \\ 0, & x \notin [0, 1) \end{cases}, \quad \psi(x) = \begin{cases} 1, & x \in [0, 1/2) \\ -1, & x \in [1/2, 1) \\ 0, & x \notin [0, 1) \end{cases}. \quad (5)$$

Скориставшись наведеним вище підходом конструювання вейвлетів довільної розмірності (3), можна отримати подання (5) для випадку 2D.

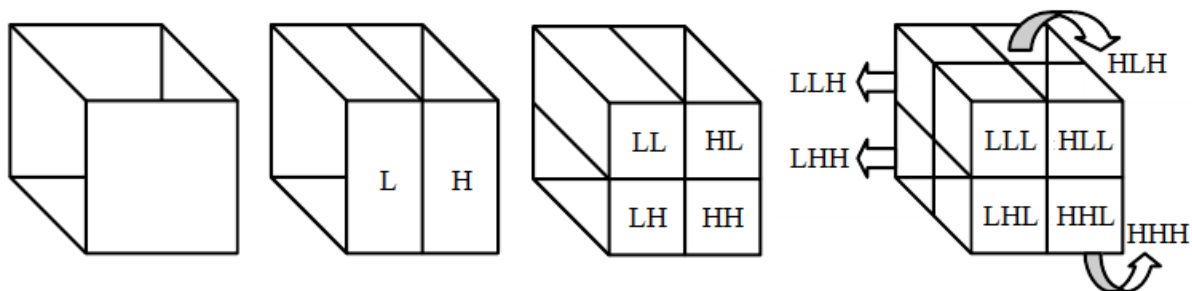


Рис. 1. Схема реалізації вейвлет-перетворення у разі тривимірної ДМ об'єкта із застосуванням одновимірних вейвлетів (L та H позначають межі низько- та високочастотних коефіцієнтів вейвлет-перетворення)

Відповідний вираз матиме такий вигляд:

$$\varphi(x, y) = \begin{cases} 1, & (x, y) \in Q \\ 0, & (x, y) \notin Q \end{cases}, \quad \psi(x, y) = \begin{cases} 1, & (x, y) \in Q_1^+ \vee Q_2^+ \\ -1, & (x, y) \in Q_1^- \vee Q_2^- \\ 0, & (x, y) \notin Q \end{cases} \quad (6)$$

де Q – квадрат, з вершинами $(0, 0), (0, 1), (1, 1), (1, 0)$; Q_1^+ – квадрат із вершинами $(0, 0), (0, 1/2), (1/2, 1/2), (1/2, 0)$; Q_2^+ – квадрат із вершинами $(1/2, 1/2), (1/2, 1), (1, 1), (1, 1/2)$; Q_1^- – квадрат із вершинами $(0, 1/2), (1/2, 1/2), (1/2, 1), (0, 1)$; Q_2^- – квадрат із вершинами $(1/2, 0), (1, 0), (1, 1/2), (1/2, 1/2)$.

Аналітичний вираз для 3D-вейвлетів Хаара має такий вигляд:

$$\varphi(x, y, z) = \begin{cases} 1, & (x, y, z) \in C \\ 0, & (x, y, z) \notin C \end{cases}$$

$$\psi(x, y, z) = \begin{cases} 1, & (x, y, z) \in C_1^+ \vee C_2^+ \vee C_3^+ \vee C_4^+ \\ -1, & (x, y, z) \in C_1^- \vee C_2^- \vee C_3^- \vee C_4^- \\ 0, & (x, y, z) \notin C \end{cases} \quad (7)$$

де C – куб із вершинами $(0, 0, 0), (0, 1, 0), (1, 1, 0), (1, 0, 0), (0, 0, 1), (0, 1, 1), (1, 1, 1), (1, 0, 1)$; C_1^+ – куб із вершинами $(0, 0, 0), (0, 1/2, 0), (1/2, 1/2, 0), (1/2, 0, 0), (0, 0, 1/2), (0, 1/2, 1/2), (1/2, 1/2, 1/2), (1/2, 0, 1/2)$; C_2^+ – куб із вершинами $(1/2, 1/2, 0), (1/2, 1, 0), (1, 1, 0), (1, 1/2, 0), (1/2, 1/2, 1/2), (1/2, 1, 1/2), (1, 1, 1/2), (1, 1/2, 1/2)$; C_3^+ – куб із вершинами $(0, 1/2, 1/2), (1/2, 1/2, 1/2), (1/2, 1, 1/2), (0, 1, 1/2), (0, 1/2, 1), (1/2, 1/2, 1), (1/2, 1, 1), (0, 1, 1)$; C_4^+ – куб із вершинами $(1/2, 0, 1/2), (1, 0, 1/2), (1, 1/2, 1/2), (1/2, 1/2, 1/2), (1/2, 0, 1), (1, 0, 1), (1, 1/2, 1), (1/2, 1/2, 1)$; C_1^- – куб із вершинами $(0, 1/2, 0), (1/2, 1/2, 0), (1/2, 1, 0), (0, 1, 0), (0, 1/2, 1/2), (1/2, 1/2, 1/2), (1/2, 1, 1/2), (0, 1, 1/2)$; C_2^- – куб із вершинами $(1/2, 0, 0), (1, 0, 0), (1, 1/2, 0), (1/2, 1/2, 0), (1/2, 0, 1/2), (1, 0, 1/2), (1, 1/2, 1/2), (1/2, 1/2, 1/2)$; C_3^- – куб із вершинами $(0, 0, 1/2), (0, 1/2, 1/2), (1/2, 1/2, 1/2), (1/2, 0, 1/2), (0, 0, 1), (0, 1/2, 1), (1/2, 1/2, 1), (1/2, 0, 1)$; C_4^- – куб із вершинами $(1/2, 1/2, 1/2), (1/2, 1, 1/2)$.

$(1, 1, 1/2), (1, 1/2, 1/2), (1/2, 1/2, 1), (1/2, 1, 1), (1, 1, 1), (1, 1/2, 1)$.

На рис. 2. наведені межі визначення функцій $\varphi(x, y, z)$ і $\psi(x, y, z)$ (5) у вигляді кубів C (рис. 2, а), C^+ (рис. 2, б) і C^- (рис. 2, в).

Із рис. 2 видно, що кожна з областей C^+ або C^- (рис. 2 б, в) є октантом області C (рис. 2, а). (Зазначимо, що область C є носієм функцій (7), як це визначено в [1, с. 232]). Уведемо єдиний індекс i , $i = \overline{0, 7}$, для їх позначення (порядок вибору значень індексу i буде пояснено нижче):

$$C_1^+ = C_0, C_2^+ = C_6, C_3^+ = C_3, C_4^+ = C_5,$$

$$C_1^- = C_2, C_2^- = C_4, C_3^- = C_1, C_4^- = C_7. \quad (8)$$

Отримані результати стосуються рівня деталізації $L = 1$. Тому далі розглянемо процес формування областей (8) у разі довільного рівня деталізації L подання форми просторового об'єкта.

Оберемо умову: тип області (C, C^+ або C^-), її розмір і положення мають повністю визначатися її індексом або індексами.

Спочатку встановимо зв'язок індекса i , що задає один октант із восьми, з геометричним положенням відповідної області і її типом. Для цього подамо індекс i у двійковій системі числення. Таке подання вимагатиме три двійкових розряди, кожен із яких умовно буде відповідати певній координаті, а всі разом визначатимуть центр області (октанта).

Уважатимемо, що двійкове подання індексу $i - b_i^2 b_i^1 b_i^0$, де b_i^p – значення p -го розряду цього подання. Установимо відповідність. Нехай b_i^2 відповідає аплікаті, b_i^1 – ординаті і b_i^0 – абсцисі (орієнтація осей задається ДМ, аналіз якої передбачається [7, с. 501]). Тоді тип області визначатиметься за кількістю одиничних розрядів у поданні $b_i^2 b_i^1 b_i^0$: якщо кількість одиничних розрядів парна ($b_i^2 \oplus b_i^1 \oplus b_i^0 = 0$, де \oplus – операція виключаючого

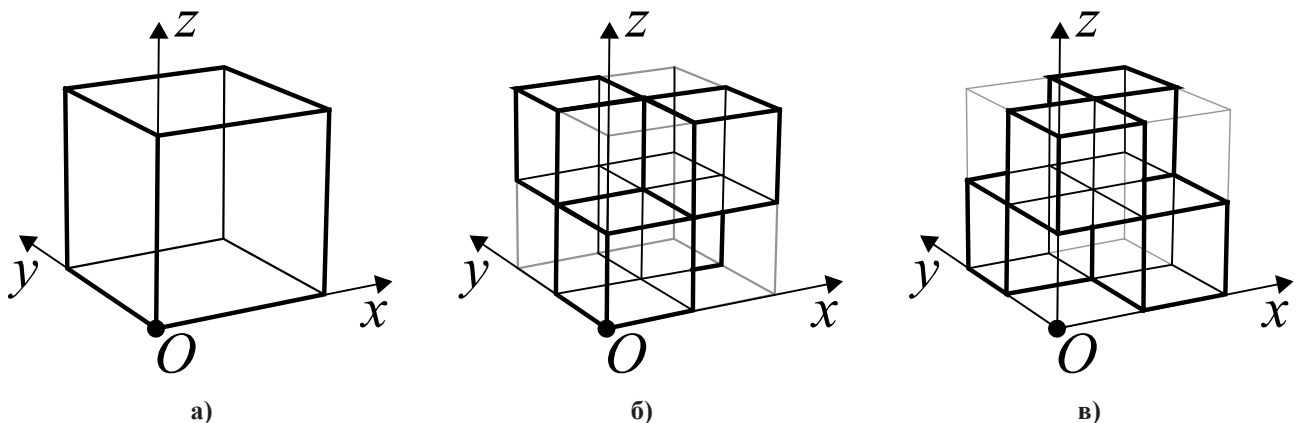


Рис 2. Куби C (а), C^+ (б) і C^- (в), що подають області визначення функцій $\varphi(x, y, z)$ і $\psi(x, y, z)$ у виразі (3)

АБО), то індекс визначає область типу C^+ , інакше – типу C^- . Наприклад, якщо $i = 5$, то, оскільки $5 = 101_2$, маємо $b_5^2 = 1$ (визначає координату центру октанту вздовж осі Oz), $b_5^1 = 0$ (вздовж Oy) і $b_5^0 = 1$ (вздовж Ox), тип області – C^- , де $\psi(x, y, z)$, згідно з (7), має значення -1 .

Тому координати центру октанту C_i матимуть значення:

$$\begin{aligned} x_i &= x_L^C + \left(-\frac{1}{2}b_i^0\right)\Delta_L^x, & y_i &= y_L^C + \left(-\frac{1}{2}b_i^1\right)\Delta_L^y, \\ z_i &= z_L^C + \left(-\frac{1}{2}b_i^2\right)\Delta_L^z, \end{aligned} \quad (9)$$

де x_L^C, y_L^C, z_L^C – координати центру області C , одним з октантів якої є C_i , а $\Delta_L^x, \Delta_L^y, \Delta_L^z$, – її лінійні розміри на рівні деталізації L , які, визначаються так:

$$\Delta_L^x = \frac{L_x}{2^L}, \quad \Delta_L^y = \frac{L_y}{2^L}, \quad \Delta_L^z = \frac{L_z}{2^L}. \quad (10)$$

Якщо відомі координати центру (9) октанту C_i , то координати його вершин визначаються так:

$$\left(x_i \pm \frac{L_x}{2^{L+1}}, y_i \pm \frac{L_y}{2^{L+1}}, z_i \pm \frac{L_z}{2^{L+1}} \right). \quad (11)$$

Для випадку $L > 1$, область C є октантом і координати її центру x_L^C, y_L^C, z_L^C також визначаються за (5) і тому залежать від положення всіх октантів, сформованих на попередніх рівнях деталізації $1, 2, \dots, L-1$, що містять область C .

Узагальнюючи вираз (9), на випадок довільного рівня деталізації, можна отримати координати

центра будь-якого октанта (8) на будь-якому рівні деталізації, визначити аналітичний вираз 3D-вейвлета Хаара.

Для довільного $L > 1$ вирази (9) матимуть такий вигляд:

$$\begin{aligned} x_{i_{i_2 \dots i_L}} &= x_{i_{i_2 \dots i_{L-1}}} + \left(b_{i_L}^0 - \frac{1}{2}\right)\Delta_L^x = L_x \left[\frac{1}{4^L} \left(\sum_{q=1}^L b_q^0 + \frac{1}{6} \right) + \frac{1}{3} \right], \\ y_{i_{i_2 \dots i_L}} &= y_{i_{i_2 \dots i_{L-1}}} + \left(b_{i_L}^1 - \frac{1}{2}\right)\Delta_L^y = L_y \left[\frac{1}{4^L} \left(\sum_{q=1}^L b_q^1 + \frac{1}{6} \right) + \frac{1}{3} \right], \\ z_{i_{i_2 \dots i_L}} &= z_{i_{i_2 \dots i_{L-1}}} + \left(b_{i_L}^2 - \frac{1}{2}\right)\Delta_L^z = L_z \left[\frac{1}{4^L} \left(\sum_{q=1}^L b_q^2 + \frac{1}{6} \right) + \frac{1}{3} \right]. \end{aligned} \quad (12)$$

Таким чином, у трьох розмірностях масштабна функція і вейвлет перетворення Хаара мають вигляд (7), де області C , залежно від рівня деталізації (параметру масштабування вейвлету), мають розмір (10) і, залежно від параметрів перенесення, положення центру (12). Форма вейвлету визначається також за його положенням (значенням індексу), як було описано вище.

Висновки. У результаті дослідження отримано аналітичні вирази для 3D-вейвлетів Хаара (7)–(12), що дає змогу ефективно використовувати їх для КМА форм просторових об'єктів, поданих своїми дискретними моделями, наприклад, воксельними. У подальшому передбачається розроблення процедури безпосередньо вейвлет-аналізу та її програмна реалізація.

Список літератури:

1. Сэломон. Д. Сжатие данных, изображения, звука. Москва: Техносфера, 2004. 368 с.
2. Pinnamaneni Pujita, Saladi Sagar, Meyer Joerg. 3-D Haar Wavelet Transformation and Texture-Based 3-D Reconstruction of Biomedical Data Sets // Visualization, Imaging and Image Processing (VIIP 2001), The International Association of Science and Technology for Development, Marbella, Spain, ACTA Press, 2001. P. 389–394.
3. Копенков В.Н. Эффективные алгоритмы локального дискретного вейвлет-преобразования с базисом Хаара. Компьютерная оптика. 2008. Т. 32, № 1. С. 78–84.
4. Дремин И.М., Иванов О.В., Нечитайло В.А. Вейвлеты и их использование. Успехи физических наук. 2001. Т. 171, № 5. С. 465–501.
5. Реута О.В. Використання перетворення Хаара при розпізнаванні просторових об'єктів на основі піраміди моделей. Прикладна геометрія та інженерна графіка. Київ: КНУБА, 2012. Вип. 89. С. 306–310.
6. I. Daubechies. Ten Lectures on Wavelets. CBMS-NSF Lecture Notes nr. 61, SIAM, 1992. 377 p.
7. Реута О.В. Вексельна модель тривимірного об'єкта в задачах реконструкції його форми. Прикладна геометрія та інженерна графіка. Київ: КНУБА, 2008. Вип. 80. С. 500–504.

ПОСТРОЕНИЕ 3D-ВЕЙВЛЕТОВ ХААРА ДЛЯ ЗАДАЧ АНАЛИЗА ДИСКРЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ФОРМ

В работе рассмотрен процесс формирования вейвлетов произвольной размерности и предложена его геометрическая интерпретация для размерностей 1, 2 и 3. Представлены геометрические формы масштабной функции и вейвлетов преобразования Хаара размерности 1, 2 и 3. Для пространственных вейвлетов Хаара получены аналитические выражения для их описания по произвольным параметрам переноса и масштабирования.

Ключевые слова: пространственная форма, размерность, вксельная модель, вейвлет-преобразование, вейвлет-коэффициенты, трехмерный вейвлет Хаара, кратно-масштабный анализ.

CONSTRUCTION OF 3D HAAR WAVELETS FOR ANALYSIS OF DISCRETE MODELS OF SPACE SHAPES

An approach to construction of wavelets of arbitrary dimension is considered and its geometric interpretation for 1D, 2D and 3D cases is proposed. The geometric forms of scaling function and wavelets of Haar transformation for 1D, 2D and 3D cases are presented. Analytical expressions for 3D Haar wavelets with arbitrary shift and scale parameters are obtained.

Key words: space shape, dimension, voxel model, wavelet transformation, wavelet coefficients, 3D Haar wavelet, multi-dimensional analysis.

ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ У МАШИНОБУДУВАННІ

УДК 621.914.22

Равська Н.С.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Парненко В.С.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОМЕТРІЇ ЗАДНЬОЇ ПОВЕРХНІ РІЗАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ ДИСКОВИХ ОБКАТНИХ ФРЕЗ З НЕРІВНОМІРНИМ КРОКОМ

У статті досліджується геометрія задньої поверхні дискової обкатної фрези при нарізанні зубів дискових відрізних фрез із нерівномірним кроком та прямолінійним профілем. Із метою оцінки працездатності різального інструменту було визначено зміни задніх кутів уздовж різальних кромки у процесі різання. Досліджено зміну задніх кутів залежно від кількості зубів, кількості зубів у групі оброблювального виробу та діаметра обкатної фрези з нерівномірним кроком уздовж різальної кромки по кожному її зубу. Було здійснено порівняння їх величини з тими, що рекомендуються в літературних джерелах. Згідно з цими рекомендаціями, проаналізовано можливі шляхи вдосконалення інструменту.

Ключові слова: дискові обкатні фрези, нерівномірний крок, кінематичні геометричні параметри, задні кути, задня поверхня.

Постановка проблеми. Дискові обкатні фрези [1, с. 3] призначені для оброблення відрізних пил із нерівномірним кроком [2, с. 40]. Для розроблення конструкції обкатної фрези необхідно визначити вплив її конструктивних параметрів на зміну геометрії вздовж різальної кромки кожного зуба в процесі роботи. На основі порівняння з рекомендованими значеннями визначаються шляхи удосконалення інструмента.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Конструкція дискової обкатної фрези була розроблена і досліджена стосовно виготовлення храпових коліс, які є дисками з рівномірним кроком зубів. У цій роботі [3, с. 165] показано, що геометричні параметри в процесі оброблення на кожному зубі обкатної фрези однакові, проте, якщо кожен зуб обкатної фрези буде мати різні розміри (що пов'язано з нерівномірністю кроку у групі) [2, с. 40], то геометричні параметри в процесі роботи будуть змінюватися від зуба до зуба. Тому виникає завдання дослідити ці зміни

на кожному зубі, яку для обкатного інструмента характеризують кінематичні геометричні параметри.

Виклад основного матеріалу дослідження. Геометричні параметри різальної частини інструменту залежать від форми його передніх, задніх поверхонь та від рухів, що здійснюються в процесі оброблення заготовки інструментом.

Визначення геометричних параметрів різальної частини інструмента подано в ДСТУ 2249-93 «Обробка різанням. Терміни, визначення та позначення».

Геометрія задньої поверхні різального інструменту характеризується формою задньої поверхні з розташованою на ній різальною кромкою і положенням задньої поверхні щодо поверхні різання.

Задній кут α – це кут у січній площині між площиною, дотичною до задньої поверхні в досліджуваній точці різальної кромки і площиною різання [4, с. 21], що однозначно визначається нормальними цими площин.

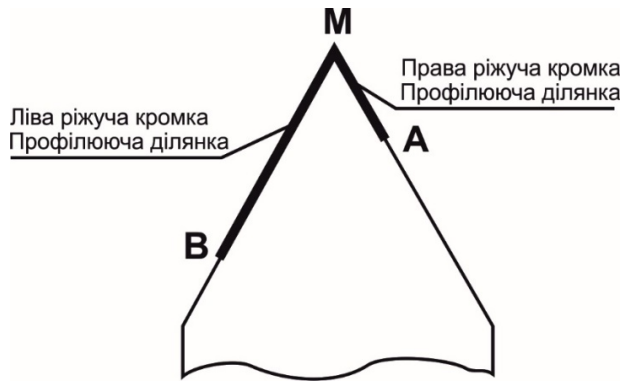


Рис. 1. Профілюючі ділянки різальних кромок дискової обкатної фрези

Будемо вважати відомим задній кут у вершинній точці ріжучої кромки в торцевому перетині обкатної фрези, перпендикулярному до її осі.

Кут між нормаллю \bar{N}_n до площини різання і нормаллю \bar{N}_3 до задньої площини буде рівний задньому куту α_n в нормальному перетині [5, с.73].

Тому кінематичний задній кут α_{nk} буде таким:

$$\cos \alpha_{nk} = \frac{(\bar{N}_{nk} \cdot \bar{N}_3)}{|\bar{N}_{nk}| \cdot |\bar{N}_3|}. \quad (1)$$

Вектор \bar{N}_{nk} нормалі до кінематичної площини різання визначається за залежністю:

$$\bar{N}_{nk} = [\bar{P} \times \bar{V}_e]$$

$$\bar{N}_{nk} = [\bar{P} \cdot \bar{V}_e] = \begin{vmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \\ P_x & P_y & P_z \\ V_{ex} & V_{ey} & V_{ez} \end{vmatrix} = \bar{i} \cdot (P_y \cdot V_{ez} - P_z \cdot V_{ey}) - \bar{j} \cdot (P_x \cdot V_{ez} - P_z \cdot V_{ex}) + \bar{k} \cdot (P_x \cdot V_{ey} - P_y \cdot V_{ex}) = \bar{i} \cdot N_{nkx} + \bar{j} \cdot N_{nky} + \bar{k} \cdot N_{nkz}$$

Положення задньої площини визначається вектором \bar{P} і вектором \bar{Z} , розташованим у задній площині.

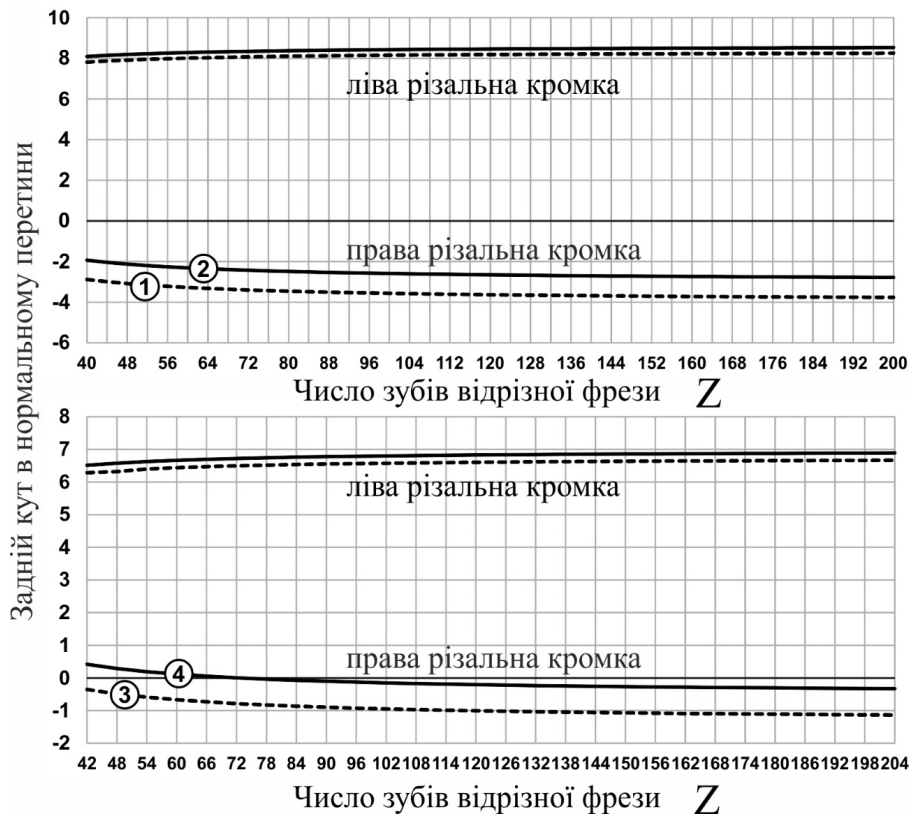
Положення вектора \bar{Z} залежить від форми задньої поверхні і записується в координатній формі:

$$\bar{Z} = \bar{i} \cdot Z_x + \bar{j} \cdot Z_y + \bar{k} \cdot Z_z.$$

Вектор нормалі \bar{N}_3 до задньої площини буде таким:

$$\bar{N}_3 = [\bar{P} \times \bar{Z}] = \begin{vmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \\ P_x & P_y & P_z \\ Z_x & Z_y & Z_z \end{vmatrix} = \bar{i}(P_y Z_z - P_z Z_y) - \bar{j}(P_x Z_z - P_z Z_x) - \bar{k}(P_x Z_y - P_y Z_x);$$

$$\bar{N}_3 = \bar{i} N_{3x} + \bar{j} N_{3y} + \bar{k} N_{3z}.$$



- 1 – Параметри відрізної фрези: $Z_{gr}^g=4, \gamma=10^\circ$;
- 2 – Параметри відрізної фрези: $Z_{gr}^g=4, \gamma=5^\circ$;
- 3 – Параметри відрізної фрези: $Z_{gr}^g=6, \gamma=10^\circ$;
- 4 – Параметри відрізної фрези: $Z_{gr}^g=6, \gamma=5^\circ$.

Рис. 2. Характер зміни нормального заднього кута α_n у вершинній точці ріжучої кромки залежно від кількості зубів відрізної фрези

Додатково до математичних та інженерних обчислень Mathcad були введені вихідні дані та формули для розрахунку \bar{P} , \bar{Z} , \bar{V}_e , \bar{N}_{nk} , \bar{N}_3 .

Досліджено зміни α_{nk} дискової обкатної фрези в нормальному до різальної кромки перерізі в процесі оброблення багатозубого виробу з нерівномірним кроком.

Під час дослідження кінематичного заднього кута було розглянуто положення зуба дискової обкатної фрези в момент повного врізання в заготовку під час оброблення відрізних фрез із нерівномірним кроком за такими параметрами: $Z_{gr}=4$, та $Z_{gr}=6$, $Z_e=40\div 200$.

Досліджувались зміни кінематичних кутів на двох різальних кромках (правій МА та лівій МВ) (рис. 1). Базовими точками різальної кромки розглядалися вершинна точка М та дві граничні точки різальних кромок у процесі оброблення виробу – точка А та точка В.

Особливості профілю кожного зуба дискової обкатної фрези такі, що для нарізання відрізнної фрези із зубами у групі $Z_{gr} = 4$ профілі другого та четвертого зубів мають однакові розміри, а для нарізання відрізнної фрези із зубами $Z_{gr} = 6$ профілі другого та третього зубів мають однакові розміри з профілем п'ятого та шостого.

На рисунку 2 показано характер зміни кінематичного заднього кута α_n на першому найбіль-

шому зубі обкатної фрези залежно від кількості зубів, кількості зубів у групі та переднього кута оброблювальної відрізнної фрези.

У процесі різання (при прийнятому задньому $\alpha_e = 10^\circ$ інструментальному куті у вершинній точці ріжучої кромки) задній кут на одній із бічних ріжучих кромки має позитивні значення, а на другій – негативні, що недопустимо.

За рекомендаціями [6, с. 86], мінімальне значення α_n повинно бути не менше 3-4°.

Дослідження впливу кількості зубів відрізнної фрези показали, що при їх збільшенні кінематичний задній кут зростає.

Показано, що на величину задніх кутів також впливає передній кут відрізнної фрези. Як видно з рис. 2, його зменшення викликає збільшення α_e обкатної фрези на правій стороні та більш інтенсивне зменшення на лівій, набуваючи від'ємного значення.

Слід зазначити, що передня поверхня зубів відрізнної фрези утворюється правою різальною кромкою обкатної фрези. Тому нарізання зубів відрізнної пили обкатною фрезою, заданий передній кут виробу забезпечується заточкою задньої поверхні.

Установлено, що зменшення кількості зубів у групі зменшує нормальний задній кут (рис. 2). Під час дослідження зміни нормальних кутів α_n

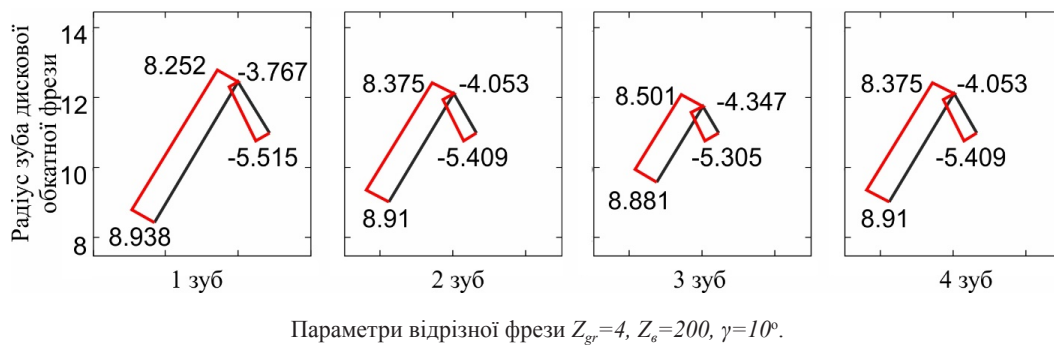


Рис. 3. Епюри зміни кінематичного заднього кута α_n обкатної фрези в нормальному до різальної кромки перерізі (при $\alpha_e = 10^\circ$)

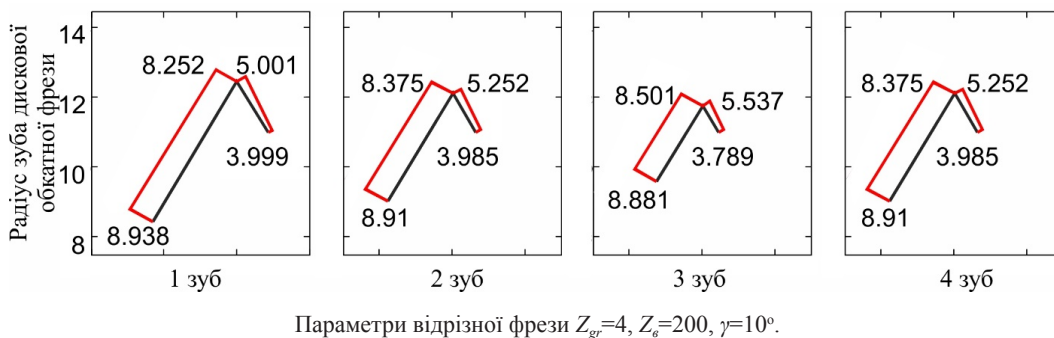
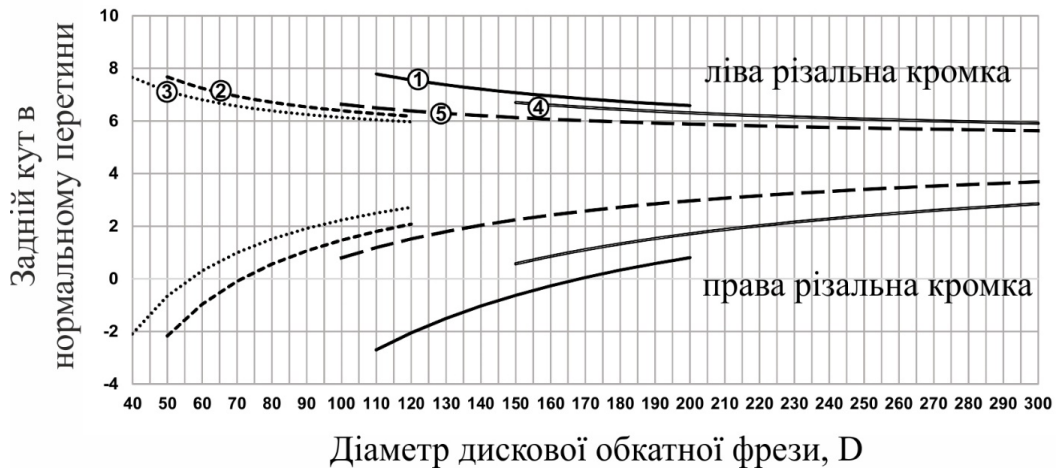


Рис. 4. Епюри зміни кінематичного заднього кута α_n обкатної фрези в нормальному до різальної кромки перерізі при $\alpha_{np} = 15^\circ$, $\alpha_{nliv} = 5^\circ$



- 1 – відрізна фреза с $Z=48$, мінімальний діаметр обкатної фрези $D=104.866$ мм.;
- 2 – відрізна фреза с $Z=120$, мінімальний діаметр обкатної фрези $D= 41.587$ мм.;
- 3 – відрізна фреза с $Z=192$, мінімальний діаметр обкатної фрези $D= 25.934$ мм.;
- 4 – відрізна фреза с $Z=120$, мінімальний діаметр обкатної фрези $D= 145.972$ мм.;
- 5 – відрізна фреза с $Z=192$, мінімальний діаметр обкатної фрези $D= 91.073$ мм.

Рис. 5. Епюри зміни кінематичного заднього кута α_n залежно від обраного діаметра дискової обкатної фрези (мінімальний розрахунковий діаметр $D=50$ мм, $Z_{gr}=4$, $D=215$ мм, $Z=96$)

уздовж різальної кромки в процесі роботи вибраний найбільш критичний момент, коли буде оброблення відрізної фрези з переднім кутом α_n уздовж різальної кромки в процесі роботи вибраний найбільш критичний момент, коли буде оброблення відрізної фрези з переднім кутом $\gamma=10^\circ$, кількістю зубів у групі $Z_{gr}=4$ та кількістю зубів $Z_b=200$.

Зміни заднього кута вздовж різальної кромки в найбільш критичному випадку показано на рис. 3.

Дослідженнями зміни задніх кутів встановлено, що під час оброблення відрізної фрези зубів у групі $Z_{gr}=4$ не можна приймати задній кут згідно з рекомендованими значеннями. Розрахунками встановлено, що при виготовленні дискової обкатної фрези задній кут у нормальному перетині на правій різальній кромці повинен бути $\alpha_{np} = 15^\circ$, а на лівій – $\alpha_{Nlie} = 5^\circ$.

Зміни заднього кута при зазначених $\alpha_{Nnp} = 15^\circ$ показані на рис. 4.

На рис. 5 показано вплив на задній кінематичний кут обраного діаметра дискової обкатної фрези.

Аналіз змін кінематичних задніх кутів показав, що зі збільшенням діаметра дискової обкатної фрези геометрія задньої поверхні стає більш сприятливою на обох ріжучих кромках.

Висновки. У результаті дослідження геометрії задньої поверхні дискових обкатних фрез із нерів-

номірним кроком в групі показано, що нормальний кут у нормальному перерізі вздовж різальної кромки залежить від кількості зубів виробу, який нарізають, кількості зубів у групі, переднього кута відрізної фрези та діаметра обкатної фрези.

Установлено, що різальна кромка обкатної фрези, яка формує передню поверхню, має в процесі різання найбільш несприятливу геометрію. Для відрізних фрез з $Z_{gr}=4$ вони набувають від’ємних значень.

Значення позитивних кутів може бути забезпечено заточкою правої (яка формує передню поверхню відрізної фрези) та лівої (яка формує задню поверхню) різальних кромки під різними нормальними кутами (для правої – $\alpha_{Nnp} = 15^\circ$, для лівої – $\alpha_{Nlie} = 5^\circ$).

Також позитивні задні кути дискової обкатної фрези можуть бути забезпечені збільшенням діаметра фрези.

У результаті досліджень встановлено, що збільшення кількості зубів у групі сприятливо позначається на кінематичних задніх кутах дискової обкатної фрези та вони набувають позитивних значень. Усе це дає можливість призначити оптимальні задні кути у процесі виготовлення дискових обкатних фрез із нерівномірним кроком та різною кількістю зубів.

Список літератури:

1. Обточувальна фреза для нарізування дискових пил з нерівномірним кроком зубів: пат. 106173 Україна: МПК: В23F 5/00. №201507365; заявл. 22.07.15; опублік. 25.04.16, Бюл. № 8. 4 с/
2. Лорох Р.О. Повышение работоспособности дисковых пил при отрезке круглых заготовок: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01. Киев, 1998. 180 с.
3. Одинцова А.С. Фасонные фрезы для обработки храповых колес методом обкатки: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01. Киев, 1989. 208 с.
4. ДСТУ 2249-93. Оброблення різанням. Терміни, визначення та позначення. Чинний від 01.01.1995. Київ: Держстандарт України, 1994. 55 с.
5. Равська Н.С., Ковальова Л.І., Охріменко О.А., Вовк В.В. Звіт про науково-дослідну роботу «Узагальнена теорія визначення геометричних параметрів різального інструменту». Київ: НТУУ КПІ, 2008. 208с.
6. Родин П.Р. Основы теории проектирования режущих инструментов. Киев, 1960. 160с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕТРИИ ЗАДНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ ДИСКОВОЙ ОБКАТОЧНОЙ ФРЕЗЫ С НЕРАВНОМЕРНЫМ ШАГОМ

В статье исследуется геометрия задней поверхности дисковой обкаточной фрезы в процессе ее работы при нарезке зубов дисковых отрезных фрез с неравномерным шагом и прямолинейным профилем. С целью оценки работоспособности режущего инструмента были определены изменения задних углов вдоль режущих кромок в процессе обработки. Исследовано изменение задних углов в зависимости от числа зубов, числа зубьев в группе обрабатываемого изделия и диаметра обкаточной фрезы с неравномерным шагом вдоль режущей кромки по каждому ее зубу. Было произведено сравнение их величины с рекомендуемыми в литературных источниках. Согласно этим рекомендациям, проанализированы возможные пути совершенствования инструмента.

Ключевые слова: дисковые обкаточные фрезы, неравномерный шаг, кинематические геометрические параметры, задние углы, задняя поверхность.

THE RESEARCHING OF THE GEOMETRY OF THE REAR SURFACE OF THE SHAPED MILLING CUTTER WITH THE IRREGULAR STEP

The geometry of the back surface of a disk milling cutter is studied in the course of its work when it cutting the teeth of disc cutting mills with irregular pitch and a straight profile. In order to assess the operability of the cutting tool, changes in the rear angles along the cutting edges during processing were determined. The change in the rear corners was studied depending on the number of teeth, the number of teeth in the group of the work piece and the diameter of the milling cutter with an irregular pitch along the cutting edge for each of its teeth. Their values were compared with those recommended with the literature. According to these recommendations, possible ways of improving the tool are analyzed.

Key words: disk milling cutters, irregular pitch, kinematic geometric parameters, rear corners, rear surface.

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 621.873 +62-932.4

Держинська О.В.

Донбаська державна машинобудівна академія

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ВЗАЄМОДІЇ ОПОРНОЇ ПОВЕРХНІ КРОКУЮЧОГО РУШІЯ З ҐРУНТОМ

У статті наводиться опис методики проведення експериментальних досліджень процесу взаємодії опорної поверхні лиж крокуючого рушія з ґрунтом під час застосування різних опорних елементів. Проведена серія експериментів з установкою різних за формою і висотою опорних елементів. Можна зробити висновок, що застосування опорних елементів «шевронною» форми найбільш ефективні для роботи на крокуючих рушіях.

Ключові слова: методика експерименту, опорна поверхня, опорні елементи.

Постановка проблеми. Експериментальні дослідження роботи механізму пересування крокуючих кранів представляє досить важливу задачу. Дані експериментальних досліджень вкрай необхідні для встановлення дійсних параметрів, що характеризують роботу механізму крокування в різних умовах, і з'ясування причин незадовільного крокування кранів на пісках і розпушених ґрунтах.

Саме для цього потрібне проведення натурних експериментів на стенді з моделлю лижі крокуючого рушія [1–3].

Мета експериментальних досліджень. Метою роботи є оцінка ефективності запропонованої конструкції опорних елементів лиж крокуючого рушія.

Постановка завдання. Завданням експериментального дослідження є проведення порівняльного аналізу прохідності крокуючого рушія з різними опорними елементами лиж, у різних ґрунтових умовах за параметрами існуючих конструкцій і запропонованої конструкції опорних елементів лиж крокуючого рушія.

Виклад основного матеріалу. Дослідження процесу взаємодії опорної поверхні лиж крокую-

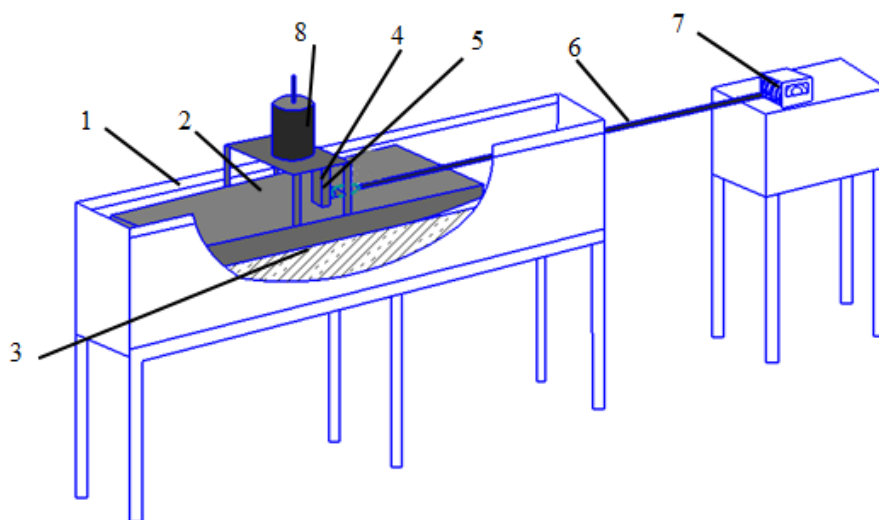


Рис. 1. Принципова схема експериментального стенду для дослідження процесу взаємодії опорної поверхні лижі крокуючого рушія з ґрунтом

чого крана з ґрунтом проводилися шляхом занурення лижі в ґрунтовий канал і її зсуву. Даний метод володіє економічною ефективністю в порівнянні з проведенням експерименту на готовому виробі.

Конструкція фізичної моделі лижі з опорними елементами дозволяє проводити експериментальні дослідження в умовах, що моделюють процес переміщення крокуючого рушія по різноманітному ґрунту кар'єра.

Для проведення дослідження був виготовлений лабораторний стенд (рис. 1), що складається з ґрунтового каналу 1, на ґрунт встановлюється лижа 2, до неї кріпляться опорні елементи 3.

До лижі за допомогою болтових з'єднань 4 кріпиться датчик вимірювання сили 5. За допомогою канату 6 до лижі через лебідку 7 передається зусилля, яка створює імітацію навантаження від механізму крокування через сферу ноги на лижу. Під час обертання барабана канат лебідки передає зусилля, яке наростаючі досягає перевищення сили зчеплення, що приводить в рух лижу. Зчитуються показання з датчика 5, який за допомогою аналого-цифрового перетворювача виводить результат на екран ноутбука. Таким чином, відбувається вимірювання сили, яка дорівнює силі тертя. Нормальна сила створюється за допомогою вантажів 8.

Лижа крокуючого екскаватору виконана в масштабі 1:10 із металу. Конструкція лижі була виконана таким чином, що на ній можна встановлювати під час проведення експерименту опорні елементи різної форми та різної висоти (рис. 2), а також змінювати напрямок розташування опорних елементів.

ґрунтовий канал виготовлений у вигляді дерев'яного короба завдовжки 3 м та шириною 0,3 м.

Експериментальні дослідження проводились з використанням в ґрунтовому каналі різних типів ґрунту: суглинок; пісок та скальна поверхня (бетон).



Рис. 2. Опорні елементи лижі

1 – ровний опорний елемент висотою $h=8$ мм,
2 – ровний опорний елемент висотою $h=12$ мм, 3 – ровний опорний елемент висотою $h=16$ мм, 4 – опорний елемент «шевронної» форми висотою $h=8$ мм, 5 – опорний елемент «шевронної» форми висотою $h=12$ мм, 6 – опорний елемент «шевронної» форми висотою $h=16$ мм

Навантаження лижі здійснювалось за допомогою вантажу розташованого у місці з'єднання лижі з ногою крокуючого рушія.

Запропонована конструкція опорних елементів лижі крокуючого рушія дозволить підвищити ефективності роботи механізму крокування шляхом збільшення лінії контакту опорних елементів лижи крокуючого екскаватора з ґрунтом, за рахунок збільшення площі деформації ґрунту опорних елементів лижи и сили опору ґрунту.

Для проведення експериментального дослідження в ґрунтовий канал засипався необхідний для проведення дослідження ґрунт. Для отримання достовірних даних перед кожним дослідом здійснювалось розпушування ґрунту та вирівнювання по довжині і ширині.

На підготовлену поверхню встановлювалася лижа. За допомогою вантажу здійснювалось навантаження лижі.

За допомогою талі створювалось необхідне тягове зусилля, щоб переміщати лижу по ґрунту.

Для вимірювання тягового зусилля був встановлений датчик зусилля в місці з'єднання лижі з ногою крокуючого рушія (рис. 3).

Під час руху лижі здійснюється реєстрація значення тягового зусилля.

Для виміру зусилля використовуємо електронну вимірювальну інформаційну систему, за допомогою якої перетворюємо електричний сигнал у графічне зображення (осцилограму). Схематичне зображення вимірювально-інформаційної системи зображена на рисунку 4.

Реєстрація зусилля здійснювалася за допомогою тензодатчика, підключеного за мостовою схемою до АЦП НХ711, який служить для посилення сигналу датчика.



Рис. 3. Тензодатчик зусилля

Найбільша похибка запису сигналу становить менш як 0,9% при пульсації сигналу 40 мВ. Аналогова напруга перетворюється аналого-цифровим перетворювачем у цифровий сигнал, який обробляється мікроконтролером ATmega328. Платформа має 14 цифрових виходів, 6 аналогових входів, кварцовий генератор 16 МГц. Для відтворення даних у програмному середовищі мікропроцесор через роз'єм USB за допомогою кабелю USB підключається до ноутбуку.

У результаті проведених експериментів з опорними елементами лижі отримуються графіки, що оброблюються в комп'ютерній програмі «Serial Port Plotter». У програмі одержуються значення зусиль у тяговому канаті.

Для точності вимірювань проводиться тарування. Тарування дозволяє встановити чутливість тензодатчика до вимірюваної величини, перевірити роботу системи у всьому діапазоні зміни вхідної величини. Тарування проводилася на початку експерименту. Для проведення тарування була створена програма (рис. 5), яка автоматично обчислює тарувальний коефіцієнт із відомої нам сили.

Для отримання достовірних результатів експериментальних досліджень

необхідно знати ту кількість вимірювань, при якому можна бути впевненим у позитивному результаті. У зв'язку із цим одним із завдань є встановлення мінімального, але достатнього числа вимірів для даних умов.

Користуючись методикою В.І. Романовського, необхідна кількість дослідів визначається за такою формулою [4]:

$$n = \left(\frac{t_\alpha \sigma}{\varepsilon} \right)^2, \quad (1)$$

де t_α – значення критерію Стьюдента; ε – точність вимірювань; σ – середньоквадратичне відхилення вимірюваної величини.

Під час дослідження опорної поверхні лижі крокуючого механізму необхідне число вимірювань з урахуванням прийнятого значення критерію

```

iomoio_hx711_calibration | Arduino 1.8.4
Файл Правка Скетч Інструменти Помо

#include "HX711.h"

HX711 scale(A1, A0);
float myScale;
float myRatio;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  scale.set_scale();
  scale.tare();
  Serial.println("Ready");
  delay(5000);
  myScale = scale.get_units(10);
  myRatio = myScale/970;
  Serial.print("set_scale: ");
  Serial.println(myRatio);
}

void loop() {
}
    
```

Рис. 5. Код програми для тарування тензодатчика

рю Стьюдента $t_\alpha=0,131$ дорівнює 8 вимірюванням.

Під час опису залежності в роботі використовувався повний факторний експерименту. У зв'язку із цим коефіцієнт зчеплення опорної поверхні лижі з ґрунтом можна уявити як функцію від цих параметрів:

$$F = (P_l, E_{zc}, h_{oe}), \quad (2)$$

де P_l – тиск лижі на ґрунт, T_{zc} – сила зсуву лижі по ґрунту, h_{oe} – висота опорного елемента лижі крокуючого рушія на ґрунт.



Рис. 4. Інформаційно-вимірювальна схема

Таблиця 1

Рівні та інтервали варіювання факторів для ґрунту «супісь»

Рівень фактору	Тиск лижі на ґрунт, P_n , к Па	Сила зсуву лижі по ґрунту, $T_{зе}$, кН	Висота опорного елементу h_{oe} , м
Основний	ф	0,82	0,12
Нижній	0,3	0,6	0,08
Верхній	0,74	1,04	0,016
Інтервал варіювання	0,22	0,22	0,04

Таблиця 2

Повний план факторного експерименту

Номер досвіду	Фактори			Відгук
	x_1	x_2	x_3	y
1	+1	-1	-1	y_1
2	+1	-1	-1	y_2
3	+1	-1	0	y_3
4	+1	0	+1	y_4
5	0	0	-1	y_5
6	0	0	-1	y_6
7	-1	+1	0	y_7
8	-1	+1	+1	y_8

Для проведення експерименту було прийнято факторний план типу 2^3 .

Оскільки аналітичний вираз функції відгуку невідомий на підставі апріорних відомостей дослідження, почнемо з подання її у вигляді полінома першого ступеня [5]:

$$F = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^k b_{ij} x_i x_j + \sum_{\substack{i,j,\dots,n=1 \\ i \neq j \neq \dots \neq n}}^k b_{ijn} x_i x_j \dots x_n, \quad (3)$$

де x_i, x_j, x_n – незалежні змінні (фактори); $b_0, b_i, b_{ij}, b_{ijn}$ – коефіцієнт регресії.

Рівні та інтервали варіювання для «супісі» представлені в таблиці 1.

Всі можливі комбінації для трьох факторів будуть вичерпані, якщо ми поставимо по вісім дослідів для кожного ґрунту (таб. 2)

Користуючись результатами експерименту, можна визначити вибіркові коефіцієнти регресії, які є оцінками для теоретичних коефіцієнтів регресії. Відзначимо, що поліноміальне рівняння (3) охоплює «майже стаціонарну область» поверхні відгуку.

Користуючись таким плануванням, можна обчислити коефіцієнти регресії квадратного рівняння за формулою [6]:

$$S_{bj} = \frac{S_{воспр}}{\sqrt{N}}. \quad (4)$$

Основним значенням, на підставі якого надалі розраховуються всі інші характеристики вибірки, є середнє арифметичне і дисперсія. У вибірках малих обсягів ($N=8$) ці характеристики визначаються прямим розрахунком за формулами [7–9]:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (5)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2. \quad (6)$$

Для оцінки величини випадкової помилки виміру існує декілька способів. Найбільш поширена оцінка за допомогою середньоквадратичного відхилення.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (7)$$

Середньоквадратична помилка дорівнює [9]:

$$S_n = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (8)$$

Величина абсолютної похибки визначається з виразу [9]:

$$\varepsilon = t_T \cdot S_n, \quad (9)$$

де t_T – значення критерію Стьюдента [9].

Відносна помилка не повинна перевищувати 5%, тому проведемо перевірку справедливості умови:

$$\Delta \geq \frac{\varepsilon}{\bar{x}} \cdot 100\%. \quad (10)$$

Висновки. У даній статті наведена методика проведення експериментального дослідження процесу взаємодії опорної поверхні з ґрунтом під час застосування різних опорних елементів. Після підстановки натуральних значень факторів отримуюмо математичну модель процесу взаємодії опорної поверхні лиж крокуючого рушія з ґрунтом. Дана модель апроксимує залежність параметра оптимізації від обраних факторів.

Список літератури:

1. Дзержинська О.В., Крупко І.В., Котляр О.В. Вплив форми опорної поверхні лижи на переміщення крокуючого екскаватора. Збірник наукових трудів «Вісник НТУ «ХПІ». Технології в машинобудівництві. 2017. Вип. 26(1248). С. 81-85.
2. Дзержинська О.В. Дослідження техніко-економічного питання використання крокуючого кривошипно-важильного механізму на драглайні. Сучасні аспекти механізації та автоматизації енергоємних виробництв: збірник наукових праць всеукраїн. научн.-прак. конф. (Покровськ, 11-12 квітня 2017 р.). Покровськ: ДВНЗ «ДНТУ», 2017. С. 32.
3. Дзержинська О.В. Математична модель процесу взаємодії крокуючого крану з ґрунтом. Вісник хмельницького національного університету: Технічні науки. 2018. Вип. 1(257). С. 237.
4. Jaroslaw A. Dynamics of Wheel–Soil Systems: A Soil Stress and Deformation-Based Approach. Journal of Field robotics. 2001. № 18. P. 657–670.
5. Кононюк А.Е. Основы научных исследований (общая теория эксперимента). Київ, 2011. 508 с.
6. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. Москва, 1976. 280 с.
7. Antony J. Design of Experiments for Engineers and Scientists. Elsevier, 2014. 155 p.
8. Box G.E.P., Draper N.R. Response Surfaces, Mixtures, and Ridge Analyses. Wiley, 2007. 857 p.
9. Аугамбаев М., Иванов А.З., Терехов Ю.И. Основы планирования научно-исследовательского эксперимента. Ташкент, 2004. 336 с.

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ШАГАЮЩЕГО ДВИЖИТЕЛЯ С ГРУНТОМ

В статье приводится описание методики проведения экспериментальных исследований процесса взаимодействия опорной поверхности лыж шагающего движителя с грунтом при применении разных опорных элементов. Проведена серия экспериментов с установкой разных по форме и высоте опорных элементов. Можно сделать вывод, что применение опорных элементов «шевронной» формы наиболее эффективно для работы на шагающих движителях.

Ключевые слова: методика эксперимента, опорная поверхность, опорные элементы.

METHODOLOGY EXPERIMENTAL RESEARCHES OF PROCESSES OF COOPERATION OF SUPPORTING SURFACE A STEPPING MOVER OVER WITH SOIL

In the article the description of the methodology of conducting of experimental researches of the process of interaction of the supporting surface of the skis of the stepping mover with the ground with the application of various supporting elements is given. The series of experiments with the installation setting different in a due form and to the height of supporting elements. Based on which we can conclude that the application of supporting elements «chevron» forms are most effective for work on stepping mover.

Key words: methodology of experiment, supporting surface, supporting elements.

АВІАЦІЙНА ТА РАКЕТНО-КОСМІЧНА ТЕХНІКА

УДК 629.735

Шмельов Ю.М.

Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету

Владов С.І.

Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету

Клімова Я.Р.

Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету

МОДЕЛЮВАННЯ ГАЗОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ, ЩО ПРОТІКАЮТЬ У ДВИГУНІ ВЕРТОЛЬОТУ МІ-8МТВ

У роботі проведено чисельне моделювання газодинамічних процесів, що протікають у турбовальному двигуні вертольота Мі-8МТВ. Застосовано чисельні рішення рівняння Нав'є-Стокса, що описують турбулентні газодинамічні потоки у перетині порожнини двигуна. Отримано просторово-часовий розподіл складових частин швидкості потоку в перетинах двигуна та часовий розподіл кінетичної енергії. Отримані показники є інформативними критеріями діагностування стану авіаційного двигуна. Підтверджено раніше отримані докази виникнення звуку при дозвуковому обтіканні різних заглиблень на лопатях і у фюзеляжі вертольота.

Ключові слова: авіаційний двигун, газодинамічний потік, рівняння Нав'є-Стокса, турбулентний потік, інформаційний критерій діагностування.

Постановка проблеми. Надійність роботи авіаційного турбовального двигуна ТВ3-117, який установлений на вертольоті Мі-8МТВ, є одним з основних його параметрів, так як визначає безпеку польоту вертольота [1].

Розроблення методів побудови оптимальних алгоритмів діагностування технічного стану авіаційного турбовального двигуна, що вимагають мінімальних витрат на їх реалізацію, диктується необхідністю збільшення продуктивності праці на окремих операціях діагностування, скорочення часу виявлення несправностей у процесі застосування двигуна за призначенням для підвищення безпеки польоту вертольота, скорочення часу пошуку й усунення несправностей.

Однією з проблем, що стоїть при розробленні систем діагностування, є отримання достовірної інформації про технічний стан досліджуваного об'єкта. Якщо раніше вважалося, що збір інформації про технічний стан авіаційного двигуна повинен проводитися у наземних умовах при його

роботі за спеціальними програмами, то сьогодні основна увага приділяється збиранню діагностичної інформації безпосередньо в польоті, тобто у процесі застосування двигуна за призначенням.

Наявність достовірних статистичних даних значно розширює можливості ефективної організації процесів діагностування. Збирання таких даних можливе тільки шляхом застосування вбудованих апаратних засобів діагностування, які забезпечують високу точність вимірювань і автоматичний їх запис. Тільки при цьому гарантується достовірність результатів діагностування, яка зводить до мінімуму вплив суб'єктивних факторів і спрощує статистичне оброблення результатів.

Одним із джерел отримання таких даних є результати моделювання фізичних процесів, що відбуваються усередині досліджуваного об'єкта. За результатами моделювання відбувається статистичне оброблення даних, визначаються статистичні показники, за якими проводиться висновок щодо поточного стану досліджуваного

об'єкта. Таким чином, математичне моделювання процесів, що відбуваються у двигуні вертольота Мі-8МТВ, є актуальним науково-практичним завданням, розв'язок якого дозволить отримати значення фізичних величин, які є діагностично-важливими показниками для контролю і прогнозування стану двигуна.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика діагностування технічного стану авіаційних двигунів широко розкрита у роботах проф. Дмитрієва С.О. [2–4], у яких описано методи оптимізації технічного обслуговування авіаційної техніки, зокрема авіаційних двигунів, за допомогою інформаційно-керуючих систем. Також значний внесок у розвиток методів діагностування за інформаційними критеріями вніс проф. О.Ф. Машошин [5–7], який у своїх роботах застосував різні методики визначення несправностей авіаційної техніки, зокрема авіаційних двигунів, за інформаційними критеріями. Таким чином, результати моделювання процесів, що протікають в авіаційному двигуні, поряд із розробленими методами діагностування авіаційної техніки, дозволять розробити інформаційно-керуючу систему, головним завданням якої буде знаходження відхилень у роботі авіаційного двигуна вертольота Мі-8МТВ у реальному часі, своєчасне виявлення яких значно підвищить якість його експлуатації та безпеку польоту літального апарату.

Постановка завдання. Метою роботи є моделювання газодинамічних процесів, що протікають у двигуні вертольота Мі-8МТВ, за результатами яких можливим є розроблення інформаційно-керуючої системи діагностування та прогнозування стану авіаційного двигуна вертольота Мі-8МТВ.

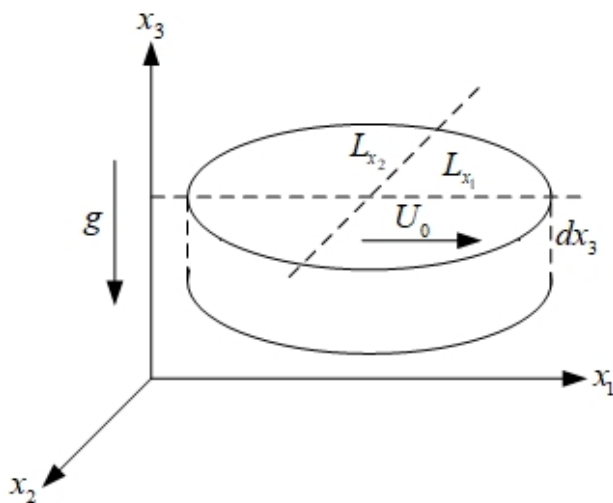


Рис. 1. Геометрія руху газодинамічного потоку

Виклад основного матеріалу. Передбачається, що в процесі роботи двигуна вертольота Мі-8МТВ виконуються фундаментальні закони збереження енергії, маси, імпульсу тощо. Тоді рівняння Нав'є-Стокса, що описує рух стискаючого теплопровідного газу, буде мати такий вигляд [8]:

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} = \frac{\partial \mathbf{F}_1}{\partial x_1} + \frac{\partial \mathbf{F}_2}{\partial x_2} + \frac{\partial \mathbf{F}_3}{\partial x_3} = 0, \quad (1)$$

де $\mathbf{F}_j = \mathbf{F}_j(\mathbf{U}, U_{x_1}, U_{x_2}, U_{x_3})$

$$\mathbf{U} = \begin{pmatrix} \rho \\ \rho u_{x_1} \\ \rho u_{x_2} \\ \rho u_{x_3} \\ E \end{pmatrix}; \quad \mathbf{F}_1 = \begin{pmatrix} \rho u_{x_1} \\ \rho u_{x_1}^2 + p - \Pi_{x_1 x_1} \\ \rho u_{x_1} u_{x_2} - \Pi_{x_1 x_2} \\ \rho u_{x_1} u_{x_3} - \Pi_{x_1 x_3} \\ (E + p)u_{x_1} - q_{x_1} \end{pmatrix};$$

$$\mathbf{F}_2 = \begin{pmatrix} \rho u_{x_2} \\ \rho u_{x_1} u_{x_2} - \Pi_{x_1 x_2} \\ \rho u_{x_2}^2 + p - \Pi_{x_2 x_2} \\ \rho u_{x_2} u_{x_3} - \Pi_{x_2 x_3} \\ (E + p)u_{x_2} - q_{x_2} \end{pmatrix}; \quad \mathbf{F}_3 = \begin{pmatrix} \rho u_{x_3} \\ \rho u_{x_1} u_{x_3} - \Pi_{x_1 x_3} \\ \rho u_{x_2} u_{x_3} - \Pi_{x_2 x_3} \\ \rho u_{x_3}^2 + p - \Pi_{x_3 x_3} \\ (E + p)u_{x_3} - q_{x_3} \end{pmatrix};$$

де ρ – густина; $\mathbf{u} = (u_{x_1}, u_{x_2}, u_{x_3})$ – вектор швидкості; p – тиск; $E = \rho \varepsilon + \rho \frac{\mathbf{u}^2}{2}$ – повна енергія одиниці об'єму; ε – внутрішня енергія одиниці маси.

Система (1) виражає закон збереження маси (перше рівняння системи), імпульсу (2–4 рівняння) і енергії (останнє рівняння системи). В узагальненому вигляді рівняння Нав'є-Стокса не має кінцевого розв'язку. Сьогодні існуючі розв'язки рівняння Нав'є-Стокса можливо лише отримати за певними початковими і граничними умовами, які конкретизують його застосування при описі того чи іншого динамічного процесу.

Для моделювання двовимірного нестационарного руху газодинамічного потоку рівняння Нав'є-Стокса представляється у декартових координатах для двовимірного випадку у вигляді [9]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial j_{mx_1}}{\partial x_1} + \frac{\partial j_{mx_2}}{\partial x_2} = 0; \quad (2)$$

$$\frac{\partial(\rho u_{x_1})}{\partial t} + \frac{\partial(j_{mx_1} u_{x_1})}{\partial x_1} + \frac{\partial(j_{mx_2} u_{x_1})}{\partial x_2} + \frac{\partial p}{\partial x_1} = \frac{\partial \Pi_{x_1 x_1}}{\partial x_1} + \frac{\partial \Pi_{x_2 x_1}}{\partial x_2}; \quad (3)$$

$$\frac{\partial(\rho u_{x_2})}{\partial t} + \frac{\partial(j_{mx_1} u_{x_2})}{\partial x_1} + \frac{\partial(j_{mx_2} u_{x_2})}{\partial x_2} + \frac{\partial p}{\partial x_2} = \frac{\partial \Pi_{x_1 x_2}}{\partial x_1} + \frac{\partial \Pi_{x_2 x_2}}{\partial x_2}; \quad (4)$$

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\partial(j_{mx_1} H)}{\partial x_1} + \frac{\partial(j_{mx_2} H)}{\partial x_2} + \frac{\partial q_{x_1}}{\partial x_1} + \frac{\partial q_{x_2}}{\partial x_2} =$$

$$= \frac{\partial}{\partial x_1} (\Pi_{x_1 x_1} u_{x_1} + \Pi_{x_1 x_2} u_{x_2}) + \frac{\partial}{\partial x_2} (\Pi_{x_2 x_1} u_{x_1} + \Pi_{x_2 x_2} u_{x_2}); \quad (5)$$

причому система декартових координат визначена таким чином, щоб вісь x_3 була спрямована проти напрямку вектора прискорення вільного падіння (рис. 1), а рельєф поверхні описується рівнянням $x_3 = r(x_1; x_2)$ [10].

Оскільки відомо, що в газодинамічному потоці має місце явище турбулентності, то застосуємо систему рівнянь Нав'є-Стокса у формі [10]:

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} + (\mathbf{v}\nabla)u = \nu\nabla^2 u + \frac{1}{\rho_0} \nabla_{x_1}(\mu_T(\nabla\mathbf{v})); \\ \frac{\partial w}{\partial t} + (\mathbf{v}\nabla)w = \nu\nabla^2 w + \frac{1}{\rho_0} \nabla_{x_2}(\mu_T(\nabla\mathbf{v})); \end{cases} \quad (6)$$

у якій покладається, що всі функції залежать від часу і двох координат $u = u(t, x_1, x_2)$, $w = w(t, x_1, x_2)$, $v = v(u, 0, w)$. Початкові та межові умови задачі про рух газодинамічного потоку в циліндровій порожнині $0 \leq x_1 \leq L_{x_1}$, $0 \leq x_2 \leq L_{x_2}$ при заданій швидкості зовнішнього потоку $\mathbf{v}_0(t, x_1)$ на верхній межі порожнини представляються у вигляді:

$$\begin{cases} u(0, x_1, x_2) = 0; w(0, x_1, x_2) = 0; 0 \leq x_1 \leq L_{x_1}; 0 \leq x_2 \leq L_{x_2}; \\ u(t, 0, x_2) = u(t, L_{x_1}, x_2) = 0; w(t, 0, x_2) = w(t, L_{x_1}, x_2) = 0; \\ u(t, x_1, 0) = 0; w(t, x_1, 0) = 0; \\ u(t, x_1, L_{x_2}) = u_0(t, x_1); w(t, x_1, L_{x_2}) = w_0(t, x_1). \end{cases} \quad (7)$$

Для розрахунків використано такі функції, що описують рух газодинамічного потоку у двовимірній порожнині:

$$\begin{cases} u_0 = U_0(1 - e^{-t}) \tanh(kx) \tanh(k(L_{x_1} - x)); \\ w_0 = 0. \end{cases} \quad (8)$$

Така форма профілю вибирається з міркувань узгодження початкових і граничних умов (7).

Число Рейнольдса завдання (6) – (8) визначається за формулою $Re = \frac{L_{x_1} U_0}{\nu}$. У численних розрахунках вважалось, що $U_0 = 1$, $k = 100$, хоча форма профілю практично не впливає на рух у порожнині вже при $k \approx 10$ [10].

Таким чином, параметрами завдання є розміри порожнини і дві в'язкості, що фігурують у моделі (6). Для опису еволюції руху газодинамічного потоку в порожнині використовується інтеграл енергії [10]:

$$E_k(t) = \frac{1}{2} \int_0^{L_{x_1}} \int_0^{L_{x_2}} (u^2 + w^2) dx_1 dx_2. \quad (9)$$

Тиск у цій моделі визначається за формулою [10]:

$$P = P_0 - \mu_T \nabla \mathbf{v}; \quad (10)$$

де $\mu_T = \frac{\rho c_s^2}{\alpha \omega_0}$ – параметр, що характеризує в'язкість у турбулентному потоці; α , ω_0 , P_0 – деякі

параметри, які можуть бути визначені для потоку в цілому, які визначаються з узагальненого критерію регуляризації потоку $\frac{dP}{dt} = \alpha \omega_0 (P - P_0)$; c_s – швидкість звуку [10].

На рис. 2 представлено результати моделювання газодинамічного потоку у круговій порож-

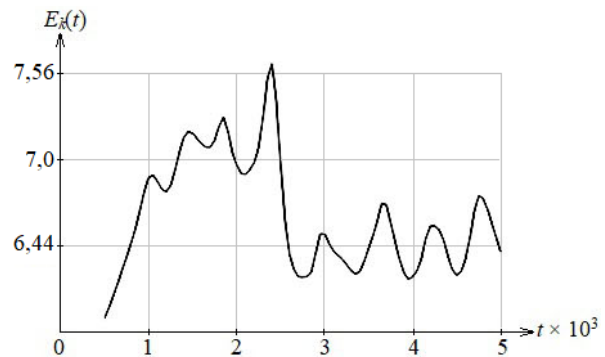
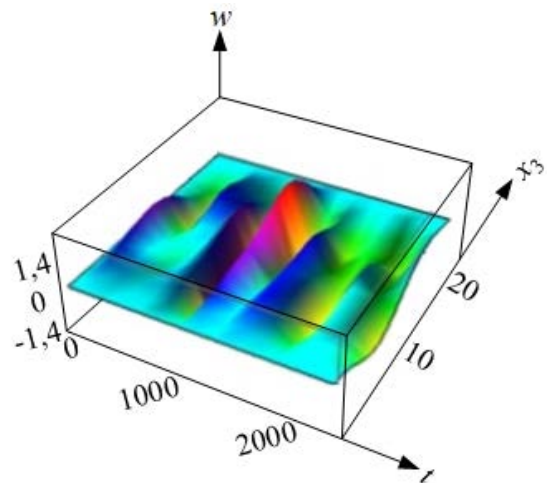
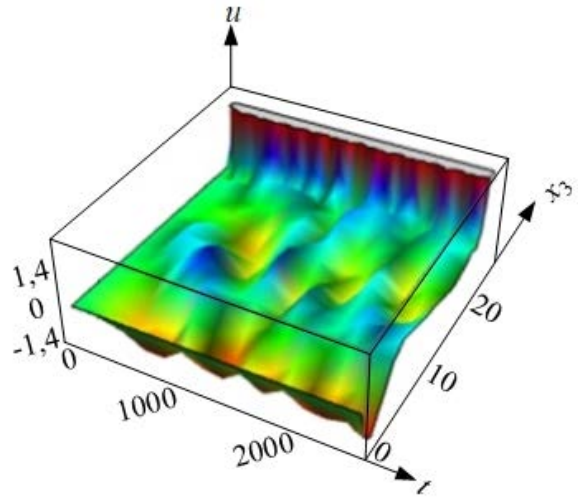


Рис. 2. Турбулентний газодинамічний потік у круговій порожнині: просторово-часовий розподіл складових швидкостей потоку у перетині $x_1 = \frac{L_{x_1}}{2}$ і залежність кінетичної енергії потоку від часу

нині з числом Рейнольдса $Re = 9,5 \cdot 10^6$ й з параметрами в'язкості $\nu = 3,12 \cdot 10^6$ та $\frac{\mu_T}{\mu} = 3,3 \cdot 10^4$. Ці показники відповідають перебуванню вертольота на висоті 4000 м. Із наведених даних випливає, що у разі прискорення зовнішнього потоку у порожнині формується нестационарний вихро-

вий потік, який характеризується незгасаючим згодом інтегралом енергії.

Для побудови наведених графіків (рис. 2) використовувались такі параметри моделі $L_{x_1} = 20, L_{x_2} = 20, U_0 = 1, k = 100, \nu = 3,12 \cdot 10^6, \frac{\mu_T}{\mu} = 3,3 \cdot 10^4$.

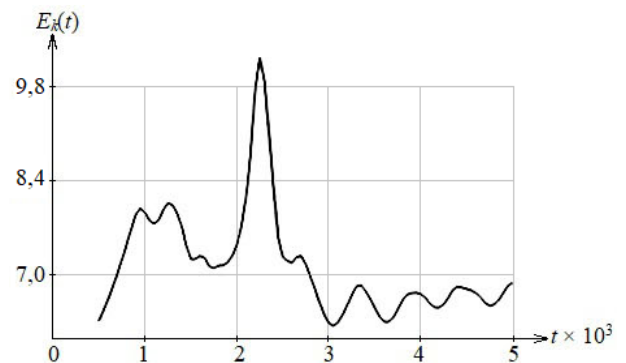
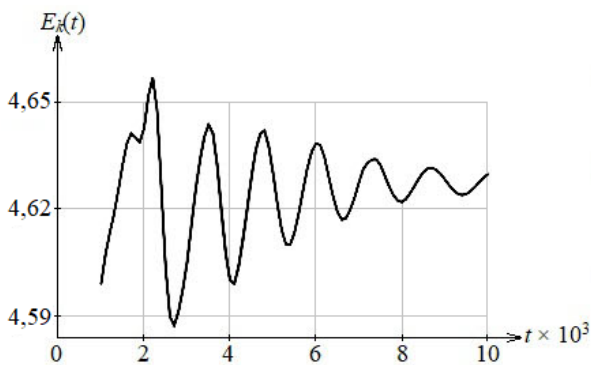
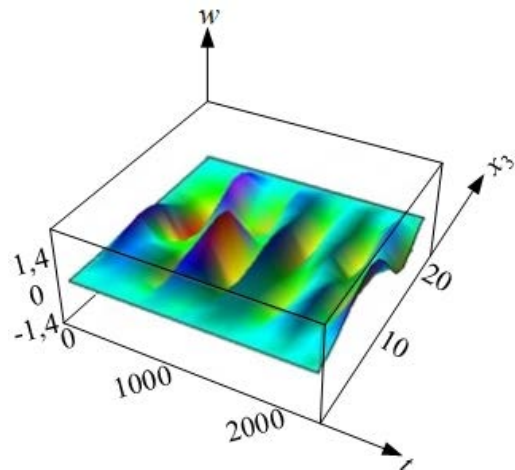
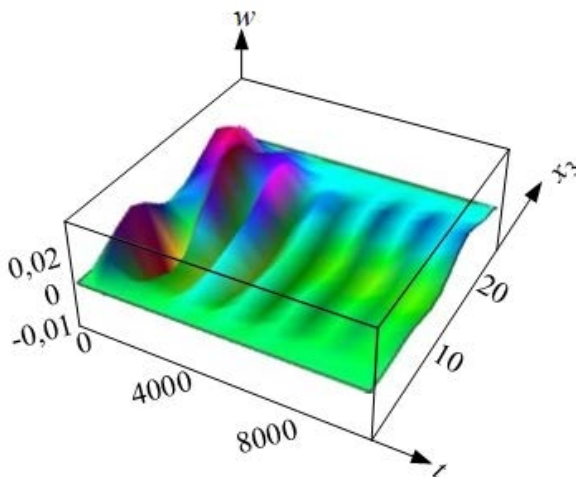
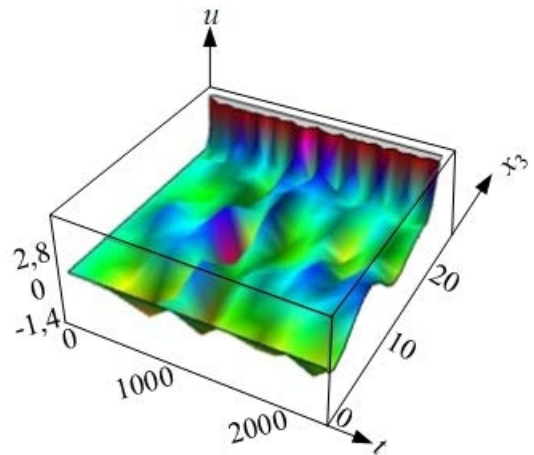
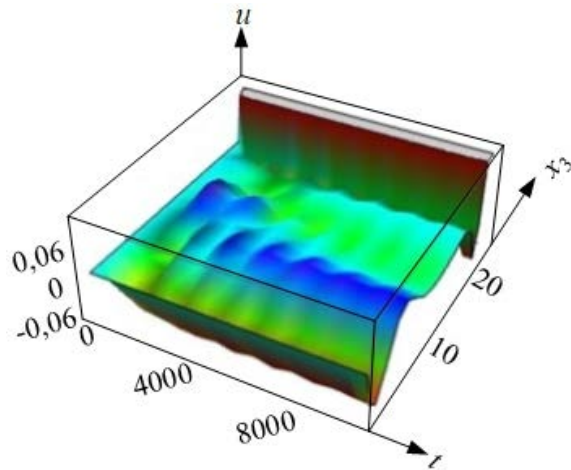


Рис. 3. Згасання коливань параметрів турбулентного газодинамічного потоку у круговій порожнині: просторово-часовий розподіл складових швидкості потоку у перетині $x_1 = \frac{L_{x_1}}{2}$ і залежність кінетичної енергії потоку від часу

Рис. 4. Турбулентний газодинамічний потік у круговій порожнині: просторово-часовий розподіл складових швидкості потоку у перетині $x_1 = \frac{L_{x_1}}{2}$ і залежність кінетичної енергії потоку від часу

Із наведених на рис. 2 даних, можемо свідчити, що структура газодинамічного потоку у порожнині визначається великими вихорами, які взаємодіють між собою, створюють коливання параметрів течії, включаючи тиск. Такі коливання параметрів у порожнині при відомих умовах резонансу можуть призводити до генерації звуку.

Проблема генерації звуку в турбулентних потоках і збудження турбулентності звуком розглядалася в роботах [11–13]. Модель турбулентного газодинамічного потоку в порожнині (6) – (8) дозволяє пояснити виникнення звуку при дозвуковому обтіканні різних заглиблень на лопатях і у фюзеляжі вертольоту.

Параметри коливань у порожнині істотно залежать від величини турбулентної в'язкості, зокрема при зменшенні турбулентної в'язкості на порядок, при збереженні всіх інших початкових даних у моделі (6)–(8), коливання параметрів потоку в порожнині загасають згодом, як наведено на рис. 3.

Для побудови наведених графіків (рис. 3) використовувались наступні параметри моделі $L_{x1} = 20$, $L_{x2} = 20$, $U_0 = 1$, $k = 100$, $\nu = 3,12 \cdot 10^6$, $U_0 = 1$, $k = 100$, $\nu = 3,12 \cdot 10^6$, $\frac{\mu_T}{\mu} = 3,3 \cdot 10^3$.

Така поведінка пояснюється тим, що амплітуда швидкості потоку і кінетична енергія зростають при збільшенні турбулентної в'язкості, що безпосередньо впливає з порівняння графіків, наведених на рис. 2 і 3. Таке збільшення швидкості у більш в'язкому, на перший погляд, потоці пояснюється тим, що турбулентна в'язкість у відносних одиницях є великим за величиною параметром у моделі (6), тим самим створюються

умови для порушення коливань швидкості великої амплітуди.

Підвищення турбулентної в'язкості у півтора рази призводить пропорційного збільшення кінетичної енергії потоку в порожнині (рис. 4). Однак подальше підвищення турбулентної в'язкості призводить до розвитку чисельної нестійкості, що пояснюється замкнутим характером газодинамічного потоку в порожнині в моделі (6)–(8).

Для побудови наведених графіків (рис. 4) використовувались такі параметри моделі $L_{x1} = 20$, $L_{x2} = 20$, $U_0 = 1$, $k = 100$, $\nu = 3,12 \cdot 10^6$, $\frac{\mu_T}{\mu} = 7 \cdot 10^4$.

Висновки. У цій роботі проведено моделювання газодинамічних процесів, що протікають у двигуні вертольота Мі-8МТВ із застосуванням модифікацій рівнянь Нав'є-Стокса для аналітичного опису турбулентних процесів, що дозволило отримати графіки просторово-часового розподілу складових швидкості потоку й залежності кінетичної енергії потоку від часу, які є інформаційно-діагностичними показниками двигуна вертольота Мі-8МТВ, оскільки за наявності несправностей у двигуні, характер газодинамічного потоку буде змінюватись, що відобразиться на отриманих графіках розподілів. Перспективою розвитку є розроблення інформаційно-керуючої системи діагностування та прогнозування стану двигуна вертольота Мі-8МТВ, одна із складових частин якої базуватиметься на отриманих залежностях. Також у роботі аналітично доведено раніше отримані викладки щодо виникнення звуку при дозвуковому обтіканні різних заглиблень на лопатях і у фюзеляжі вертольота, що підтверджує адекватність отриманих результатів.

Список літератури:

1. Кеба И. В. Диагностика авиационных газотурбинных двигателей. Москва : Транспорт, 1980. С. 3–21.
2. Дмитрієв С.О., Попов О.В., Попов Д.В., Арістов Г.О. Інформаційні технології забезпечення конструктивно-експлуатаційних властивостей повітряних суден та авіаційних двигунів. Вестник двигателестроения. 2015. № 2. С. 67–72.
3. Дмитрієв С.О., Попов О.В., Попов Д.В., Бурлаков В.І. Формування програм технічного обслуговування авіаційних двигунів. Авиационно-космическая техника и технологии. 2013. № 7(104). С. 190–194.
4. Дмитрієв С.О., Попов О.В., Попов Д.В., Бурлаков В.І. Формалізація процедур та визначення оптимальних програм технічного обслуговування повітряних суден та авіаційних двигунів. Авиационно-космическая техника и технологии. 2014. № 9(116). С. 177–181.
5. Машошин О.Ф., Бигус А.В. Информационное обеспечение процессов диагностирования авиационной техники. Научный вестник МГТУ ГА. 2002. № 49. С. 44–48.
6. Машошин О.Ф. Информационное обеспечение процессов диагностирования авиадвигателей. ЕТАК: материалы научн. трудов конф. Егорьевск, 2001. С. 15–16.
7. Пивоваров В.А., Машошин О.Ф. Применение аппарата теории статистической классификации к задачам диагностирования авиационной техники. Научный вестник МГТУ ГА. 1999. № 20. С. 25–30.
8. Ковеня В.М., Чирков Д.В. Методы конечных разностей и конечных объемов для решения задач математической физики: учебное пособие Новосибирск: Новосибирский государственный университет, 2013. С. 7–8.

9. Елизарова Т.Г. Математические модели и численные методы в динамике жидкости и газа. Москва: МГУ им. М. В. Ломоносова, 2005. С. 73–76.
10. Трунев А.П. Моделирование турбулентного течения в полости на основе уравнений Навье-Стокса. Научный журнал КубГАУ. 2016. № 05(119). С. 1111–1133.
11. Трунев А.П. Физические механизмы турбулентной вязкости и моделирование турбулентности на основе уравнений Навье-Стокса. Научный журнал КубГАУ. 2016. № 04(118). С. 1469–1487.
12. Fefferman C. L. Existence and smoothness of the Navier-Stokes equation. The millennium prize problems. Clay Math. Inst. 2006. P. 57–67.
13. Трунев А.П. Теория и константы пристенной турбулентности. Научный журнал КубГАУ. 2010. № 04(058). С. 383–394.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ В ДВИГАТЕЛЕ ВЕРТОЛЕТА МИ-8МТВ

В работе проведено численное моделирование газодинамических процессов, протекающих в турбовальном двигателе вертолета Ми-8МТВ. Применены численные решения уравнения Навье-Стокса, описывающие турбулентные газодинамические потоки в сечениях полости двигателя. Получено пространственно-временное распределение составляющих скорости потока в сечениях двигателя и временное распределение кинетической энергии. Полученные показатели являются информативными критериями диагностики состояния авиационного двигателя. Подтверждены ранее полученные доказательства возникновения звука в дозвуковом обтекании различных углублений на лопастях и в фюзеляже вертолета.

Ключевые слова: авиационный двигатель, газодинамический поток, уравнения Навье-Стокса, турбулентный поток, информационный критерий диагностики.

SIMULATION GAS-DYNAMIC PROCESSES OCCURRING IN THE HELICOPTER ENGINE MI-8MTV

Numerical modeling of gas-dynamic processes occurring in the turbo-engine of the Mi-8MTV helicopter is carried out in the work. Numerical solutions of the Navier-Stokes equation describing turbulent gas-dynamic flows in sections of the engine cavity are applied. The space-time distribution of the flow velocity components in the engine cross sections and the time distribution of the kinetic energy are obtained. The obtained indicators are informative criteria for diagnosing the state of an aircraft engine. Earlier obtained evidence of sound generation by subsonic flow around various depressions on the blades and in the fuselage of the helicopter is confirmed.

Key words: aviation engine, gas dynamic flow, Navier-Stokes equation, turbulent flow, information diagnostic criterion.

УДК 621.317.7

Щербань А.П.Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

СПОСІБ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРЯДНИХ ПРОЦЕСІВ У ДЖЕРЕЛАХ ЖИВЛЕННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН ТА АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

У статті наведені основні тенденції в галузі контролю стану джерел живлення безпілотних повітряних суден (БПС). Окрім того, виділено ряд діагностичних завдань, вирішення яких забезпечує стабільну та ефективну роботу БПС. Розроблена методика проведення експерименту, та проведені експериментальні дослідження акумуляторної батареї для БПС із реальним навантаженням в умовах різних температур. На основі отриманих даних зроблені висновки про можливість оцінювання стану акумуляторної батареї в процесі її роботи. Також наведені рекомендації щодо розроблення методики контролю рівня заряду акумулятора на борту безпілотного літального апарата (БПЛА).

Ключові слова: перезаряджуване автономне джерело струму, літій-полімерні акумулятори, розрядна характеристика, безпілотне повітряне судно, рівень заряду.

Постановка проблеми. Наразі використання безпілотного літального апарата (далі – БПЛА) набуває неймовірних масштабів. Вони з кожним днем стають дедалі більш затребуваними в усьому світі, про що свідчить зростання кількості БПЛА різних класів на авіаційних виставках світу. Така популярність цього класу літальних апаратів зумовлена низкою переваг перед пілотованою авіацією для вирішення широкого спектра завдань, головним з яких є відсутність екіпажу, відносно невелика вартість БПЛА, малі витрати на їх створення, виробництво й експлуатацію, великі тривалість і дальність польоту.

Живлення таких апаратів можливе за допомогою різних засобів – використання двигуна внутрішнього згоряння і, відповідно, палива, акумуляторних батарей, енергії сонця та інших засобів, які є на етапі розроблення. Серед перерахованих варіантів найбільш поширеним і виправданим наразі є використання перезаряджуваних автономних джерел електроенергії (далі – ПАДЕ). Розробники БПЛА віддають перевагу джерелам живлення на основі літію, а саме літій-полімерним акумуляторним батареям (далі – ЛПАБ), оскільки вони володіють досить високими питомими характеристиками.

Відсоток використання ПАДЕ значно збільшується з кожним роком. Усі сучасні пристрої, які належать до сфери високих технологій – при-

строї обчислювальної техніки, телекомунікацій, медичні портативні діагностичні та лікувально-профілактичні прилади, сучасні транспортні системи, – використовують ПАДЕ [1].

Одним з актуальних завдань за використання ПАДЕ на основі літію є завдання вимірювання/контролю рівня заряду/розряду цих джерел електроенергії. Для проведення діагностики акумуляторів і акумуляторних батарей сьогодні використовуються такі електричні характеристики, як напруга розімкнутого ланцюга і під навантаженням, внутрішній опір і реакція на специфічний тестовий сигнал, який дає змогу визначити значення складових повного опору. Ці характеристики отримують різними способами залежно від електрохімічної схеми ПАДЕ, і обробка результатів надалі відбувається також індивідуально [2; 3]. Якщо в сучасних обчислювальних пристроях, засобах комунікацій, медичних портативних приладах вирішення цього завдання не є проблематичним, то за використання ПАДЕ (а саме ЛПАБ) як джерела енергії БПЛА питання вимірювання/контролю розряду таких джерел нині є досить актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Поки що основна маса виробників БПЛА практикують так звані «польоти з фіксованим часом», тобто користувачу заздалегідь відомий час, протягом якого заряду акумулятора вистачає на якісне

виконання роботи, і під час планування вильоту враховують ці дані [4; 5]. Але для широкого використання та впровадження БПЛА незручно випробовувати батарею для того, щоб визначити тривалість польоту. Крім того, проблема виникає у випадках, коли погодні умови можуть різко змінитися – акумулятор в цьому випадку різко втрачає рівень заряду і БПЛА може не тільки не виконати поставлене завдання, але й зазнати краху. А це тягне за собою не тільки екологічні й економічні втрати, але і втрати важливої інформації в умовах використання БПЛА у військовий час. Інший бік цієї проблеми полягає в тому, що в разі надмірного розряду або постійного недорозряду акумулятор втрачає свої властивості та строк його служби значно скорочується [6].

Зважаючи на це, методи оперативної оцінки стану ПАДЕ ґрунтуються на характеристиках, отриманих опосередковано в результаті аналізу параметрів, які можна виміряти досить швидко. Значення вимірюваних параметрів дають змогу оцінити технічний стан і спрогнозувати значення резервної та номінальної ємності акумуляторної батареї.

Зрозуміло, що методи контролю та оцінки стану ПАДЕ повинні бути неруйнівними – без втрат енергії або за малої втрати. Найбільш бажана одномоментна діагностика протягом найкоротшого часу. Під час такої процедури в ПАДЕ в уніфікованому для цього стані можуть бути виміряні всі зазначені діагностичні параметри [7].

Постановка завдання. Для реалізації завдання оперативної діагностики акумуляторних батарей на борту БПЛА необхідно вирішити такі завдання:

– Експериментально підтвердити чи спростувати дані із зарядних-розрядних характеристик ПАДЕ, наведені у специфікаціях їхніх виробників.

– Експериментально визначити ступінь впливу найбільш вагомого (з точки зору хімічних процесів, що протікають у ЛПАБ) зовнішнього фак-

тора – температури на зміну даних розрядних характеристик.

– Оцінити можливість використання методу вимірювання напруги як опосередкованого параметра для контролю розряду ЛПАБ як найбільш простого в реалізації на борту БПЛА в потрібному контрольованому діапазоні.

Виклад основного матеріалу. На базі випробувальної лабораторії Державного підприємства «Орізон-Навігація», яке спеціалізується на розробленні та виготовленні бортового обладнання повітряних суден, було проведено експериментальні дослідження розрядних характеристик літій-полімерного акумулятора.

Коротко опишемо схему експерименту: до ЛПАБ підключали безколекторний електродвигун малої потужності, застосовуваний на БПЛА класу «mini», який виконував роль корисного навантаження, та блоки управління. До блоків управління належать сервотестер і регулятор. Сервотестер дає змогу запускати двигун, генеруючи відповідний широтно-імпульсно модульований сигнал, і регулювати швидкість обертання двигуна, в такий спосіб імітуючи рівень навантаження на ЛПАБ. Регулятор приймає сигнал управляючої дії із сервотестера й безпосередньо змінює швидкість обертання двигуна.

Для оцінювання впливу різних температур на ЛПАБ схема експерименту розміщувалася в кліматичній камері. Від початку вмикання схеми експерименту відбувалася реєстрація значення напруги на клеммах ЛПАБ до моменту повної зупинки електродвигуна, тобто повного можливого розряду ЛПАБ за різних значень температури. Перед початком чергового циклу отримання даних розрядної характеристики за допомогою регулятора температури кліматичної камери встановлювалося потрібне значення температури, яке контролювалося за допомогою каліброваного термометра, встановленого в кліматичній камері. Період зчитування показань вихідної напруги на ЛПАБ – 1 хвилина. Фіксація даних розрядної

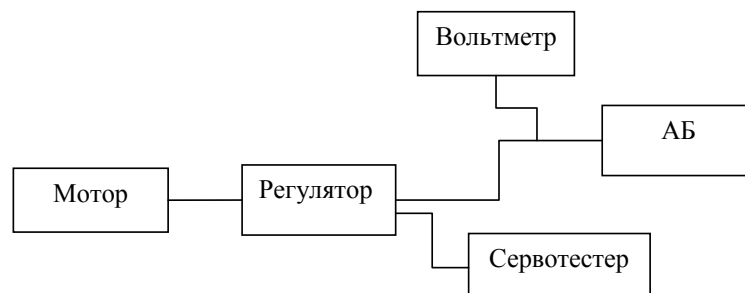


Рис. 1. Структурна схема макету для дослідження ЛПАБ

характеристики за кожної температури проводилася 10 разів для отримання масиву даних, придатних для оцінки. У такий спосіб було досліджено характер зміни напруги в разі розряду акумулятора в умовах температур, наближених до реальних умов під час польоту БПЛА.

Методика проведення експерименту.

Об'єктом випробувань була літій-полімерна акумуляторна батарея (Li-Po ПАДЕ) Zipru Compact ємністю 1500mAh.

Для забезпечення необхідного навантаження на ЛПАБ для коректного дослідження її поведінки під час проведення випробувань у ланцюгу макетної схеми (рис. 1) також використовуються:

- безколекторний мотор KINGKONG 2204-2300KV;
- регулятор для безколекторних двигунів HobbyKing 12A BlueSeries Speed Controller;
- сервотестер TL2638 CCPM.

Основною метою проведення випробувань ПАДЕ є аналіз впливу підвищеної (>45°C) та пониженої (<4°C) температури; аналіз вібрацій-

ного впливу різного рівня (із прискоренням 2g та на частотах 20 Hz, 25 Hz, 30 Hz) на роботу ПАДЕ та її властивості зі збереження заряду.

Для реєстрації даних випробувань використовувалися:

- вольтметр В7-34А;
- осцилограф (Tektronix TDS2012C).

Температурні випробування макетної схеми з Li-Po ПАДЕ виконувалися в кліматичній камері (термокамері) МС-71 випробувальної лабораторії ДП «Орізон-Навігація». Вібраційні випробування виконувалися за допомогою вібростенду ST-80, який також розташований у цій лабораторії.

Для дослідження температурного впливу на роботу ЛПАБ контрольним параметром була обрана напруга, яка фіксувалася за допомогою вольтметра В7-34А. Початковою точкою температурних випробувань була нормальна температура +25°C.

Алгоритм дій під час виконання першого циклу температурних випробувань такий:

1. Вольтметр підключають у ланцюг між акумуляторною батареєю та регулятором.

Таблиця 1

Результати фіксації вихідної напруги ЛПАБ за різних значень температури

	0,00	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00
+50°C	12,49	11,32	11,06	10,81	10,77	10,65	10,41	9,38			
+49°C	12,46	11,33	11,06	10,81	10,75	10,63	10,33	9,38			
+48°C	12,52	11,32	11,11	10,93	10,80	10,68	10,48	9,41			
+47°C	12,50	11,32	11,09	10,89	10,77	10,65	10,31	9,41			
+46°C	12,49	11,29	11,07	10,88	10,76	10,63	10,21	9,41			
+45°C	12,50	11,26	11,05	10,88	10,75	10,60	10,14	9,43			
+40°C	12,50	11,15	11,01	10,80	10,70	10,55	10,00	9,38			
+35°C	12,50	11,08	10,91	10,76	10,64	10,44	9,42	9,42			
+30°C	12,50	11,01	10,88	10,74	10,61	10,39	9,43	9,40			
+25°C	12,50	10,95	10,82	10,70	10,57	10,36	9,41	9,40			
+20°C	12,48	10,88	10,77	10,68	10,57	10,37	9,42	9,40			
+15°C	12,50	10,87	10,65	10,58	10,38	10,11	9,40	9,37			
+10°C	12,49	10,86	10,59	10,48	10,29	9,94	9,39	9,37			
+5°C	12,50	10,60	10,50	10,39	10,21	9,82	9,38	9,36			
+4°C	12,49	10,67	10,53	10,36	10,21	10,01	9,46	9,40			
+3°C	12,50	10,66	10,54	10,40	10,24	10,06	9,53	9,35			
+2°C	12,48	10,63	10,51	10,42	10,28	10,07	9,60	9,34			
+1°C	12,49	10,71	10,53	10,44	10,25	10,06	9,56	9,35			
0°C	12,50	10,77	10,56	10,42	10,26	10,03	9,53	9,33			
-1°C	12,49	10,45	10,53	10,40	10,22	10,01	9,50	9,32			
-2°C	12,49	10,75	10,52	10,37	10,19	9,93	9,48	9,33			
-3°C	12,50	10,70	10,49	10,36	10,19	9,92	9,45	9,33			
-4°C	12,49	10,68	10,47	10,35	10,17	9,90	9,45	9,33			
-5°C	12,49	10,67	10,46	10,34	10,17	9,89	9,43	9,32	9,27		
-10°C	12,49	10,79	10,46	10,29	10,09	9,77	9,49	9,32	9,32		
-15°C	12,48	10,42	10,19	10,02	9,76	9,66	9,43	9,33	9,31	9,30	
-17°C	12,49	9,83	10,03	10,02	9,82	9,42	9,51	9,32	9,31	9,33	
-20°C	12,48	9,72	9,83	9,88	9,51	9,63	9,50	9,35	9,34	9,32	9,34

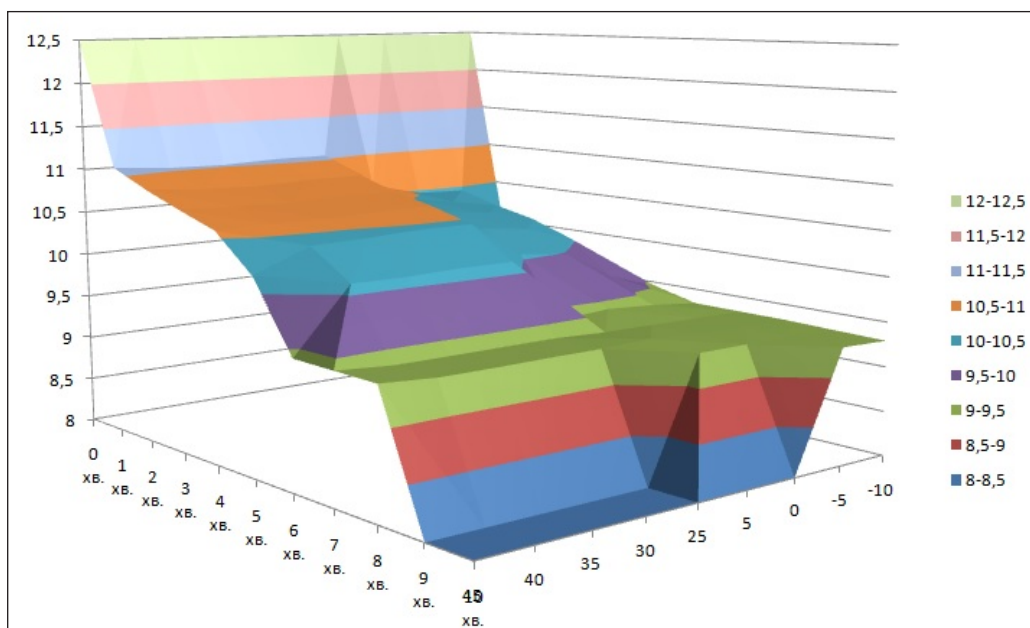


Рис. 2. Графічне зображення масиву розрядних характеристик ЛПАБ за різних значень температури

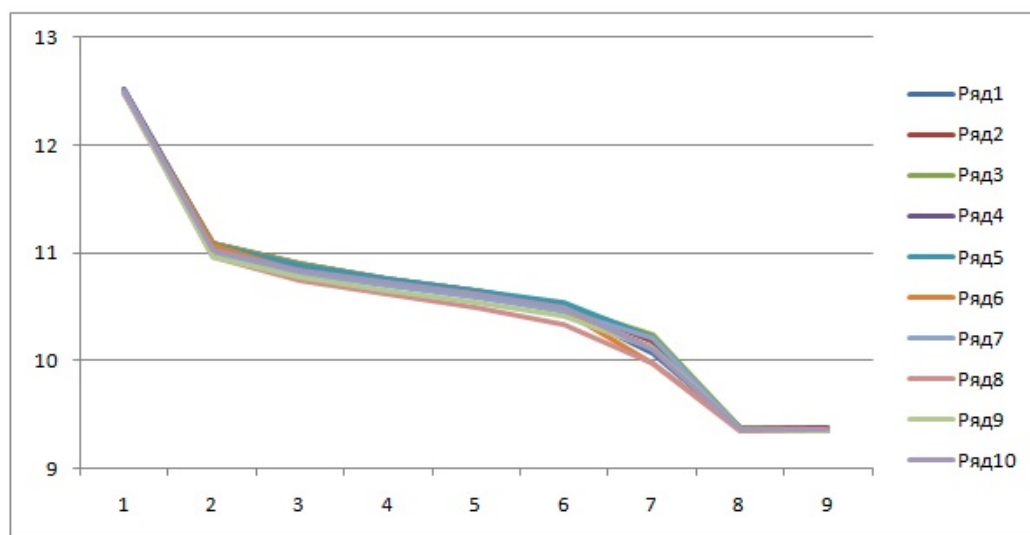


Рис. 3. Сімейство розрядних характеристик досліджуваної ЛПАБ за температури +25°C

Таблиця 2

Значення вихідної напруги ЛПАБ на досліджуваному проміжку часу за температури +25°C

	0 хв.	1 хв.	2 хв.	3 хв.	4 хв.	5 хв.	6 хв.	7 хв.	8 хв.
1	12,52	11,07	10,88	10,75	10,63	10,48	10,08	9,38	9,37
2	12,48	11,09	10,89	10,76	10,64	10,5	10,18	9,38	9,37
3	12,49	11,1	10,91	10,76	10,65	10,51	10,25	9,38	9,37
4	12,52	11,08	10,87	10,73	10,61	10,46	10,13	9,37	9,36
5	12,48	11,07	10,88	10,75	10,66	10,54	10,21	9,36	9,36
6	12,49	11,08	10,83	10,72	10,62	10,46	9,98	9,36	9,35
7	12,51	10,99	10,82	10,69	10,59	10,47	10,21	9,35	9,34
8	12,49	10,96	10,75	10,62	10,49	10,33	9,97	9,35	9,34
9	12,49	10,97	10,78	10,65	10,55	10,41	10,11	9,36	9,35
10	12,50	11,02	10,85	10,72	10,62	10,49	10,1	9,36	9,36

2. Встановлюють потрібну температуру в середині кліматичної камери.

3. Вмикають схему в роботу.

4. Реєструють показання вольтметра із заданим часовим кроком.

5. Після завершення першого циклу (падіння напруги в контрольованій точці, тобто розрядження акумулятора) ЛПАБ заряджають за допомогою спеціалізованого зарядного пристрою.

6. Після завершення заряду ЛПАБ алгоритм повторюють, починаючи з пункту 2.

Випробування виконували для значень температури від $+30^{\circ}\text{C}$ до $+50^{\circ}\text{C}$ із кроком у 5°C та отримані дані фіксували у відповідних колонках табл. 1.

Далі випробування проводили в послідовності, зазначеній у пункті 1, за температури від $+20^{\circ}\text{C}$ до -20°C (у порядку спадання) із кроком у 5°C із фіксацією відповідних значень напруги.

Зазначена послідовність вимірювань проводилася по 10 разів у кожній точці температури, що дало змогу отримати сімейство розрядних характеристик літій-полімерного акумулятора під час навантаження й оцінити швидкість розряду Li-Po ПАДЕ за різних температур.

Наведена таблиця демонструє результати фіксації напруги в кожній точці часу протягом розряду акумулятора. Отримані результати дають можливість оцінювати швидкість розряду ЛПАБ за різних температур і надають поштовх для подальшого аналізу цих температурних впливів. Графічне зображення цих результатів наведено на рис. 2.

Для оцінювання правильності та прецизійності отриманих результатів (з точки зору метрологічного забезпечення) дослідження проводилося по 10 разів у кожній точці температури. Наведені

в табл. 2 результати відображають отриманий масив даних для температури $+25^{\circ}\text{C}$.

Графічне зображення отриманих результатів має вигляд, поданий на рис. 3.

Висновки. Результати виконаних експериментальних досліджень розряду Li-Po ПАДЕ дають змогу зробити ряд висновків. За результатами проведеного дослідження можна сказати, що з графіка на рис. 3 видно, що розрядна характеристика ПАДЕ має складний, нелінійний характер. Швидкість розряду ЛПАБ (складає приблизно $4,2\text{ mV/s}$) на всьому контрольованому діапазоні дає можливість зробити позитивний висновок про можливість нескладної реалізації оцінювання розряду ПАДЕ за методом вимірювання напруги розряду. Суть методу може полягати в попередній оцінці розрядної характеристики ЛПАБ (з періодом у декілька місяців або більше, що буде залежати від інтенсивності використання БПЛА), занесенні цих даних у мікропроцесор БПЛА і подальшому порівнянні значень напруги в процесі роботи ЛПАБ на борту БПЛА із зафіксованими зразковими. За отриманими результатами можна зробити висновок про можливість продовження виконання завдання БПЛА або про необхідність його припинення та повернення «на базу».

Результати температурних випробувань (див. табл. 1) дають змогу стверджувати, що за короткочасної дії температур зовнішнього середовища, нижчих від -5°C , не відбувається погіршення розрядних характеристик Li-Po ПАДЕ, крім того, після закінчення середнього часу розряду, отриманого за позитивних температур, за негативних температур розряд ПАДЕ не відбувається і вона продовжує віддавати заряд, тобто можна стверджувати що за низьких температур відбувається незначне збільшення часу розряду.

Список літератури:

1. Шелест М.Б., Гайда П.І. Основи будови та експлуатації акумуляторних батарей: навч. посібник. Суми, 2014. 210 с.
2. Смирнов О.П. Перспективы развития систем электропитания транспортных средств. Материалы доклада в техническом университете г. Варна (Болгария) на XIV научно-технической конференции с международным участием на тему: «Транспорт, экология – устойчивое развитие» (8–10 мая 2008 г, Варна). 2008. С. 295–301.
3. Solero L., Lidozzi A., Pomilio J. A. Design of multiple-input power converter for hybrid vehicles. IEEE Trans. Power Electron. Sep. 2005. Vol. 20. № 5. P. 1007–1016.
4. Дрон-почтальон Drone.UA и Новая Почта в галлерее инноваций HUB 4.0. URL: <http://drone.ua/delivery-drone/> (дата звернення: 15.05.2016).
5. Красномовец П. «Укрпочта» провела тестовую доставку посылки с помощью израильского дрона. AIN.ua. URL: <http://ain.ua/2016/06/01/652147/> (дата звернення: 01.06.2016).
6. Chen J.-J., Yang F.-C., Lai C.-C., Hwang Y.-S., Lee R.-G. A high efficiency multimode Li-ion battery charger with variable current source and controlling previous-stage supply voltage. IEEE Trans. Ind. Electron. Jul. 2009. Vol. 56. № 7. P. 2469–2478.

7. Lin C.-H., Hsieh C.-Y., Chen K.-H. A Li-ion battery charger with smooth control circuit and built-in resistance compensator for achieving stable and fast charging. IEEE Trans. Circuits Syst. I Reg. Papers. Feb. 2010. Vol. 57. № 2. P. 506–517.

8. Hwang Y.-S., Wang S.-C., Yang F.-C., Chen J.-J., Lee W.-T. New Li-ion battery charger based on charge-pump techniques. Proc. Int. Conf. Commun. Circuits Syst. Proceedings. Jun. 2006. Vol. 4. P. 2259–2262.

СПОСОБ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗРЯДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ИСТОЧНИКЕ ПИТАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ И АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

В статье приведены основные тенденции в области контроля состояния источников питания беспилотных воздушных судов (БПС). Кроме того, выделен ряд диагностических задач, решение которых обеспечивает стабильную и эффективную работу БПС. Разработана методика проведения эксперимента, и проведены экспериментальные исследования аккумуляторной батареи для БПС с реальной нагрузкой в условиях различных температур. На основе полученных данных сделаны выводы о возможности оценки состояния аккумуляторной батареи в процессе ее работы. Также приведены рекомендации по разработке методики контроля уровня заряда аккумулятора на борту беспилотного летательного аппарата (БПЛА).

Ключевые слова: перезаряжаемый автономный источник тока, литий-полимерные аккумуляторы, разрядная характеристика, беспилотное воздушное судно, уровень заряда.

METHOD OF THE RESEARCH OF DISCHARGE PROCESSES IN POWER SUPPLIES OF UNMANNED AERIAL VEHICLES AND ANALYSIS OF RECEIVED RESULTS

The article presents the main trends in the control of the condition of power sources in unmanned aerial vehicles (UAV). In addition, a number of diagnostic tasks are identified, the solution of which ensures a stable and efficient operation of the UAV. The methodology of experimentation work was developed and experimental studies of a lithium-polymer battery with real load under conditions of different temperatures have been conducted. According to the results, were made conclusions about the possibility of assessing the battery's condition during its operation and the possibility of developing a technique for monitoring the battery charge level using in UAV.

Key words: rechargeable autonomous current source, lithium-polymer batteries, discharge characteristic, unmanned aircraft, charge level.

УДК 005.8:519.87

Garbuz S.K.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Titov S.D.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

THE STAKEHOLDERS' MANAGEMENT OF THE EDUCATIONAL PROJECT BASED ON THE APPLICATION OF OPTIMAL STRATEGIES FOR MATRIX GAME

In this article we have researched the features of the choice and application of optimal strategies in the game models of stakeholders' management of the education project on the base of the matrix game. Taking into account all the possible scenarios of stakeholders' actions in the project, the payment matrix and significant combinations of the key factors have been considered. The problem of providing the regional labour market with specialists in the engineering, technical and vocational direction has been studied.

Key words: *educational project, resource sharing, regional labor market, management of stakeholders, payment matrix.*

Introduction. The Ministry of Education and Science has elaborated a draft: «Strategy for the Reform of Higher Education in Ukraine by 2020». The goal of the reform is to create a competitive national system of higher education, to transform universities into centres of independent thought, to provide fair competition between institutions of higher education as a guarantee of high quality of higher education, and also to create an appropriate link between the labour market and the system of higher education. The main challenges of the higher education system are the need to provide the training of skilled professionals for the labour market, to transform the economic model into a «knowledge-based economy», the need for higher education institutions to train professionals to meet labor market requirements, and to increase practical skills for graduates.

Formulation of the problem and analysis of recent research and publications. Since a significant number of potential entrants are currently leaving to study abroad, and graduates of Ukrainian universities are not employed according to their specialty, there is a shortage of labour resources in working and engineering specialties at the enterprises of the regions of the country. In this regard, it is necessary to monitor the demand of personnel with vocational and engin-

eer education in the leading manufacturing and industrial enterprises and sectors of the region. As an interested party, the University can use the information lever of the impact on young people studying in colleges, comprehensive schools and vocational schools, orienting them to the regional labour market, offering educational services in the field of specialty and specialization.

The success of the implementation of such projects depends on the mutual expectations of universities and other project participants. There is a need to develop and evaluate options for possible scenarios for an educational project. The latest edition of the PMBOK Guide has been added with a new area of knowledge «The stakeholders' management of the project» – this indicates the relevance of the research in this area.

The analysis of publications shows that «the relations that are made between stakeholders and the resources that they possess are largely determined by national, social and economic peculiarities, therefore, even existing developments require adaptation to Ukraine's conditions». The analysis of approaches to the definition of stakeholders of projects implemented in higher education institutions [2] has been carried out.

The monograph [3] has developed a methodological approach to choosing the strategies of cooperation between universities with each of the interested parties, taking into account possible scenarios of interaction between the stakeholder groups among themselves. It has been shown that scenarios allow us to analyze and plan non-standard situations and to understand under which conditions a favorable or unfavorable situation may arise. The scenario helps to assess the ways how we can and should influence the processes that lead to acceptable and unacceptable measures for the organization.

The combination of strategies, according to the authors, allows you to simulate any situation in the project, as well as the bases for using the game models through characterization and repetition. The options for combining strategies for player behavior are determined by the terms of a specific project environment: relationship between the stakeholders, experience and knowledge of the project manager, company or team standards, requirements declared in the project charter, etc. [4].

Scientifically grounded methods are required for competent solving of problems with conflict situations. Such methods are developed by the mathematical theory of conflict situations, which is called the theory of games. The purpose of the theory of games is to determine the optimal strategy for each player [5].

The purpose of this work is to develop and research the model of the stakeholders' management of the educational project on the base of the application of optimal matrix game strategies. The results of the research will be used to identify the stakeholders, to develop and evaluate scenarios of their actions in a study project, as well as select the most effective one.

Presentation of the main research material. Through a survey of employees, interviews with the personnel department of enterprises and institutions of the region and a written request to their management, we find out the demand of specialists in engineering and technical direction for further employment

at the enterprises of the city and region. With such information and connections with manufacturing, it is imperative to reach out to potential students of higher educational institutions, having worked in higher educational institutions of the 1st and 2nd levels of accreditation and secondary school, involving the leading scientific and pedagogical staff of the university, as well as successful graduates. Measures to popularize such professions can raise the level of prestige among entrants.

National University of Shipbuilding, a powerful educational institution that offers and provides education to obtain a Bachelor's degree in 27 specialties and 46 specializations, Master's Degree in 21 specialties and 59 specializations. The state university, on the one hand, is the subject of society and the state and is represented as a center of education, science and culture that meets the needs of society and fulfills state orders for the training of specialists and the pursuit of fundamental scientific research. On the other hand, it is the subject of a market economy as a producer of intellectual products and educational services and freely sells his products on the labour market [6]. Satisfying the requirements of stakeholders, the university receives from them the resources necessary for its functioning, and transfers them the resources of the university. Thus, the relationship between the higher educational establishment and stakeholders is built around resource sharing.

Offering new educational services, the university focuses on the regional labour market and the popularity of specialties and specializations among entrants.

To consider possible scenarios for the project and the diversity of stakeholders' interests in the matrix game, it is necessary to consider all the significant combinations, making a payment matrix for them.

Let the project have 4 alternative strategies:

1. The stake for specialization *A*, the stake for the use of internal resources of higher educational institutions.

Table 1

Matrix of preferences of choice of combinations

Situation	Entrants	Internal resources	External resources
1	A	A	A
2	A	A	B
3	A	B	A
4	A	B	B
5	B	A	A
6	B	A	B
7	B	B	A
8	B	B	B

2. The stake for specialization **A**, the stake for the use of external resources.

3. The stake for specialization **B**, the stake for the use of internal resources of higher educational institutions.

4. The stake for specialization **B**, the stake for the use of external resources.

We consider the choice of the three project stakeholders in relation to the specialization **A** or **B**: the entrants, the internal resources of universities, and external resources.

There are 8 variants of the situation, which is a combination of the benefits of stakeholders in relation to specialization (table 1).

Make a payment matrix, where the value is given in the conventional monetary units.

The values of the matrix represent the amount of net profit (in some conditional units) that the higher education institution will receive when implementing a particular strategy in a particular situation. Thus, for example, the largest amount of profit can be obtained by promoting specialization, the advantage of which will be given by entrants, while at the same time, the rate on external resources (which will cost universities more cheaply internally), subject to their interest in this specialization. These include assignments of the faculty for conducting classes and consultations at the university's branches and educational and consulting points located at a considerable distance from the main institution (Kyiv, Odesa, Kherson, Kirovograd region of Ukraine, as well as Batumi, Georgia), if we use external resources for this activity, then we will receive the budget savings of the special fund of higher educational institutions.

Internal resources are more expensive, but their use is less risky. In calculating profits we have taken into account not only the number of entrants who manage to attract in a particular situation, but also their outflow as a result of reluctance to continue their studies due to inconsistency of the quality level of education with initial expectations.

We find a solution to the problem assuming that the probability of each situation is the same.

It is assumed that each player can choose only one of the finite sets of their actions. The choice of action is called *the choice of player strategy*.

If each player chooses his strategy, then these two strategies are called *the game's situation*. The net strategy of player I is to choose one of n lines of the matrix of winnings **A**, and the player strategy II is the choice of one of the columns of the same matrix. At the same time, each player knows which strategy is chosen by his opponent.

1. Check whether the payment matrix (table 2) has a saddle point. If so, then we write out the decisions of the game in pure strategies.

We believe that Player I chooses his strategy to maximize his winnings, and player II chooses his strategy so as to minimize the winner of player I.

We find a guaranteed win, which is determined by the lower price of the game $a = \max (a_i) = 80$, which indicates the maximum net strategy A2.

The upper price of the game $b = \min (b_j) = 400$.

That indicates the absence of a saddle point, since $a \neq b$, then the price of the game is within $80 \leq y \leq 400$.

2. We find solutions to the game in mixed strategies.

The mathematical models of a pair of dual linear programming problems can be written as follows: find the minimum of the function $F(x)$ with restrictions (for player II):

$$\begin{aligned} 450x_1+600x_2+50x_3+70x_4 &\geq 1 \\ 450x_1+400x_2+50x_3+120x_4 &\geq 1 \\ 300x_1+600x_2+100x_3+70x_4 &\geq 1 \\ 300x_1+400x_2+300x_3+350x_4 &\geq 1 \\ 200x_1+300x_2+350x_3+450x_4 &\geq 1 \\ 200x_1+200x_2+350x_3+550x_4 &\geq 1 \\ 60x_1+130x_2+400x_3+450x_4 &\geq 1 \\ 60x_1+80x_2+400x_3+550x_4 &\geq 1 \\ F(x) &= x_1+x_2+x_3+x_4 \rightarrow \text{in} \end{aligned}$$

Find the maximum of the function $Z(y)$ with restrictions (for player I):

$$\begin{aligned} 450y_1+450y_2+300y_3+300y_4+200y_5+200y_6+60y_7+60y_8 &\leq 1 \\ 600y_1+400y_2+600y_3+400y_4+300y_5+200y_6+130y_7+80y_8 &\leq 1 \\ 50y_1+50y_2+100y_3+300y_4+350y_5+350y_6+400y_7+400y_8 &\leq 1 \\ 70y_1+120y_2+70y_3+350y_4+450y_5+550y_6+450y_7+550y_8 &\leq 1 \\ Z(y) &= y_1+y_2+y_3+y_4+y_5+y_6+y_7+y_8 \rightarrow \text{max} \end{aligned}$$

Table 2

Payment matrix of the game

Strategies/Situations	1	2	3	4	5	6	7	8
1	450	450	300	300	200	200	60	60
2	600	400	600	400	300	200	130	80
3	50	50	100	300	350	350	400	400
4	70	120	70	350	450	550	450	550

Solve the direct problem of linear programming by a simplex method, using a simplex table.

Determine the maximum value of the *objective function* $Z(Y) y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 + y_7 + y_8$ under these conditions-restrictions.

$$450y_1 + 450y_2 + 300y_3 + 300y_4 + 200y_5 + 200y_6 + 60y_7 + 60y_8 \leq 1$$

$$600y_1 + 400y_2 + 600y_3 + 400y_4 + 300y_5 + 200y_6 + 130y_7 + 80y_8 \leq 1$$

$$50y_1 + 50y_2 + 100y_3 + 300y_4 + 350y_5 + 350y_6 + 400y_7 + 400y_8 \leq 1$$

$$70y_1 + 120y_2 + 70y_3 + 350y_4 + 450y_5 + 550y_6 + 450y_7 + 550y_8 \leq 1$$

To construct the first reference plan, we introduce the system of inequalities to the system of equations by introducing additional variables (transition to canonical form).

$$450y_1 + 450y_2 + 300y_3 + 300y_4 + 200y_5 + 200y_6 + 60y_7 + 60y_8 + y_9 = 1$$

$$600y_1 + 400y_2 + 600y_3 + 400y_4 + 300y_5 + 200y_6 + 130y_7 + 80y_8 + y_{10} = 1$$

$$50y_1 + 50y_2 + 100y_3 + 300y_4 + 350y_5 + 350y_6 + 400y_7 + 400y_8 + y_{11} = 1$$

$$70y_1 + 120y_2 + 70y_3 + 350y_4 + 450y_5 + 550y_6 + 450y_7 + 550y_8 + y_{12} = 1$$

We solve the system of equations with respect to the basis variables: $y_9, y_{10}, y_{11}, y_{12}$. Assuming that the free variables are equal to 0, we get the first reference plan:

$$Y_0 = (0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 1) \text{ (table 3).}$$

We turn to the main algorithm of the simplex method.

Iteration № 0.

1. Verification of the criteria of optimality.

The current support plan is not optimal because there are negative coefficients in the index line.

2. Definition of a new basic variable.

As the main one, select the column corresponding to the y_8 variable, since it is the largest modulus factor.

3. Definition of a new free variable.

Calculate the value of D_i in terms of the fraction of the division: b_i / a_{i8}

and one of them will choose the least: $\min(1: 60, 1: 80, 1: 400, 1: 550) = 1/550$

So, the fourth line is the main thing.

The solution element is (550) and is located at the intersection of the main column and the main line.

4. Recalculation of the simplex table.

We form the next part of the simplex table. Instead of the variable 12, plan 1 will include the variable y_8 . We get a new simplex table. Perform some iteration.

The final version of the simplex table, when the index line (fig. 1) does not contain negative elements, the optimal plan is found:

Optimal mixed strategy of player I:

$$P = (0; 11/20; 0; 9/20)$$

Optimal mixed strategy of player II:

$$Q = (0; 0.533; 0; 0; 0; 0; 0.467; 0)$$

Game price: $v=274$

$$X_a = [0; 11/20; 0; 9/20]$$

$$Y_b = [0; 0.533; 0; 0; 0; 0; 0.467; 0]$$

The essence of the simplex-method, in that the movement to the optimum point is carried out from one corner point to another, which can approach to the *Xopt*- closer and faster. Such a scheme of crossing points, called the simplex method, was proposed by the American mathematician George Danzig.

So, from a practical point of view, we can conclude that it is more profitable for a player to have more strategies because it provides additional flexibility to the project manager. Also, if pure strategies

Table 3

Supporting plan

Базис	B	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	y8	y9	y10	y11	y12
y9	1	450	450	300	300	200	200	60	60	1	0	0	0
y10	1	600	400	600	400	300	200	130	80	0	1	0	0
y11	1	50	50	100	300	350	350	400	400	0	0	1	0
y12	1	70	120	70	350	450	550	450	550	0	0	0	1
Z(Y0)	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0

Z(Y6)	0.00365	175/548	0	175/548	207/548	187/548	167/548	0	35/548	0	11/5480	0	9/5480
-------	---------	---------	---	---------	---------	---------	---------	---	--------	---	---------	---	--------

Fig. 1. A fragment of the index line of a simplex table

allow you to choose the logic of behavior that ensures the most stable implementation of the project, then mixed strategies help control the balance of power and stakeholder contributions to different attitudes towards the project and its product [7].

Conclusions.

1. The formalization of the task of choosing the optimal strategy of the stakeholders of the educational project has been carried out.

2. The elements of the payment matrix are proposed to consider alternative scenarios and project situations that are a combination of key factors.

3. The disadvantage of the approach is the combinatorial complexity of the task, which complicates the simultaneous consideration of a large number of factors.

4. Further research in this area should be aimed at developing mechanisms for assessing winnings in certain scenarios in certain situations.

References:

1. Strategy of the Ukraine higher education reformation up to 2020 year (the project) Kiev, 2014. URL: <http://osvita.ua/vnz/reform/43883/> (date of calling is 28.02.2018).
2. Guseva U., Kantsevich M., Chumachenko I. Multi-stakeholder model of the educational project quality management. Herald of the National Technical University «CPI». Collection of the scientific articles. Series: Strategic management, portfolio, programs and projects management. Kharkov: NTU «CPI». 2015. № 2(1111). P. 8-13.
3. Gresko A., Solodukhin K., Models and methods of the university and the stakeholders interaction strategies choice in the condition of the uncertainty. Study. URL: portfolio.vvsu.ru/files/ (date of calling is 16.02.2018).
4. Grigorian, T.G., Titov S.D., Gayda A.Y., Koshkin V.K. A game-theoretic approach to harmonization the values of project stakeholders. Proceedings of the XII-th International Scientific and Technical Conference: Computer Sciences and Information Technologies, CSIT 2017. P. 527-530.
5. Research of the procedures in economics: Workbook for University/ Kremer N., Putko B., Trishin I., Fridman M. / edited by professor N. Kremer. Moscow, 2005. 407 p.
6. In the way to the social responsible university / I. Bedrachuk et al. Vladivostok, 2009. 412 p.
7. Grigoryan T.G. Use of the bimatrix games in the harmonization of the project stakeholders value. Herald of NTU «CPI». Series: Strategic management, management of the portfolio, programmes and projects. Kharkov: NTU «CPI». 2017. № 3(1225). P. 35–42.
8. Guidance to the Code of Knowledge on the project management (Guidance PMBOK): ANSI/PMI 99-001-2004, American National Standard. USA, Project Management Institute, 2008. 464 p.

УПРАВЛІННЯ СТЕЙКХОЛДЕРАМИ НАВЧАЛЬНОГО ПРОЕКТУ НА ОСНОВІ ЗАСТОСУВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ СТРАТЕГІЙ МАТРИЧНОЇ ГРИ

У статті досліджено особливості вибору та застосування оптимальних стратегій в ігрових моделях управління стейкхолдерами навчального проекту на основі матричної гри. Під час розгляду можливих сценаріїв дій стейкхолдерів за проектом розглянуто суттєві комбінації ключових факторів та платіжну матрицю. Порушено проблему забезпечення регіонального ринку праці фахівцями з інженерно-технічного та професійно-технічного напрямку.

Ключові слова: навчальний проект, обмін ресурсами, регіональний ринок праці, управління стейкхолдерами, платіжна матриця.

УПРАВЛЕНИЕ СТЕЙКХОЛДЕРАМИ УЧЕБНОГО ПРОЕКТА НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ СТРАТЕГИЙ МАТРИЧНОЙ ИГРЫ

В статье исследованы особенности выбора и применения оптимальных стратегий в игровых моделях управления стейкхолдерами учебного проекта на основе матричной игры. При рассмотрении возможных сценариев действий стейкхолдеров по проекту рассмотрены существенные комбинации ключевых факторов и платежную матрицу. Поднят вопрос обеспечения регионального рынка труда специалистами инженерно-технического и профессионально-технического направления.

Ключевые слова: учебный проект, обмен ресурсами, региональный рынок труда, управление стейкхолдерами, платежная матрица.

ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

УДК 621.315.2.016.2

Лободзинський В.Ю.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Довгаль М.О.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Мудрик В.І.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ПОШКОДЖЕННІ КАБЕЛЬНОЇ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ

У статті описано результати моделювання перехідних процесів при однофазному і трифазному короткому замиканні на високовольтній кабельній лінії електропередачі номінальної напруги 330 кВ. Досліджено один із можливих підходів вирішення таких завдань, що ґрунтується на використанні програмного пакета Matlab/Simulink, призначеного для моделювання та чисельного розрахунку перехідних процесів у кабельних лініях електропередачі на основі побудови багатопровідної схеми заміщення.

Ключові слова: кабельна лінія, перехідні процеси, коротке замикання, моделювання, схема заміщення.

Постановка проблеми. Високовольтні кабельні лінії (далі – КЛ) електропередачі є основою енергопостачання для промислових підприємств, комунальних та побутових споживачів електроенергії, тому наукові, технічні та економічні завдання підвищення надійності їхньої роботи є науково-технічною проблемою, що вимагає ретельного дослідження та потребує здійснення оперативного моделювання різних режимів роботи з використанням сучасної обчислювальної техніки.

Протягом останніх десятиліть у силових кабелях використовується зшита поліетиленова (СПЕ) ізоляція, яка забезпечує збільшення пропускної потужності, тривалих струмів і струмів коротких замикань при тих же перерізах струмопровідних жил, а також зменшення ємнісних струмів і діелектричних втрат, порівняно з використанням паперово-масляної ізоляції [1; 2].

На практиці широко застосовують методи розрахунку перехідних процесів в КЛ електропере-

дачі, які не дозволяють із достатньою точністю отримати форми кривих струму і напруги перехідних процесів при нелінійності навантажень і складних видів пошкоджень. [3; 4; 5] Зазвичай, при розрахунках перехідних процесів ведеться якісний або кількісний аналіз параметрів процесу, зокрема діючих значень струмів і напруг, симетричних складових, гармонійного складу сигналів струму і напруги, і не розглядається картина перехідного процесу загалом. [6; 7]

Постановка завдання. Існують два основних підходи до моделювання перехідних процесів у КЛ, які базуються на схемах заміщення лінії електричним колом із зосередженими параметрами та на представленні лінії у вигляді кола з розподіленими параметрами [8].

Під час дослідження низькочастотних перехідних процесів у КЛ або у коротких лініях, аналіз перехідних процесів, як правило, виконується на основі П- або Т-подібної схеми заміщення із зосередженими параметрами [9]. Поздовжні

й поперечні параметри R , L , C схеми заміщення лінії є функціями частоти. Якщо для досліджуваного перехідного процесу можна виділити одну характерну частоту, то в розрахунках використовують значення параметрів на цій частоті. Якщо ж перехідний процес характеризується широким спектром частот, то для кожного з параметрів синтезується додаткова схема заміщення із зосередженими параметрами, що реалізує його частотну характеристику [10; 11; 12]. Для розрахунку перехідних процесів у відносно довгій лінії можливе використання розрахункового прийому поділу цієї лінії на короткі ділянки такої довжини, яка дозволяє використовувати для кожної ділянки схему заміщення із зосередженими параметрами, за цих умов уся КЛ розглядається як ланцюгова схема заміщення.

Метою статті є розроблення методики чисельного розрахунку перехідних процесів у високовольтній трифазній КЛ, яка складається з трьох однофазних кабелів 330 кВ. Визначена мета поставила завдання дослідити один із підходів вирішення таких задач, що базуються на використанні програмного пакета Matlab/Simulink, призначеного для моделювання та чисельного розрахунку перехідних процесів у кабельних лініях електропередачі. Методика включає побудову багатопровідної схеми заміщення кабельної лінії високої напруги, розрахунок її параметрів та аналіз перехідних процесів, що дозволяє вирішувати питання безпеки роботи високовольтних кабельних ліній при перенапругах, однофазних та трифазних коротких замиканнях.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для розрахунку перехідного процесу необхідно скласти схему заміщення, застосовуючи метод симетричних складових частин. Цей підхід дозво-

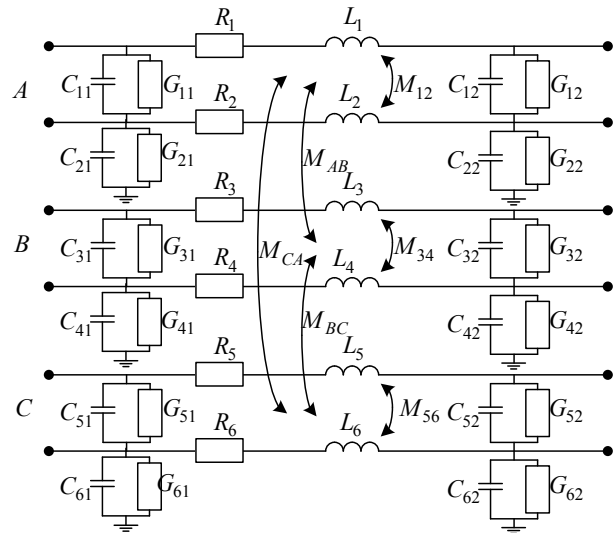


Рис. 1. Трифазна модель ділянки КЛ електропередачі у вигляді П-подібної схеми заміщення

ля врахувати трифазну структуру, хоча й не відрізняється особливою точністю для отриманої моделі через допущення симетричності всіх елементів [13; 14], адже спрощує розрахунок параметрів схем заміщення. Слід зазначити, що отриманої точності достатньо для оцінки характеру процесів, які протікають при різних комутаціях у досліджуваному електричному колі. Однорідну ділянку кабельної лінії електропередачі замінимо П-подібною схемою заміщення, яка розглядається як трифазна модель ділянки КЛ із фіксованою довжиною. Тут враховані індуктивні та ємнісні зв'язки між сусідніми дротами і землею (рис. 1).

На рис. 1 прийняті такі позначення: $R_1..R_6$, $L_1..L_6$ – поздовжні опори та індуктивності ділянок КЛ на одиницю довжини; $C_{11}..C_{62}$, $G_{11}..G_{62}$ – поперечні опори та ємності між дротами фаз і між дротами та землею; M_{AB} , M_{AC} , M_{CA} – взаємна індуктивність

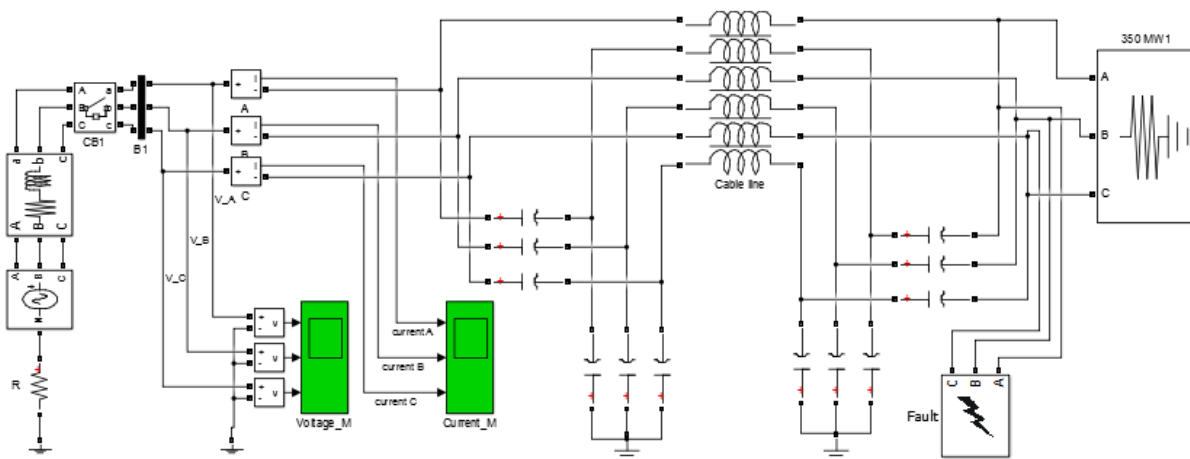


Рис. 2. Simulink-модель кабельної лінії електропередачі

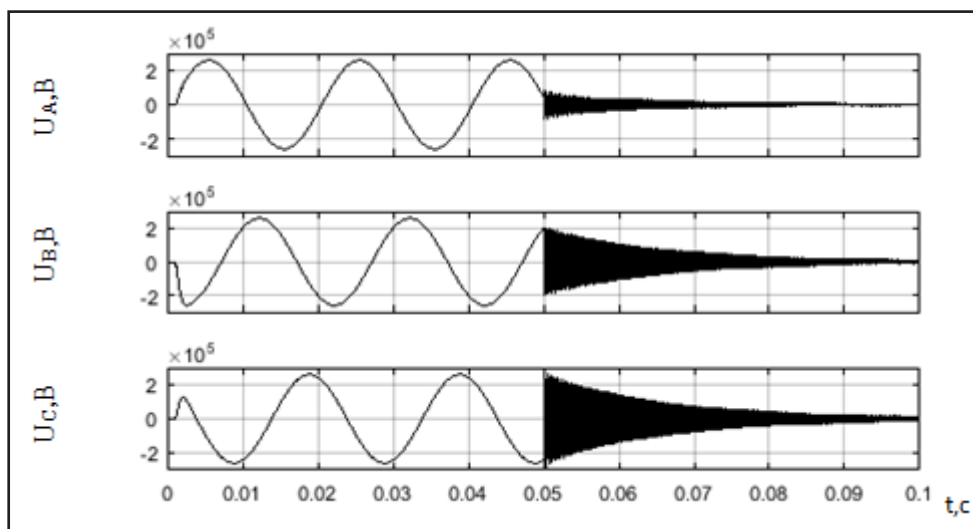


Рис. 3. Осцилограми напруг у фазах при трифазному короткому замиканні

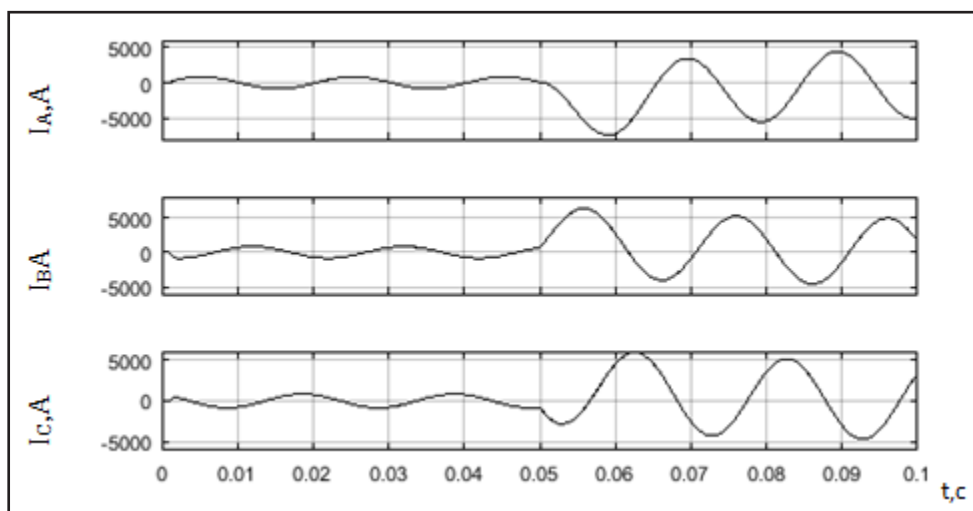


Рис. 4. Осцилограми струмів у фазах при трифазному короткому замиканні

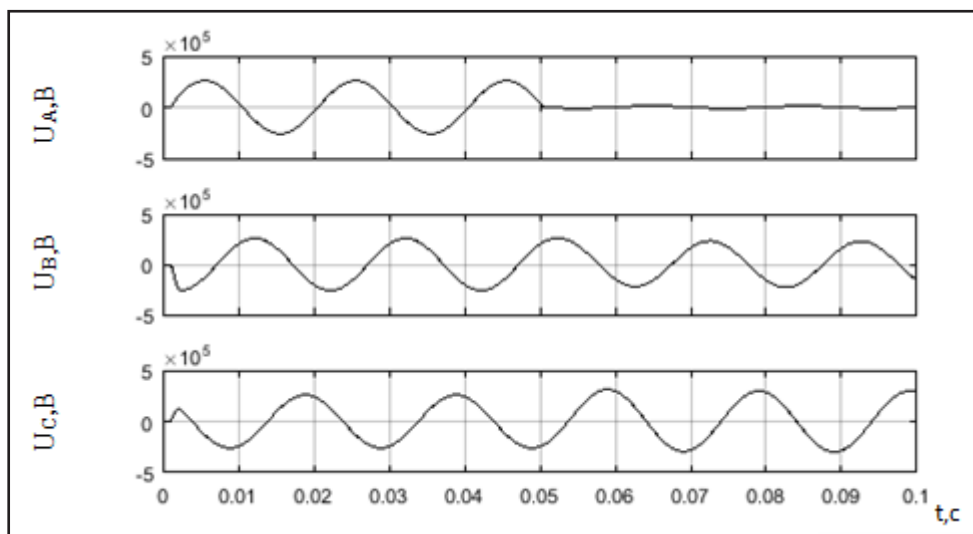


Рис. 5. Осцилограми напруг у фазах при однофазному короткому замиканні

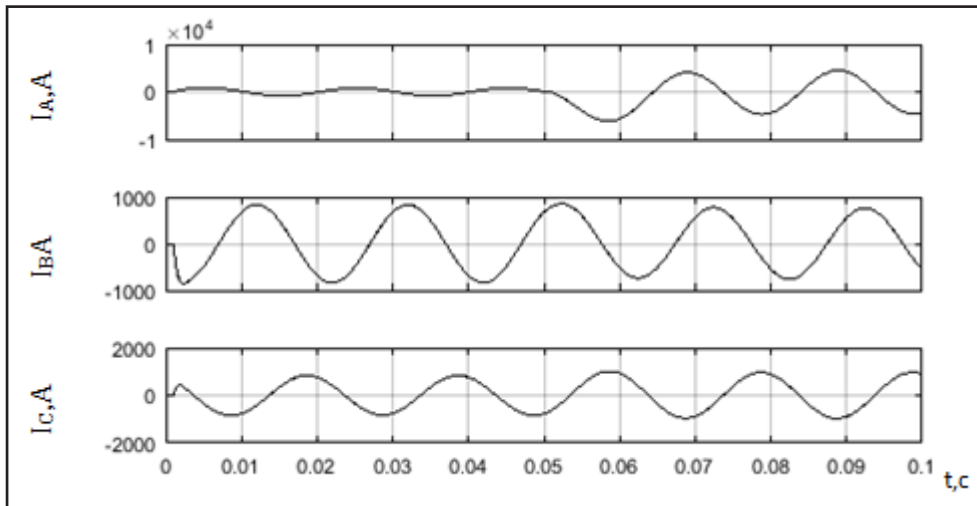


Рис. 6. Осцилограми струмів у фазах при однофазному короткому замиканні

між жилою (екраном) і сусіднім кабелем; M_{12} , M_{34} , M_{56} – взаємна індуктивність між жилою та екраном одного й того ж кабелю.

Погонні параметри кабелю (з урахуванням взаємного впливу фаз і електричних кіл один на одного та частотних залежностей цих параметрів) розраховуються з використанням відомих формул [15]. Формули достатньо складні, і без спеціальних комп'ютерних програм розрахунки значно ускладнюються.

Для більш детального аналізу перехідних процесів при однофазних і трифазних коротких замиканнях у кабельній лінії 330 кВ, авторами розроблена Simulink-модель лінії у вигляді П-подібної схеми заміщення. Модель (рис. 2) містить такі основні елементи:

- джерело трифазної напруги (опір заземлення 10 Ом) з лінійною напругою 330 кВ;
- трифазний блок, що задає еквівалентні внутрішні параметри джерела і лінії електропередачі на ділянці від джерела до КЛ;
- модель КЛ (номінальна напруга 330 кВ), яка моделюється у вигляді еквівалентного 12-ти полюсника (три жили і три екрани);
- на виході КЛ розташований блок моделювання одно- або трифазного КЗ на землю, а також блок активного трифазного навантаження, він вибирається так, щоб номінальний струм у жилах кабелів становив 800 А;
- для візуалізації струмів і напруг в основних вузлах КЛ використовуються осцилографи і трифазні вимірювальні прилади.

При моделюванні КЛ розглядалась як одноланцюгова лінія.

На осцилограмах (рис. 3, 4) показаний перехідний процес при комутації, викликаній замиканням

через 50 мс після початку моделювання. На рис. 3 бачимо, що амплітуда в момент комутації змінюється, а також виникають коливальні процеси на частоті, яка перевищує промислову.

Поява високочастотних коливань викликана наявністю в колі безлічі RLC -контурів, що виникають при послідовному з'єднанні П-схем ділянок КЛ. Коливання напруги виникають під час заряду ємностей поперечних гілок схем заміщення ділянок лінії. Амплітуда коливань струму, порівняно з напругою, майже відсутня, це зумовлено впливом індуктивностей у поздовжніх параметрах схеми заміщення. Коливання струму і напруги фази A мінімальні, порівняно з коливаннями в інших фазах, що залежить від положення вектора струму в цій фазі в момент комутації.

Осцилограми (рис. 5, 6) ілюструють результати моделювання однофазного короткого замикання фази A на землю. На рис. 6 показана звичайна картина розподілу струмів у фазах при однофазному замиканні. Струм пошкодженої фази зростає, при цьому з'являється аперіодична складова.

Висновки. У комп'ютерному середовищі Matlab/Simulink розроблено програмні засоби для моделювання перехідних електромагнітних процесів у потужній електроенергетичній системі, що містить високовольтну кабельну лінію із зшитою поліетиленовою ізоляцією.

Величина напруги на вході лінії у момент трифазного КЗ має значну високочастотну складову частину і за долі секунди напруга знижується практично до нуля (рис. 3). Виникнення такої високочастотної напруги на вході лінії може призводити до прискореного старіння полімерної ізоляції кабелю (роль напівпровідних шарів у кабелі при такій високочастотній напрузі різко

знижується), а також до можливого пошкодження обладнання, розміщеного на вході кабельної лінії (реакторів, трансформаторів та ін.). Для захисту від такого виду впливу запропоновано використовувати *RC*-ланцюги, що встановлюються на вході КЛ.

Величина струму однофазного КЗ у фазі *A* досягає амплітудного значення 5 кА (рис. 6), величина напруги у цій фазі дещо знижується через падіння напруги на джерелі і лінії підведення.

Запропонована методика має такі переваги: підходить для розрахунку різних режимів роботи кабельних ліній електропередачі; дозволяє змінювати параметри і конфігурацію схеми заміщення на часовому діапазоні моделювання, що розширює спектр досліджених режимів; дозволяє розглядати не тільки процеси, які відбуваються в окремій кабельній лінії, а й оцінити її вплив на всю систему в цілому та інші електротехнічні пристрої.

Список літератури:

1. Карпушенко В.П., Золотарев В.М., Науменко А.А., Золотарев В.В. Отечественные разработки кабелей среднего, высокого и сверхвысокого напряжений. Вісник НТУ «ХПІ». 2007. № 20. С. 87–95.
2. Лях В.В., Молчанов В.М., Судакова И.В. Кабельная линия напряжением 330 кВ – новый этап развития электрических сетей Украины: Электрические сети и системы. 2009. № 3. С. 16–21.
3. Півняк Г.Г., Винославський В.М., Рибалко А.Я., Несен Л.І. Перехідні процеси в системах електропостачання: Підручник для вишів. Вид. 2-е, доправ. та доп. / За ред. Г.Г. Півняка. Дніпропетровськ: Видавництво НГА України, 2000. 597 с.
4. Чабан А.В., Левонюк В.Р., Лисяк В.Г. Аналіз перехідних процесів у довгій лінії електропередач як елемента електроенергетичної системи. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2017. № 2. С. 63-68.
5. Pivnyak G.A., Zhezhelenko I.V., Papaika Y.A. Transients in Electric Power Supply Systems. Trans Tech Publ, 2016. 392 p.
6. Черемісін М.М. Перехідні процеси в системах електропостачання. Харків: Факт, 2005. 176 с.
7. Щедрин В.А., Ермолаев Н.М., Александрова Л.Э. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах: Учеб. пособие. Чебоксары: Изд. Чуваш. ун-та., 2005. 88 с.
8. Шидловский А.К., Щерба А.А., Подольцев А.Д., Кучерявая И.Н., Золотарев В.М., Василец Л.Г. Компьютерное моделирование переходных процессов в высоковольтной кабельной линии с транспозицией экранов кабелей. Технічна електродинаміка. Київ, 2006. № 6. С. 3-12.
9. Буслова Н.В., Винославский В.Н., Денисенко Г.И. Электрические системы и сети. Киев: Вища шк., 1986. 585 с.
10. Marti J.R. Accurate modeling of frequency-dependent transmission lines in electromagnetic transient simulation. IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems. 1982. № 1. P. 147-155.
11. Olivera J.C. Paulsen RJ, Amaral M.A., et al. Electrical transmission system with variable frequency though long length cable/ Offshore Technology Conference. Houston, May, 1996.
12. Vendrusculo E.A., Pomilio JA. Power cable parameters estimation in long distance driving of electrical machines Electrical Machines and Drivers, IEMD'99. P. 410-412.
13. Кадомская К.П., Лавров Ю.А., Рейхердт А.М. Перенапряжения в электрических сетях различного назначения и защита от них: Учебник. Новосибирск, НГТУ, 2004. 368 с.
14. Valeriy Chibelis, Vadim Lobodzinskiy, Olga Illina. Research of transposition efficiency of screens of three-phase cable lines, taking into account the mutual disposition of phase: Computational problems of electrical engineering. Lviv, 2016. Vol. 6, № 2. P. 63-66.
15. Wedepohl L.M. et.al. Transient analysis of underground power-transmission system. Proc. IEE, 1973. V. 120. № 2.
16. Lobodzinskiy V., Maślak L. Mathematical modeling of the three-phase high-voltage cable lines under the theory of multiterminal networks. Computational Problems of Electrical Engineering (CPEE), 16th International Conference on. IEEE, 2015. P. 96–98.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПОВРЕЖДЕНИИ КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

В статье описаны результаты моделирования переходных процессов при однофазном и трехфазном коротком замыкании на высоковольтной кабельной линии электропередачи номинального напряжения 330 кВ. Исследован один из возможных подходов к решению подобных задач, основанный на использовании программного пакета Matlab/Simulink, предназначенного для моделирования и численного расчета переходных процессов в кабельных линиях электропередачи на основе построения многопроводных схем замещения.

Ключевые слова: кабельная линия, переходные процессы, короткое замыкание, моделирование, схема замещения.

COMPUTER MODELING OF TRANSITION PROCESSES IN DAMAGED THE CABLE LINE OF ELECTRIC TRANSMISSION

This article describes the results of modeling the transients in a single-phase and three-phase short circuit on a high-voltage cable transmission line with a rated voltage of 330 kV. We explored one of the possible approaches to solving similar problems based on the use of the software package Matlab/Simulink, designed for modeling and numerical calculation of transients in cable power lines based on the construction of a multi-conductor substitution circuit.

Key words: cable line, transitional processes, short circuit, simulation, replacement circuit.

ПРИЛАДИ

УДК 615.849.19.03:616-002

Цокота М.В.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Тимчик Г.С.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

МЕХАНІЗМИ ЛАЗЕРНОЇ ТЕРМІЧНОЇ ВЗАЄМОДІЇ З БІОЛОГІЧНИМИ ТКАНИНАМИ

У статті розглядається вплив випромінювання на тканини та опис теплових ефектів. З'ясовується методика використання формули обрахунку впливу інтенсивності пульсації та розрахунку параметрів лазерів, що використовуються з терапевтичною метою. Розглядаються параметри лазерів, що використовуються в деяких медичних лазерних приладах для порівняння значень інтенсивності пульсації при високо інтенсивній, низько інтенсивній лазерній терапії та їх відмінностями від безперервної хвилі лазера.

Ключові слова: лазеро-тканинна взаємодія, теплові ефекти, імпульсної щільність лазера, лазерна терапія, світлові ефекти, біостимуляція.

Постановка проблеми. У сучасній лікувальній косметології все більшого поширення набувають методи лазерної терапії з дією на патологічно змінені тканини. Взаємодія лазерних тканин викликає великий інтерес завдяки значному застосуванню в біомедичній оптиці як для діагностики, так і для лікування. Основні аспекти взаємодії лазеро-тканини, які слід розглянути в біомедичних дослідженнях, – це теплові властивості тканини та теплові зміни, викликані взаємодією світла з тканиною, у зв'язку з різноманітністю будови тканинних структур, які є нагальною потребою для вивчення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Лазерна взаємодія з живими тканинами застосовується з метою проведення діагностики та терапії. Тоді як під час діагностики параметри тканини не змінюються, то терапія направлена на створення певної модульованої корекції тканин, яка буде корисною для пацієнта. Існує велика різноманітність механізмів взаємодії, які можуть виникати при застосуванні лазерного світла з біологічною тканиною, коли відбуваються деякі характерні фізичні ефекти. Найважливішими з властивостей

оптичних тканин є коефіцієнти відбиття, поглинання та розсіювання. Разом вони визначають загальне передання пропускну здатності тканин на певній довжині хвилі. Також тип впливу визначають параметри лазера, зокрема довжина хвилі, час експозиції, потужність, розмір фокусної точки та щільність енергії, серед яких найважливішим є час експозиції [1, с. 10-15].

Зазвичай лазерна взаємодія зі шкірою складається з п'яти аспектів [2, с. 50-53]:

1) Фотохімічна взаємодія: відбувається при дуже низьких щільності потужності (0,01-50 Вт/см²) та довгому часі експозиції від секунд до безперервної хвилі.

2) Теплова взаємодія: випромінювання поглинається тканинами і перетворюється на внутрішню енергію, яка стимулює збільшення температури. Випромінювання може бути безперервним або імпульсним, типова щільність потужності від 10 до 106 Вт/см²; його тимчасова тривалість від 1 мкс до 1 хв.

3) Фотоалютація: УФ-випромінювання використовується тому, що висока енергія фотонів може порушувати молекулярні ланки та іонізувати

атоми. Таким чином, відбувається вплив лише на фокалізовані атоми та молекули. Час експозиції дуже короткий (від 10 до 100 нс), а щільність – від 107 до 1010 Вт/см².

4) Плазмова індукована абляція. Відбувається при перевищенні щільності потужності 1011 Вт/см² у твердих тілах і рідинах, явище, яке називається «оптичний розподіл», що відбувається при формуванні плазми та генерації ударної хвилі. Для цього процесу типовою тривалістю імпульсів є час від 100 до 500 псек.

5) Фоторозсіювання. Якщо розсіювання відбувається всередині м'яких тканин або рідин, то може виникнути кавітація та утворення струменів. У цьому процесі використовується дуже коротка експозиція від 100 до 100 нс та потужний лазер, при цьому щільність складає 1011-1016 Вт/см².

Більшість лазерних медичних обробок, таких як лазерна гіпертермія, коагуляція та хірургія, включають теплові ефекти. Для покращення ефективності лікування та для особистої безпеки, пріоритетним значенням є точний аналіз процесу передання нагрівання та термопошкодження, які загалом передбачають три етапи дослідження:

1) моделювання розподілу світла всередині тканини: при проходженні лазера від одного типу тканини до іншого, промінь може відбиватися, поглинатися, розсіюватися, внутрішньо відбитися або комбінувати відразу декілька даних явищ.

Світлові явища досліджуються багатьма способами. Відслідковування променів є найпростішим методом, для якого використовують рівняння Максвелла для електромагнітних хвиль, проте воно не забезпечує повного аналізу.

У джерелі [2, с. 27-34] стверджується що перевіреним методом дослідження лазерного випромінювання є метод «транспортування фотонів» згідно з фотонною теорією світла.

Іншим підходом є техніка Монте-Карло [4, с. 10-18] для створення імовірнісної моделі розповсюдження світла в живих тканинах;

2) оцінка зростання і розподілу температури в тканинах. Лазерна взаємодія з тканинами, конвекція, випромінювання, пароутворення та метаболічні теплові ефекти є незначними. Передання тепла характеризується лише властивостями термічної тканини, зокрема теплопровідністю та теплоємністю. Якщо відома швидкість утворення тепла від джерела, то зміна температури може бути розрахована за допомогою енергетичного балансу «рівняння біонагрівання» [2];

3) прогноз теплового пошкодження, який може призвести: термічний ушкодження можна описати математично за допомогою рівняння процесу швидкості, яке визначає функцію пошкодження [2]. Ця функція пошкодження виражається «інтегралом Арренія».

Залежно від тривалості та пікової величини досягнутої температури тканини можна відрізнити різні ефекти, такі як коагуляція, випаровування, карбонізація та плавлення. Просторова протяжність і ступінь пошкодження тканин, насамперед, залежать від величини, часу експозиції та розміщення нагрітого тепла усередині тканини. Поглинання молекулами води відіграє вагомий роль при тепловій взаємодії і дуже залежить від коефіцієнта поглинання на певних довжинах хвиль випромінювання. Припускаючи температуру тіла 37°C, протягом наступних 5°C не спостерігається жодних вимірювальних ефектів. Перший механізм, за якого тканина термічно змінюється, можна пояснити конформаційними змінами молекул. Ці ефекти, що супроводжуються знищенням зв'язків та змін мембран, підсумовані в єдиному терміні «гіпертермія» та змінюються в межах приблизно 42-45°C. Якщо така гіпертермія триватиме протягом декількох хвилин, то значний відсоток тканини може зазнати некрозу, як описано рівнянням Арренія [2] та [5, с. 156-162]. За 50°C спостерігається вимірюване зниження активності фермента, що призводить до зменшення передання енергії в клітині та зменшення рухомості самої клітини. Крім того, відключаються деякі механізми генерації клітини. При 60°C відбувається денатурація білків і колагену, що призводить до коагуляції тканини та некрозу клітин. При 100°C молекули води, що містяться в більшості тканин, починають випаровуватися, при цьому під часі фазового переходу утворюються газові бульбашки, що викликають механічні розриви і термічне розкладання фрагментів тканини. Лише якщо всі молекули води випаровуються і лазерне опромінення продовжується, то продовжується подальше підвищення температури – при зростанні до 150°C відбувається карбонізація, що спостерігається шляхом почорнування суміжних тканин та димоутворенням, та при 300°C може відбуватися плавлення.

У літературі представлено багато досліджень та моделей, що дозволяють вивчати тепловий процес у тканинах лазера, що випромінюються; більшість цих досліджень специфічні і спрямовані на вивчення теплових процесів у певних органах та тканинах тіла та в обмежених фізичних умовах,

деякі проводяться для розрахунку температурних профілів і термічного пошкодження, тоді як інші розробляють моделі для розрахунку тканинної теплової реакції на випромінювання лазера [6-20].

У роботі [21, с. 85-98] автори поєднують в одній формулі «імпульсну щільність інтенсивності» (“pulse intensity fluence” – PIF), та особливості імпульсів високоінтенсивної лазерної терапії (далі – ВІЛТ). При співвідношенні клінічних та експериментальних даних із біологічними ефектами ВІЛТ, вони визначили області ВІЛТ та вказали низку прийнятних значень PIF для регенерації тканин: від 0,2 [Дж/см³]² до 1,0 [Дж/см³]². Нижче 0,1 [Дж/см³]² може бути лише протизапальний ефект, а не регенеративний ефект; тоді як для значень PIF, що перевищують 1,0 [Дж/см³]², може виникнути гістотоксичний ефект.

Постановка завдання. Мета статті – сформулювати основні не вирішені раніше чинники, механізми теплової взаємодії та механізми лазерної взаємодії з біологічною тканиною та огляд методики розрахунку впливу інтенсивності пульсації лазерів, що використовуються в медичних цілях при виборі терапевтичної процедури.

Виклад основного матеріалу досліджень. Транспортування теплової енергії в біологічній тканині – складна процедура, що містить різні феноменологічні механізми, зокрема теплопровідність, конвекцію, випромінювання, метаболічні процеси та фазові зміни [3]. Якщо біологічна тканина висвітлюється лазерним випромінюванням твердотілого лазера, таким як неодимовий ітрієвий алюмінієвий гранат (Nd: YAG) або лазер із двоокисом вуглецю (CO₂), то можна побачити кілька ефектів, зокрема коагуляцію, випаровування, карбонізацію або плавлення, які залежать не тільки від теплових властивостей біологічних тканин, але і від пікової потужності й довжини хвилі лазера.

Проаналізувавши низку джерел, застосуємо формулу PIF (інтенсивності пульсації) [1] для лазерних конфігурацій, що використовуються в різних додатках для оцінки зв'язку між біологічними ефектами та значеннями PIF, яка наведена нижче:

$$PIF [Дж/см^3]^2 = I_p \tau_{on} \frac{E_p}{10,07 r_{sp}^3} \alpha \frac{\tau_{off}}{\tau_{on} + \tau_{off}}, \quad (1)$$

Де I_p – інтенсивність піку [Вт/см²] в опроміненій ділянці; τ_{on} – період випромінювання; E_p – енергія одного імпульса; r_{sp} – промінь розміру площі опромінення; α – коефіцієнт поглинання води, що змінюється щодо довжини хвилі λ ; τ_{on} – період часу затримки випромінювання.

На відміну від хірургічних лазерів, які мають велику потужність і здатні до руйнування тканин, терапевтичні лазери мають низьку потужність (1-20 мВт) і застосовуються для клітинної фотобіостимуляції, лікування та терапії, клінічні ефекти терапевтичного лазерного випромінювання несуть поліпшення загоєння ран, опорно-рухового апарату і різних запальних процесів. Однак одному з найбільш заплутаних аспектів лазерної терапії приділяється увага в десятках матеріалів, у яких спростовується будь-який ефект від НІЛТ.

Але існують міжнародні документи для регулювання впливу лазера довжиною від 180нм і 1400нм на органи зору та шкірний покрив для недопущення пагубних ефектів [22-24].

Тому використовуючи формулу для PIF важливо знати глибину проходження випромінювання.

У матеріалах [1] зазначається про величину енергії випромінювання безпосередньо в тканині, а не з тривалістю імпульсу, так як за однакових процедур спостерігалися вищі температури нагрівання темної шкіри, ніж світлої (діапазони 100-194°C проти 35-46°C).

Температурний розпад був надзвичайно повільним у світлій шкірі, досягаючи його початкового значення в понад 30 пацієнтів. Тривалість імпульсу була 12 мс із плямою діаметром 6 мм. Енергія була збільшена з мінімуму від 0,5 (щільність енергії 18 мДж / мм²) до максимуму 4,5 Дж (щільність енергії 159 мДж/мм²). Розглядаючи коефіцієнт поглинання лазера на довжині хвилі 1340 нм, були отримані такі значення PIF: PIF=650 [Дж/см³]² для максимальна енергія 4,5 Дж; PIF = 72 [Дж/см³]² при енергії 1,5 Дж; PIF = 30 [Дж/см³]² при 1 Дж та PIF = 8 [Дж/см³]² при 0,5 Дж.

Авторами [26] досліджено теплові ефекти і морфологічні зміни після діодного лазерного опромінення (810 нм) на кореневих каналів. Відповідно до даних досліджень, PIF = 146 [Дж/см³]², та незважаючи на це, термічні руйнування не спостерігалися, але слід пам'ятати, що за цих умов лазер безпосередньо взаємодіє з дентином і механізм тепла конверсії тепла безпосередньо залежить від складові тканини та опромінення. Коефіцієнт поглинання дентину є низьким для довжини хвилі 808 ± 5 нм, за якої виконувалися дослідження в цій роботі, отже, розсіювання переважає проти поглинання [2].

У моделі оптичного термопошкодження поверхні шкіри від лазерного впливу розглянутого в [27; 28], прогнозування впливу поєднується відповідно до експериментальних вимірювань

із довжиною хвилі лазера 2000 нм. Модель дозволила авторам створити залежність від довжини хвилі 2100 нм з тривалістю експозиції від 0,1 до 1 с і діаметром пучка 3,5 мм, із загальною кількістю енергії випромінювання для трьох діаметрів променя (4,83 мм, 9,65 мм і 14,65 мм) та чотирьох тривалостей експозиції (0,25 с, 0,5 с, 1 с і 2,5 с).

Автори [29] оцінили ефект лазерного неапаратного впливу на ультраструктуру суглобової капсули колагену. Проте лазерне випромінювання створювалося твердо тілним лазером із періодом 10 імпульсів/с. з імпульсами тривалістю 250 мкс і діаметром волокна 400 мкм.

Трансмісійна електронна мікроскопія показала значний ультраструктурний характер змін у колагеновій архітектурі для всієї групи лазерної терапії. Тому в цьому разі очікуване значення PIF складає більше 1 [Дж/см³]², дійсно, ми отримали.

Авторами [30] було розроблено новий спосіб стимулювання кохлеарних нейронів із використанням імпульсного інфрачервоного випромінювання, спираючись на гіпотезу про те, що оптичне випромінювання може забезпечити більше просторово-селективної стимуляції кохлея, ніж електричний струм. Вони знайшли докази того, що поглинання водою оптичного випромінювання є значним фактором оптичної стимуляції, для якої був застосований діодний лазер із довжиною інфрачервоного випромінювання приблизно від 1,92 до 1,94 мкм і тривалістю імпульсів від 5 до 300 м/сек, з частотою імпульсів 2 Гц та діаметром волокна 200 мкм. Вони оцінюють те, що миттєве підвищення температури пов'язане з кохлеарною нервою стимуляцією від лазерного впливу щільністю

5 мДж/см² та складає 0,15°C на дистальному кінці оптичного волокна і 0,08°C в нейронах.

Виходячи з цього, на думку [31], оптимальними параметрами для лікування шкірних уражень є розмір плями 2 мм і високий рівень щільності – 12 Дж/см² з імпульсом порядку 100нс, за якого значення PIF складає 2000 [Дж/см³]².

Також на особливу увагу заслуговують дослідження [32] з низькою потужністю випромінювання в інфрачервоній області, $\lambda=1043$ нм, де було виявлено те, що фемтосекундне лазерне лікування може значно підвищити доставку ДНК в шкіру і відновленні пухлин у мишей. Зокрема, вони виявили що в тих мишах, що отримували лазерне лікування з імпульсами по 500 фсек на довжині хвилі 1043 нм і частотою 200 кГц при потужності лазерної щільності 0,04 ГВт/см², генерувалася вища ефективність трансфекції порівняно з мишами, на яких здійснювався вплив різними щільностями потужності лазера. Ця потужність щільності лазера відповідає значенню енергії 2,6 мДж/пульс з розміром плями 4 мм. Значення PIFA у цьому разі дуже мале, складає приблизно $6 \cdot 10^{-13}$ [Дж/см³]².

Висновки. У статті були розглянуті механізми термічних ефектів взаємодії лазерного випромінювання з біологічними тканинами. Явища розсіювання світла в тканинах переважають над явищем поглинання. Також було розглянуто формулу визначення імпульсної щільності інтенсивності (PIF) у високоінтенсивній лазерній терапії. Значення PIF відрізняються від практичного застосування, що вимагає врахування типів пошкоджень, специфічності тканин, селективного підходу до лікування пошкоджень різноманітних тканин.

Список літератури:

1. D. Fedele, and F. Fusi, Thermal effects of NIR laser radiation in biological tissue: a brief survey. Energy for Health [06]. 2013.
2. Niemz M.H. laser-tissue interactions: fundamentals and applications. Springer, 1996.
3. Welch A.J., Van Gemert M.J. Optical thermal response of laser irradiated Tissue. Plenum Press, 1995.
4. Hammersley J.M., Handscomb Dc. Monte Carlo Methods. london: Methuen, 1964.
5. Тимчик Г.С., Терещенко М.Ф., Печена М.Р. Моніторинг зміни температур при лазерній терапії. Вісник НТУУ «КПІ». Серія ПРИЛАДОБУДУВАННЯ. – 2014. – Вип. 47(1).
6. Jiao J, Guo Z. Thermal interaction of short-pulsed laser focused beams with skin tissues. Phys. Med. Biol, 2009, 54: 4225-4241.
7. Jaunich M., Raje S., Kim K., Mitra K., Guo Z. Bio-heat transfer analysis during short pulse laser irradiation of tissues. int. J. Heat Mass Transf, 2008, 51: 5511- 5521.
8. Schuele G., Rumohr M., Huettmann G., Brinkmann R. Pre Damage Thresholds and Mechanisms for laser exposure in the Microsecond-to-Millisecond Time regimen. IOVS. 2005 46 2.
9. Xua F., Wena T., Lub T. J., Seffena K. A. Skin biothermomechanics for medical treatments. J. Mech. Behav. Biomed.Mater, 2008, 172-187.
10. Dua R., Chakraborty S. A. Novel modeling and simulation of photo-thermal interactions between lasers and living biological tissues undergoing multiple changes in phase. comput. Biol. Med, 2005, 35: 447-462.

11. Guan K-W, Jiang Y-Q, Sun C-S, Yu H. A two-layer model of laser interaction with skin: a photothermal effect analysis. *Optics & laser Technology*, 2010. Doi: 10.1016 / j.optlastec.2009.12.007.
12. Barun V.V., Ianov A.P. Thermal action of a short light pulse on biological tissues. *int. J. Heat Mass Transf*, 2003, 46: 3243-3254.
13. Zhou J., Zhang Y., Chen JK. An axisymmetric dual-phase-lag bioheat model for laser heating of living tissues. *int. J. Therm. Sci*, 2009, 48: 1477-1485.
14. Fanjul-Vélez F., Romanov G., Arce- Diego JI. Efficient 3D numerical approach for temperature prediction in laser irradiated biological tissues. *comput. Biol. Med*, 2009, 39: 810-817.
15. Mahjoob S., Vafai K. Analytical characterization of heat transport through biological media incorporating hyperthermia treatment. *int. J. Heat Mass Transf*, 2009, 52:1608–1618.
16. Tung M.M., Trujillo M., Molina Jal, rivera MJ, Berjano eJ. Modeling the heating of biological tissue based on the hyperbolic heat transfer equation. *Math. comput. Model*, 2009, 50: 665–672.
17. Zhou J, Chen JK, Zhang Y. Dual-phase lag effects on thermal damage to biological tissues caused by laser irradiation. *comput. Biol. Med*, 2009, 39: 286-293.
18. Xu F, Seffen KA, Lu TJ. Non-Fourier analysis of skin biothermomechanics. *int. J. Heat Mass Transf*, 2008, 51: 2237– 2259.
19. Roggan A., Ritz J-P, Knappe V et al. Radiation Planning for Thermal laser Treatment. *Med. laser appl*, 2001, 16: 65–72.
20. Xu F., Lin M., Lu T. J. Modeling skin thermal pain sensation: role of non-fourier thermal behavior in transduction process of nociceptor. *comput. Biol. Med*, 2010, 40: 478–486.
21. Fortuna D, Masotti L. The hilt domain by the pulse intensity ffuence (pif) formula. *Energy for Health*. Vol. 05.
22. ICNIRP. Guidelines on limits of exposure to laser radiation of wave lengths between 180 nm and 1.0 μm. *Health Phys*. 1996 71 5: 803-819.
23. ICNRPP. Revision of guidelines on limits of exposure to laser radiation of wave lengths between 400 nm and 1.4 μm. *Health Phys*. 2000 79 4: 431-440.
24. ICNIRP. Icnirp Statement on far infrared radiation exposure. *Health Phys*. 2006 91 6: 630-645.
25. Leandri M, Saturno M, Spadavecchia L. Measurement of skin temperature after infrared laser stimulation. *Neurophysiol. Clin*. 2006 36: 207–218.
26. Da Costa Ribeiro A, Nogueira G, Antoniazzi J. H. et al. effects of Diode laser (810 nm) irradiation on root canal walls: Thermographic and Morphological Studies. *Joe*. 2007.
27. Chen B., Thomsen S. L., Thomas R. J., Welch A. J. Modeling thermal damage in skin from 2000-nm laser irradiation. *J. Biomed. Opt*. 2006 11 6.
28. Chen B., O'Dell D. C., Thomsen S. Porcine Skin eD 50 Damage Thresholds for 2000 nm laser irradiation. *Lasers Surg. Med*. 2005 37: 373-381.
29. Hayashi K., Thabit G., Bogdanske J. The effect of Nonablative laser energy on the Ultrastructure of Joint capsular collagen. *arthroscopy*. 1996 12 4: 474-481.
30. Izzo A. D., Walsh Jr. J. T., ralph H et al. laser Stimulation of auditory Neurons: effect of Shorter Pulse Duration and Penetration Depth. *Biophys. J*. 2008 94: 3159–3166.
31. Lask G. I. and Glassberg E. Neodymium:Yttrium-aluminum-Garnet laser for the Treatment of cut a neows lesions. *clin. Dermatol*..2015 13: 81-86.
32. Tsen S-W D., Wu C-Y, Meneshian A. Femtosecond laser treatment enhances DNa transfection efficiency in vivo. *J. Biomed. Sci*. 2009, 16-36.

МЕХАНИЗМЫ ЛАЗЕРНОГО ТЕРМИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С БИОЛОГИЧЕСКОЙ ТКАНЬЮ

В статье рассматривается влияние излучения на ткани и описание тепловых эффектов. Выясняется методика использования формулы расчета влияния интенсивности пульсации и расчета параметров лазеров, используемых в терапевтических целях. Рассматриваются параметры лазеров, используемых в некоторых медицинских лазерных приборах для сравнения значений интенсивности пульсаций при высокой интенсивности, низко интенсивной лазерной терапии и их отличиями от непрерывной волны лазера.

Ключевые слова: *лазеро-тканевое взаимодействие, тепловые эффекты, импульсная плотность лазера, лазерная терапия, световые эффекты, биостимуляция.*

LASER THERMAL INTERACTION MECHANISMS WITH BIOLOGICAL TISSUES

In this article the influence of radiation on tissue and the description of thermal effects have been considered. The technique of using the formula for calculating the influence of the pulsation intensity and calculating the parameters of the lasers used for therapeutic purposes is determined. Also there are considered parameters of lasers used in some medical laser devices for comparison of values of intensity of pulsations at highly intensive, low intensity laser therapy and their differences from the continuous laser wave.

Key words: *laser-tissue interaction, thermal effects, pulsed laser density, laser therapy, light effects, biostimulation.*

РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

УДК 621.396

Максимюк Т.А.

Національний університет «Львівська політехніка»

Думич С.С.

Національний університет «Львівська політехніка»

Брич М.В.

Національний університет «Львівська політехніка»

Яремко О.М.

Національний університет «Львівська політехніка»

МЕТОД АДАПТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ НЕЛІЦЕНЗІЙНИХ РАДІОЧАСТОТНИХ РЕСУРСІВ ОПЕРАТОРАМИ МЕРЕЖ LTE

У статті запропоновано новий метод адаптивного використання радіочастотних ресурсів неліцензійного діапазону. Основною новизною запропонованого методу є те, що він дає змогу ефективно використовувати неліцензійний радіочастотний ресурс одночасно кількома операторами LTE. Це досягається шляхом використання комбінованої моделі на основі кооперативної теорії ігор та ланцюгів Маркова. Запропонована модель оцінює необхідний обсяг радіочастотних ресурсів для кожного оператора шляхом розрахунку їх внеску в загальний виграв на основі значень вектора Шеплі. Ця властивість виключає егоїстичну поведінку операторів та стимулює їх справедливо використовувати неліцензійний частотний діапазон. Результати моделювання показують, що оператори досягають кращої продуктивності з використанням запропонованого методу, порівняно з традиційними методами розподілу спектру.

Ключові слова: мережі мобільного зв'язку 5G, LTE-Unlicensed, адаптивне використання спектру, кооперативна теорія ігор, вектор Шеплі.

Постановка проблеми. Стрімкий розвиток технологій зумовлює зростання обчислювальних можливостей кінцевих пристроїв абонентського доступу, стимулюючи цим появу нових видів послуг у мережах мобільного зв'язку, які не були можливими раніше. Це призводить до значного зростання вимог до пропускної здатності мереж мобільного зв'язку. Тому розвиток мереж мобільного зв'язку четвертого та п'ятого покоління є важливим завданням в Україні та світі. Особливості розподілу радіочастотного ресурсу в Україні призвели до нестачі вільних частотних ресурсів для ефективного впровадження мереж стандарту LTE та їх подальшої модернізації до мереж п'ятого покоління (5G). Таким чином, постає завдання пошуку нових методів розгортання мереж LTE,

зокрема в неліцензійних частотних діапазонах, а також розроблення адаптивних методів управління, які б забезпечили належне функціонування мереж LTE в умовах нестачі радіочастотного ресурсу.

Аналіз напрацювань вітчизняних та зарубіжних учених указує на те, що проблема розгортання гетерогенних мереж мобільного зв'язку четвертого та п'ятого покоління в Україні та за її межами, може бути вирішена застосуванням наукових засад розгортання мереж LTE в неліцензійному діапазоні [1], нових методів управління радіочастотними ресурсами в ліцензійному та неліцензійному діапазонах [2] та алгоритмів координації інтерференційних завад між LTE операторами та локальними мережами Wi-Fi [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ключовими факторами, які впливають на інформаційну ємність мереж мобільного зв'язку, є кількість базових станцій, доступні ресурси спектру та спектральна ефективність каналів безпроводного зв'язку. Ці фактори узагальнюються класичним Шеннонівським рівнянням [4]:

$$C = \frac{W}{n} \log_2 \left(1 + \frac{S}{I + N} \right), \quad (1)$$

де W – смуга пропускання базової станції, n – коефіцієнт завантаженості базової станції (позначає кількість користувачів, що обслуговуються цією базовою станцією), S – потужність сигналу, I та N – потужності інтерференційних завад та адитивного білого гаусівського шуму відповідно.

Смуга пропускання каналу базової станції W може бути розширена за рахунок додаткового використання неліцензійного спектру, що призводить до лінійного підвищення пропускної здатності мережі за умови, що всі інші значення у формулі (1) є константами. Проте впровадження більшої кількості базових станцій, дає змогу знизити коефіцієнт завантаженості n , за умови рівномірного розподілу абонентського трафіку між усіма базовими станціями. На рис. 1. представлено класифікацію вимог та потенційних технічних рішень для комплексного підвищення ефективності функціонування гетерогенної мережі мобільного зв'язку.

Вищезгадані чинники підвищення інформаційної ємності безпроводних мереж можуть бути узагальнені в межах концепції ущільнення мережі. Ущільнення безпроводної мережі є комбінацією просторового (зниження коефіцієнта заванта-

женості n) та спектрального ущільнення (збільшення спектральної смуги W). Просторове ущільнення здійснюється шляхом збільшення кількості базових станцій у заданій зоні обслуговування при забезпеченні приблизно рівномірного розподілу абонентів між ними [5]. Спектральне ущільнення передбачає агрегацію частотних смуг з усіх можливих діапазонів, починаючи від 500 МГц до 300 ГГц.

Згідно з аналізом радіочастотного розподілу, в Україні найперспективнішим для спектрального ущільнення є неліцензійний діапазон 5170-5850 МГц. Цей радіочастотний діапазон характеризується достатньою дальністю поширення сигналу для забезпечення мінімальних вимог до покриття малих комірок за потужності передавання до 100 мВт, яка встановлена регулятивними органами. Це підтверджуються ефективним функціонуванням локальних безпроводних мереж Wi-Fi у тому ж частотному діапазоні.

У низці робіт було проведено дослідження взаємних інтерференційних завад між мережами Wi-Fi та LTE у неліцензійному частотному діапазоні 5 ГГц. У роботі [6] авторами було доведено, що мережі Wi-Fi практично не впливають на мережі LTE, хоча мережі LTE створюють значний рівень інтерференційних завад для мереж Wi-Fi. Це пояснюється відмінністю у протоколах доступу до середовища між двома технологіями. У мережах LTE використовується часове розділення абонентів у межах одного часового фрейму, щоб уникнути інтерференції між ними. Процес передавання даних у самій мережі ніколи не зупиняється. Wi-Fi використовує множинний доступ

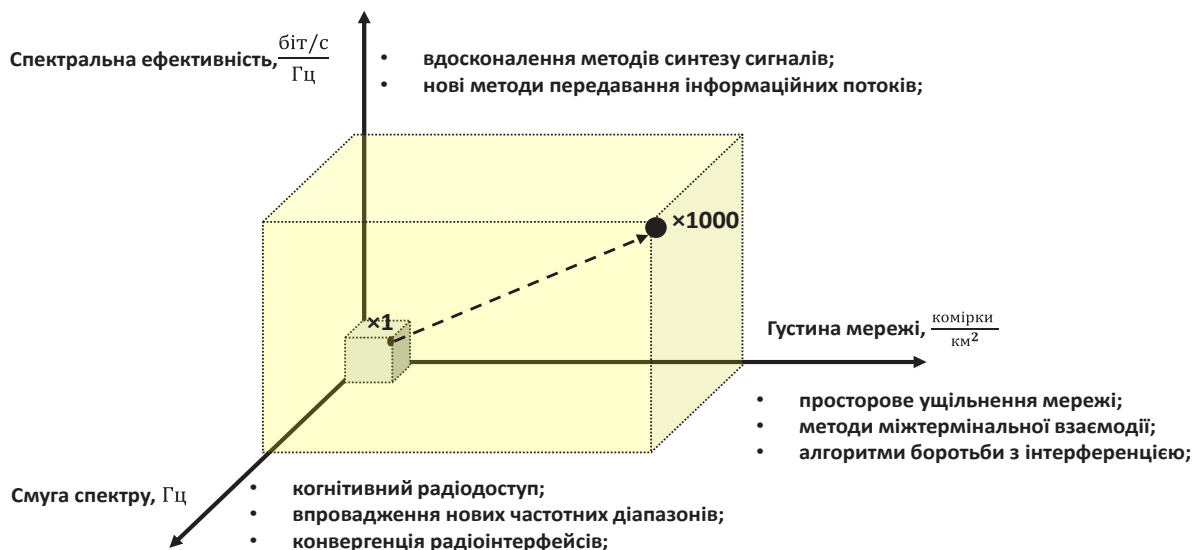


Рис. 1. Класифікація вимог та потенційних технічних рішень для мереж мобільного зв'язку 5G

з прослуховуванням середовища та уникненням колізій. Таким чином, Wi-Fi не буде передавати дані до тих пір, доки в каналі будуть присутні сигнали LTE, а останній буде передавати дані, незважаючи на наявність інших мереж неподалік. Відповідно до цього, при одночасному функціонуванні двох мереж, LTE буде постійно займати частотний канал, тоді як Wi-Fi буде більшість часу знаходитись у режимі очікування.

В іншій роботі було проведено моделювання характеристик співіснування мереж LTE та Wi-Fi при різних смугах каналу [7]. Результати показали, що при функціонуванні мережі LTE в смузі 3-5 МГц вплив на мережі Wi-Fi є значним. Проте, якщо LTE функціонує у смузі 1.4 МГц, із розташуванням центральної несучої у зоні захисного інтервалу Wi-Fi, вплив на мережі Wi-Fi є мінімальним.

Альтернативним варіантом забезпечення співіснування двох технологій у спільному частотному діапазоні є технологія LAA (Licensed Assisted Access) [8]. Ця технологія використовує режим призупинення процесу передавання в мережі LTE на певний проміжок часу, щоб дати змогу сусіднім мережам Wi-Fi здійснити прослуховування каналу і передати дані. Співвідношення періодів передавання і простою для LTE визначається на основі співвідношення кількості активних точок доступу обох технологій у поточній зоні покриття. На рис. 2 представлено порівняння методів доступу

до середовища на каналному рівні для технологій Wi-Fi та LTE/LAA.

Враховуючи динаміку зміни інтенсивності навантаження у гетерогенних мережах мобільного зв'язку, постійне зайняття неліцензійного спектру операторами LTE є необґрунтованим. Особливо актуальним це питання постає за умов наявності кількох конкуруючих операторів LTE, які прагнуть використовувати ресурси неліцензійного частотного діапазону для обслуговування своїх абонентів.

Модель спільного використання неліцензійних радіочастотних ресурсів операторами LTE. Для аналітичного опису вирішуваної проблеми пропонується модель спільного використання радіочастотних ресурсів неліцензійного діапазону, яка враховує поточні потреби операторів у додаткових радіочастотних ресурсах. Ця модель поєднує елементи теорії ігор та ланцюгів Маркова для відображення як детермінованої, так і стохастичної природи досліджуваної гетерогенної мережі мобільного зв'язку [9]. Модель використовує двовимірний ланцюг Маркова зі станами (i, j) , у якому перший індекс відповідає за ігрову стратегію оператора зв'язку, яка є детермінованою, а другий – відображає поточне використання ресурсів оператора у неліцензійному частотному діапазоні (рис. 3). Ураховуючи непередбачувану поведінку абонента в мережі, це значення є випадковим.

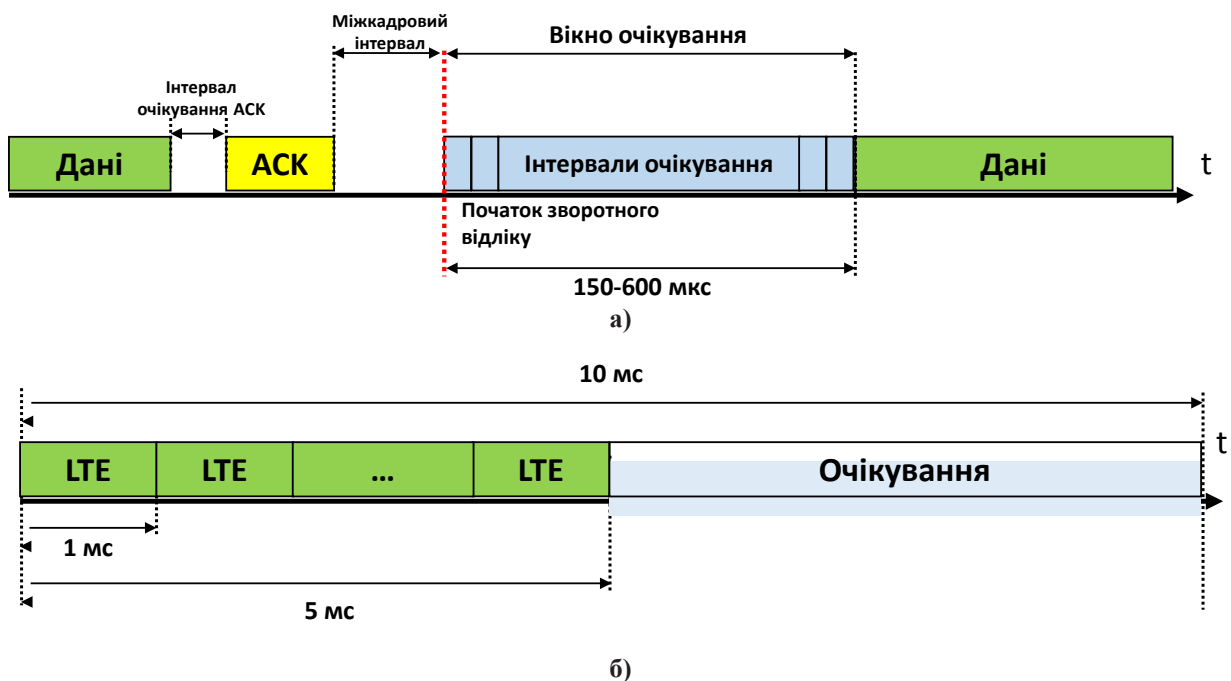


Рис. 2. Порівняння методу випадкового доступу у мережах Wi-Fi а) та методу доступу в мережах LTE/LAA – б)

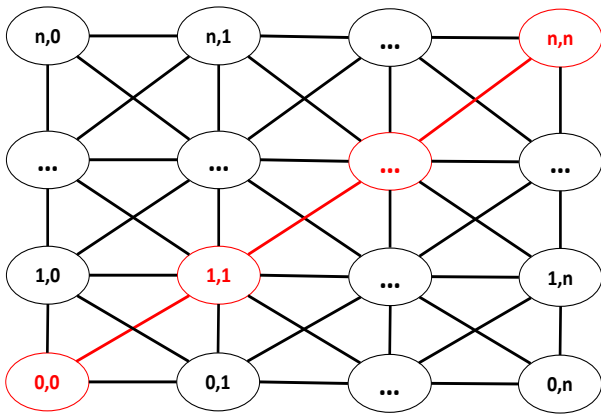


Рис. 3. Модель ігрового поля на основі ланцюга Маркова для спільного використання радіочастотних ресурсів неліцензійного діапазону

Кожен фіксований стан Марківського ланцюга відображає унікальне значення виграшу оператора, яке визначається на основі співвідношення двох індексів:

- вертикальний індекс визначає значення кількості радіочастотних каналів, які резервуються оператором у неліцензійному діапазоні;

- горизонтальний індекс визначає випадкове значення кількості радіочастотних каналів неліцензійного діапазону, які були використані абонентами мобільного зв'язку протягом останнього кадру.

Відповідно до цього, ігрове поле у запропонованій моделі формується у вигляді квадратної сітки з розмірністю $[n \times n]$, де n – кількість доступних радіочастотних каналів оператора в неліцензійному частотному діапазоні.

Матриця переходів горизонтальних станів у запропонованій моделі визначається як матриця випадкових величин, ймовірність появи яких залежить лише від поточного стану і не залежить від попередніх станів:

$$T_H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \dots & h_{1n} \\ h_{21} & h_{22} & \dots & h_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ h_{n1} & h_{n2} & \dots & h_{nn} \end{bmatrix}, \begin{cases} h_{11} \geq h_{12} \geq h_{13} \geq \dots \geq h_{1n} \\ h_{11} \geq h_{21} \geq h_{31} \geq \dots \geq h_{n1} \\ h_{zk} = h_{kz}, \forall z, k \end{cases} \quad (2)$$

де h_{zk} – ймовірність переходу $S(i, z) \rightarrow S(i, k)$. Додаткові умови у виразі (2) вказують на те, що ймовірність переходу до сусіднього стану завжди є вищою від ймовірності переходів до наступних станів ланцюга Маркова, незалежно від напрямку переходу. Матриця переходів вертикальних станів записується так:

$$T_V = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{n1} & v_{n2} & \dots & v_{nn} \end{bmatrix}, v_{zk} = P(S_t(i, k) | S_{t-1}(i, z)), \forall i, \quad (3)$$

де v_{zk} – ймовірність переходу стратегії оператора у неліцензійному частотному діапазоні $S(z, j) \rightarrow S(k, j)$.

Метод адаптивного виділення радіочастотних ресурсів неліцензійного діапазону операторам LTE. Для моделювання процесу спільного використання неліцензійних радіочастотних ресурсів між кількома операторами LTE запропоновано кооперативну ігрову модель із повною інформацією та адаптацією виграшів. На основі цієї моделі пропонується метод адаптивного виділення радіочастотних ресурсів операторам LTE. Вхідними даними для методу є сумарний обсяг неліцензійних радіочастотних ресурсів для усіх операторів W та значення вектора Шеплі ψ_k . Значення вектора Шеплі показують частку кожного оператора у загальному виграші усіх операторів [10]. На основі цієї величини визначається частка неліцензійного радіочастотного ресурсу, яка була використана оператором для обслуговування абонентів:

$$\psi_k(M, U) = \frac{1}{M!} \sum_{S \subseteq M \sim \{k\}} S! [U(S \cup \{k\}) - U(S)], \quad (4)$$

де M – кількість мобільних операторів, U – сумарний усереднений виграш усіх операторів.

Значення Шеплі є однаковими для всіх операторів:

$$\psi_k = \frac{1}{M}, \forall k. \quad (5)$$

Відповідно до цього, ширина смуги радіочастот для кожного оператора розраховується відповідно до нижчезазначеного виразу:

$$\omega_k = W \psi_k, \forall k. \quad (6)$$

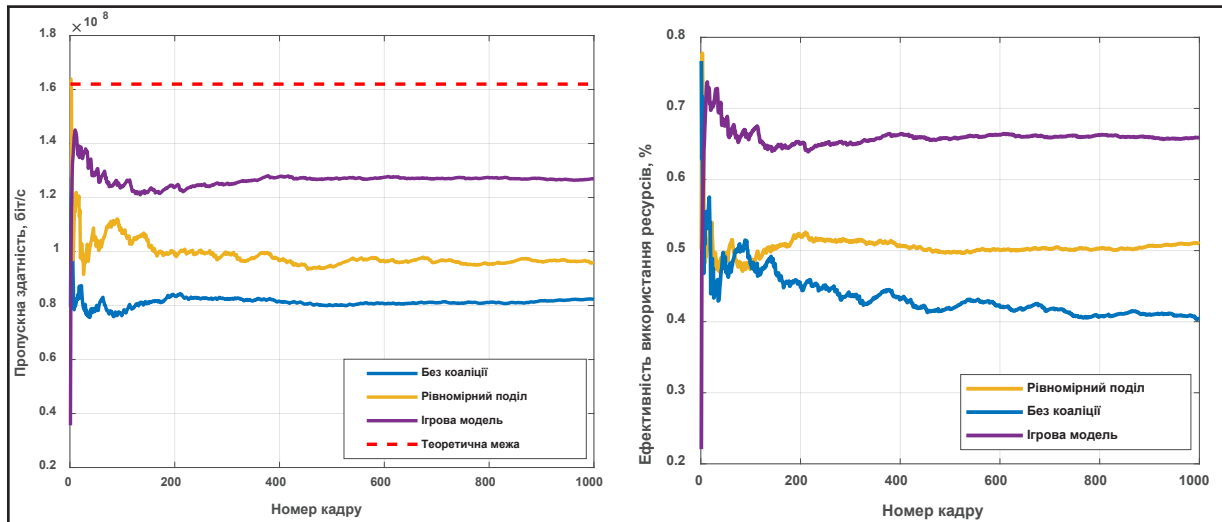
Індивідуальний виграш кожного оператора розраховується так:

$$U_k = \frac{1}{C_k} \sum_i R_i u_i, i \in \{1, n_k\}, k \in \{1, 2, 3\}, u_i \in \{0, 1\}, \quad (7)$$

де C_k – максимальна можлива пропускна здатність для заданої частотної смуги w_k , P_i – реальна пропускна здатність i -го користувача, n_k – кількість користувачів оператора k .

Після цього індивідуальні виграші усіх операторів усереднюються для розрахунку нових значень Шеплі на основі виразу (4), тому цикл повторюється спочатку.

Моделювання мережі мобільного зв'язку для порівняння ефективності різних методів розподілу радіочастотних ресурсів неліцензійного діапазону між операторами LTE. Для визначення ефективності запропонованого методу проведено моделювання гетерогенної мережі в умовах спільного використання радіочастотних ресурсів неліцензійного діапазону трьома опера-



а) та ефектності використання радіочастотних ресурсів; б) при різних моделях спільного використання ресурсів

Рис. 4. Результати пропускної здатності та ефектності використання радіочастотних ресурсів; б) при різних моделях спільного використання ресурсів

торами LTE. Для порівняння використовуються характеристики середньої пропускної здатності усіх абонентів LTE та усередненого коефіцієнта використання радіочастотних ресурсів неліцензійного діапазону. Моделювання проводилось для трьох випадків спільного використання частотних ресурсів: без контролю розподілу, з рівномірним розподілом та з методом адаптивного розподілу на основі кооперативної ігрової моделі. Порівняльні характеристики результатів моделювання представлені на рис. 4.

Як показують отримані результати, за відсутності контролю за використанням радіочастотних ресурсів операторами LTE, ефективність їх використання не перевищує 40% (рис. 4.б), що призводить до вдвічі нижчої середньої пропускної здатності на абонента від теоретичного максимуму (рис. 4.а). Рівномірний розподіл спектра між операторами дає змогу уникнути інтерференційних завад, що позитивно впливає на коефіцієнт використання спектра та пропускну здатність. Навіть у такому випадку коефіцієнт використання радіочастотних ресурсів не перевищує 50% (рис. 4.б), а середня пропускна здатність абонентів становить лише 100 Мбіт/с, при теоретичному максимумі у 160 Мбіт/с (рис. 4.а). Це пояснюється тим, що активність абонентів різних операторів є різною, що призводить до значного розкиду значень. Менш завантажені оператори мають змогу забез-

печити значно вищі пропускні здатності для своїх абонентів. При використанні методу адаптивного розподілу радіочастотних ресурсів, урахується фактор завантаженості кожного оператора, що дає змогу забезпечити коефіцієнт використання ресурсів на рівні 65% (рис. 4.б) та підвищити середню пропускну здатність на абонента до 130 Мбіт/с (рис. 4.а).

Висновки. У статті вирішено завдання спільного використання радіочастотних ресурсів при розгортанні мереж LTE кількома операторами мобільного зв'язку в неліцензійному частотному діапазоні. Для цього запропоновано модель спільного використання радіочастотних ресурсів кількома операторами мобільного зв'язку на основі теорії ігор та ланцюгів Маркова. На основі цієї моделі розроблено метод адаптивного розподілу ресурсів між операторами LTE, який враховує поточний стан їх завантаженості, що дало можливість підвищити ефективність використання радіочастотних ресурсів на 25% при збільшенні середньої пропускної здатності абонентів на 65%. Подальші дослідження в цьому напрямі повинні бути спрямовані на удосконалення методів взаємодії операторів мереж LTE та операторів мереж Wi-Fi з метою розгортання конвергентної інфраструктури мереж 5G та максимізації коефіцієнта використання радіочастотних ресурсів як ліцензійного, так і неліцензійного діапазонів.

Список літератури:

1. Maksymyuk T., Kyryk M., Jo M. Comprehensive Spectrum Management for Heterogeneous Networks in LTE-U. *IEEE Wireless Communications*. 2016. Vol. 23, № 6. P. 8-15.
2. Mueck M., Jiang W. Novel Spectrum Usage Paradigms for 5G. White Paper. USA: IEEE TCCN SIG CR in 5G. 2014. 77 p.
3. Maksymyuk T., Brych M., Klymash M., Jo M. Cooperative channels allocation in unlicensed spectrum for D2D assisted 5G cellular network. *IEEE Advanced Information and Communication Technologies (AICT'2017): proceedings of international conference*. (Lviv, Ukraine, 1-4 July 2017). Lviv, 2017. P. 197-200.
4. Bhushan N., Junyi Li, Malladi D. et al. Network densification: the dominant theme for wireless evolution into 5G. *IEEE Communications Magazine*. 2014. Vol. 52. № 2. P. 82-89.
5. Maksymyuk T., Brych M., Strykhalyuk I., Jo M. Fractal Modeling for Multi-Tier Heterogeneous Networks with Ultra-High Capacity Demands. *Smart Computing Review*. 2015. Vol. 5. №4. P. 346-355.
6. Zhang H. Chu X., Guo W., Wang S. Coexistence of Wi-Fi and Heterogeneous Small Cell Networks Sharing Unlicensed Spectrum. *IEEE Communications Magazine*. 2015. Vol. 53. № 3. P. 158-164.
7. Cavalcante A., Almeida E., Vieira R., Chaves F., Paiva R., Abinader F., Choudhury S., Tuomaala E., Doppler K. Performance evaluation of LTE and Wi-Fi coexistence in unlicensed bands. *IEEE 77th Vehicular Technology Conference (VTC Spring'2013): proceedings of international conference*. (Dresden, Germany, 2-5 June 2013). Dresden, 2013. P. 1-6.
8. Jian Y., Shih C. F., Krishnaswamy B., Sivakumar R. Coexistence of Wi-Fi and LAA-LTE: Experimental evaluation, analysis and insights. *IEEE International Conference on Communication Workshop (ICCW'2015): proceedings of international conference*. (London, UK, 8-12 June 2015). London, 2015. P. 2325-2331.
9. Maksymyuk T., Brych M., Klymash Y., Kyryk M., Klymash M. Game Theoretical Framework for Multi-Operator Spectrum Sharing in 5G Heterogeneous Networks. *IEEE Problems of Infocommunications. Science and Technology (IEEE PIC S&T 2017): proceedings of international conference*. (Kharkiv, Ukraine, 10-13 October 2017). Kharkiv, 2017. P. 515-518
10. Shorrocks A. Decomposition procedures for distributional analysis: a unified framework based on the Shapley value. *Journal of Economic Inequality*. Springer. 2013. Vol. 11. № 1. P. 99-126.

МЕТОД АДАПТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЛИЦЕНЗИОННОГО РАДИОЧАСТОТНОГО РЕСУРСА ОПЕРАТОРАМИ LTE

В данной статье предложен новый метод адаптивного использования радиочастотных ресурсов нелицензионного диапазона. Основной новизной предложенного метода является то, что он позволяет эффективно использовать нелицензионный радиочастотный ресурс одновременно несколькими операторами LTE. Это достигается путем использования комбинированной модели на основе кооперативной теории игр и цепей Маркова. Предложенная модель оценивает необходимый объем радиочастотных ресурсов для каждого оператора путем расчета их вклада в общий выигрыш на основе значений вектора Шепли. Данное свойство исключает эгоистичное поведение операторов и стимулирует их справедливо использовать нелицензионный частотный диапазон. Результаты моделирования показывают, что операторы достигают лучшей производительности с использованием предложенного метода, по сравнению с традиционными методами распределения спектра.

Ключевые слова: сети мобильной связи 5G, LTE-Unlicensed, адаптивное использование спектра, кооперативная теория игр, вектор Шепли.

METHOD OF ADAPTIVE UTILIZATION OF UNLICENSED RADIO RESOURCES BY MULTIPLE LTE NETWORK OPERATORS

In this paper, a new method of adaptive utilization of unlicensed spectrum is proposed. The key novelty of the proposed method is that it allows the effective utilization of unlicensed spectrum by multiple mobile network operators. This is achieved by using the combined model based on cooperative game theory and Markov chain. Proposed model estimates the amount of spectrum needed by each mobile network operator by calculation of their contribution to the aggregated payoff based on the Shapley value. This feature prevents operators from selfish behavior and forces them to fairly utilize the unlicensed band. Simulation results show that all competing operators achieve better performance with the proposed method, comparing to conventional spectrum sharing solutions.

Key words: 5G mobile networks, LTE-Unlicensed, adaptive spectrum utilization, cooperative game theory, Shapley value.

Мацуї А.М.

Центральноукраїнський національний технічний університет

Кондратець В.О.

Центральноукраїнський національний технічний університет

РАДІОКАНАЛ ДЛЯ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ З ОБЕРТОВИХ ЧАСТИН АГРЕГАТИВ НА НЕРУХОМІ

Обґрунтовано структуру радіоканалу для передачі інформації з оберткових частин агрегатів на нерухомі. Радіоканал включає автогенератор, амплітудний модулятор, підсилювач потужності, передавальну антену, приймальну антену, вхідний ланцюг, підсилювач високої частоти, підсилювач проміжної частоти, діодний детектор, підсилювач низької частоти та кінцевий пристрій. У процесі багатокритеріальної оптимізації доведено, що всі функціональні вузли радіоканалу можуть якісно пропускати сигнали. Детектору таких властивостей надати не вдалося. Це є вадою радіоканалу. Однак під час випробування підтверджено, що він якісно пропускає гармонічні сигнали частотою від 50 до 250 Гц. Амплітудні, частотні показники і форма сигналів передаються через радіоканал з достатньою точністю.

***Ключові слова:** радіоканал, оберткові частини, нерухомі частини, точність, викривлення сигналів.*

Постановка проблеми. Основною продукцією металургійної галузі України є концентрат, отриманий із бідних залізних руд. Унаслідок перевитрачання електроенергії та матеріалів в процесах подрібнення руди в кульових млинах, особливо в перших стадіях, собівартість концентрату вища порівняно із закордонними аналогами, що знижує конкурентоспроможність продукції чорної металургії на світовому ринку. Одним із важливих напрямків зниження собівартості магнетитових концентратів є автоматизація процесів подрібнення руди в кульових млинах, зокрема, в перших стадіях, яка стримується відсутністю достатньо точних і надійних засобів передачі інформації з оберткових частин агрегатів на нерухомі. Дана стаття пов'язана з розв'язанням цієї задачі і виконанням досліджень за темою «Оптимізація продуктивності кульових млинів по руді і готовому продукту при мінімальних енергетичних і матеріальних перевитратах» (0115U003942), яка входить до плану наукової тематики Центральноукраїнського національного технічного університету. Тому її тема є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У практиці гірничо-збагачувальної галузі давно використовуються акустичні і вібраційні канали передачі інформації, однак вони вузькоспеціалізовані і можуть передавати лише сигнали, які

виникають безпосередньо при роботі агрегатів. Оптичні канали є більш уніфікованими, можуть передавати сигнали, які формуються окремими перетворювачами, однак не отримали розповсюдження на оберткових об'єктах в наслідок того, що інформація передається лише по прямій, заважає тремтіння променя та інші фактори. У роботі [1] М.М. Іващенко відмічає перспективність радіотехнічних систем для використання в якості засобів зв'язку з промисловими об'єктами. Для дальнього зв'язку використовують звичайні радіотехнічні системи [2; 3]. Прикладом використання радіотехнічної системи для передачі інформації з оберткової частини агрегату на нерухому є пристрій [4], який пройшов перевірку у виробничих умовах. У безпроводних технологіях, описаних в [5], використовується радіоканал, але тут описані лише дослідження і самому радіоканалу увага практично не приділяється. В авторському свідоцтві [6] також вказується лише те, що передавач встановлено на обертковій частині, а приймач – на нерухомій. Усі розглянуті засоби працюють на різних частотах, їх структура і особливості не враховувалися. Тому неможливо стверджувати достовірність переданої інформації. Більш широке використання радіоканалів для передачі інформації в промислових умовах потребує обґрунтування їх струк-

тури, особливостей окремих функціональних вузлів та оптимізації засобу в цілому.

Постановка завдання. Метою публікації є обґрунтування структури, особливостей окремих вузлів та функціональна оптимізація радіоканалу в цілому з забезпеченням необхідної точності передачі сигналів.

Виклад основного матеріалу. Враховуючи особливості умов і обертових агрегатів, радіоканал доцільно будувати відповідно блок-схемі, розглянутій в [7]. Дія вимірювального середовища сприймається перетворювачем технологічного параметра, який формує сигнал, що змінює режим модулятора, який у підсилювачі потужності формує сигнал високочастотних коливань автогенератора. Підсилювач забезпечує потужність, яка антеною перетворюється у радіохвилю, що долає простір і надходить на антену, а потім на вхідний ланцюг приймача. Підсилений високочастотним підсилювачем сигнал демодулюється детектором і подається на вхід підсилювача низької частоти, на виході якого формується вихідна величина, що відповідає технологічному параметру.

Аналіз показує, що радіоканал повинен пропускати сигнали, які являють собою гармонічну півхвилю, та гармонічні процеси, частота яких знаходиться в межах від 50 до 250 Гц. Переважно частоти знаходяться в межах 50...80 Гц, інколи – в зовсім вузькому діапазоні 63,7...66,9 Гц. Тривалість півхвиль коливань здебільшого складає 7,5 мс. Як відомо, передавання сигналів у цій смузі частот у радіотехніці є достатньо складною задачею.

Основною вимогою до радіоканалу є точність передачі інформації. Створення радіоканалу для таких умов є багатоваріантною задачею, для розв'язання якої не існує готових рішень.

Аналіз показує, що радіоканал можливо подати як багатостадійний функціональний процес, тому для його оптимізації найкраще підходить метод динамічного програмування. Оптимізація буде статичною. При цьому задача оптимізації вирішується на кожній стадії – функціональному вузлі радіоканалу одним з методів, а загальний критерій оптимізації описується адитивною функцією критеріїв оптимальності окремих стадій. Оскільки загальний критерій оптимальності радіоканалу дорівнює сумі частинних критеріїв оптимальності, то в кожному вузлі, який являє собою стадію процесу, необхідно забезпечити найкраще значення обраного показника. Управляючими діями при оптимізації пристрою виступають різновиди технічних рішень функціональних

вузлів. Аналіз показує, що дана задача є багато-критеріальною. Такі задачі розв'язують кількома підходами. Розповсюдженим, але не зовсім ефективним, є метод складання функції від усіх показників і розгляд її як одного «узагальненого» показника, за яким і оптимізується розв'язання. Розповсюдженим також є спосіб складання «узагальненого показника ефективності», який являє собою «зважену суму» частинних показників, в якій кожен з них входить з певною «вагою», що відображає його важливість. Більш ефективними є методи виділення паретовських розв'язків, перетворення показників в обмеження та метод послідовних поступлень. Аналіз показав, що для розв'язання даної задачі найбільш доцільно застосувати метод перетворення показників в обмеження. В якості критеріїв оптимальності тут можливо розглядати точність передачі інформації J_T , розуміючи під цим амплітуду, частоту і форму сигналу, мінімальні значення викривлень корисного сигналу J_B , максимальну простоту J_P і мінімальну споживану потужність $J_{СП}$. Головним показником тут є J_T і йому треба надати максимум, на інші J_B , J_P і $J_{СП}$ необхідно накласти деякі обмеження, щоб вони були не більшими певного значення. Якщо достатня точність перетворення сигналу досягається, то частинний критерій J_{Ti} в даній стадії дорівнює 1. Якщо це відбувається в усіх стадіях, то результуючий критерій $J_T = \sum_{i=1}^n J_{Ti}$. Результуючий критерій повинен дорівнювати $J_T \rightarrow \max = n$.

У процесі реалізації радіоканалу перш за все необхідно розв'язати питання з видом модуляції. Враховуючи особливості всіх видів модуляції і те, що радіоканал у даних умовах повинен бути порівняно простим, добре використовувати частотний діапазон унаслідок великої кількості близько розташованих обертових агрегатів, а також те, що передавачі використовуються занадто малої потужності, коливання модулюються в основному короткими сигналами, доцільно прийняти амплітудну модуляцію.

Слід мати на увазі, що під час амплітудної модуляції ширина спектра коливань, яку враховують при виборі смуги пропускання підсилювальних каскадів як в кінцевих ступенях передавача, так і в приймачі, для невикривленого підсилення коливань повинно бути не менше двох максимальних значень частоти модулюючого сигналу [8].

Амплітудну модуляцію можливо здійснити двосмуговою або односмуговою. Під час односмугової модуляції використання транзисторів за потужністю покращується у кілька разів порівняно з передачею повного спектра амплітудно-

модульованих коливань. Крім того, односмугова передача дозволяє звузити спектр частот, що передаються, більш ніж вдвоє. Це розвантажує ефір і дозволяє звузити пропускання приймача, що підвищує його чутливість. Однак односмугова амплітудна модуляція має і недоліки. До них необхідно віднести складність забезпечення точності рівності частоти передавача і частоти гетеродина, який відтворює коливання несучої частоти в точці прийому. Крім цього, схема радіопередавального пристрою, що працює за принципом односмугової передачі, значно складніша звичайних схем [8]. Зважаючи на сказане, під час реалізації радіоканалу необхідно прийняти двосмугову амплітудну модуляцію.

Амплітудна модуляція як процес перенесення спектра низькочастотного керуючого сигналу в область високих частот радіосигналу є лінійним процесом. У результаті модуляції амплітуда високочастотних коливань повинна змінюватися пропорційно напрузі корисного (змістовного) сигналу в бік збільшення або зменшення від деякого середнього значення. Оскільки під час амплітудної модуляції в спектрі коливань виникають нові частоти, відмінні від частот несучого і модуляційного коливань, як наслідок, амплітудна модуляція є нелінійним процесом. Це пов'язано з тим, що статичні модуляційні характеристики мають нелінійний характер. У зв'язку із цим під час амплітудної модуляції в передавачах можливо спостерігати три види викривлень: частотні, нелінійні та фазові. Фазові викривлення практично не відчуються.

Частотні викривлення полягають у нерівномірному підсиленні різних складових спектра модуляційних коливань і з'являються, коли опір навантаження підсилювача або елементів, що зв'язані з нею, залежать від частоти. Тому порушуються співвідношення амплітуд складових сигналу. Джерела частотних викривлень в передавачі можуть знаходитися як у модуляторі, так і в модульованому підсилювачі потужності високої частоти. Одним із джерел частотних викривлень є резонансні властивості контурів, що слугують навантаженням вихідного каскаду підсилювача, зокрема це нерівномірність резонансної кривої контура підсилювача в межах смуги пропускання. Ще одним джерелом частотних викривлень є резонансні явища в фільтрах джерел живлення, які містять ємності та індуктивності і володіють деякою власною частотою.

Зменшення частотних викривлень, що виникають у модуляторі і модульованому підсилювачі

потужності високої частоти, в навантажувальному контурі вихідного підсилювача досягають за рахунок збільшення затухання антенного контура. Для боротьби із частотними викривленнями, що зв'язані з резонансними явищами в фільтрах джерел живлення, величини індуктивностей і ємностей фільтрів необхідно вибирати такими, щоб їх власні резонансні частоти лежали нижче самої низької частоти модуляції.

Нелінійні викривлення під час амплітудної модуляції мають значно більше значення ніж частотні. Вони викликані нелінійністю статичної модуляційної характеристики, можуть складати значну величину. Напрями впливу на зменшення похибок від нелінійності статичної модуляційної характеристики вже відпрацьовані в радіотехнічній галузі. Перш за все, в амплітудно-модульованих генераторах на транзисторах необхідно приймати ретельні заходи температурної стабілізації параметрів транзистора як шляхом використання кремнієвих елементів, різних схемних рішень, так і покращенням теплового режиму. Для зниження негативного впливу змін еквівалентних провідностей транзистора на частоту і режим генератора доцільно застосовувати неповне ввімкнення контура. Позбавитись впливу модульованого каскаду на режим і частоту задавального генератора (автогенератора) у багатокаскадних транзисторних передавачах модуляцію слід здійснювати в одному з останніх або в кінцевому каскаді передавача. Для забезпечення найбільш якісної передачі інформаційного сигналу необхідно використати комбіновану колекторну модуляцію. При такій модуляції низькочастотний сигнал потрапляє не лише на колектор транзистора вихідного каскаду, але і на попередні підсилювачі. При цьому у вихідному каскаді здійснюється подвійна амплітудна модуляція – колекторна і базова. У випадку подвійної колекторної модуляції для кожного з модульованих каскадів необхідно знайти оптимальне значення коефіцієнта глибини модуляції, тобто його значення у вихідному та передвихідному каскадах. Глибина модуляції в останньому каскаді звичайно знаходиться на рівні 50%. При правильному виборі режиму модуляції нелінійні викривлення будуть невеликими. Практика показує, що в радіоапаратурі коефіцієнт нелінійних спотворень можна довести до 1%. У випадку радіоканалу, що розробляється, ця задача розв'язати дещо легше.

Таким чином, розглянутий модулятор забезпечує необхідну точність передачі корисного сигналу, що відповідає $J_{TI}=1$. Він забезпечує міні-

мальні значення викривлень корисного сигналу, максимальну простоту (інші підходи модуляції складніші), мінімальну споживану потужність, що задовольняє обмеженням на J_B , J_{Π} і $J_{СП}$. Те ж саме відноситься і до підсилювача потужності генератора, де $J_{T2}=1$ і задовольняються обмеження до J_B , J_{Π} і $J_{СП}$.

Автогенератор є базовим елементом радіоканалу. Він в основному визначає стабільність частоти і амплітуди коливань. Сучасні транзисторні автогенератори можна подати у вигляді приладного ряду з 16 основних типів засобів [9]. Складність найбільш простого (базового) автогенератора порівняно невелика і дорівнює восьми умовним одиницям. Підвищення точності автогенераторів до середини ряду здійснюється порівняно просто додавкою одного-трьох умовних елементів. Починаючи із сьомого типу приладу, пристрої дуже ускладнюються. Найбільш стабільний автогенератор в 12 разів складніший базового. Тобто висока стабільність досягається значними витратами. Встановлено, що в процесі структурного удосконалення як частотна, так і амплітудна стабільність транзисторних автогенераторів покращується [10]. З незначним удосконаленням пристроїв частотна стабільність швидко зростає з початку приладного ряду, доходячи до першого кварцового автогенератора. Потім підвищення стабільності досягається значними витратами. Достатню точність забезпечує автогенератор п'ятого або шостого типу, які доцільно використовувати в радіоканалі.

Важливим параметром в радіоканалі виступає частота високочастотних коливань. Імпульс, що відповідає першій напівхвилі корисного сигналу, показано на рис.1. Тривалість такого сигналу складає близько 7,5 мс. Його початковий момент є випадковою величиною. Випадковою величиною є і вершина гармонічного високочастотного сигналу. Найбільш точно під час амплітудної модуляції буде передана амплітуда імпульсу у випадку, коли його вершина і вершина гармонічного високочастотного сигналу співпадають (рис. 1, а). Неспівпадіння вершини імпульсу і високочастотного сигналу буде приводити до похибки у визначенні амплітуди (рис. 1, б). Найбільше значення похибки буде при найбільшому періоді високочастотних гармонічних коливань. Зменшення періоду високочастотних гармонічних коливань буде зменшувати найбільше значення цієї похибки. Воно буде найменшим і достатньо невеликим, яким можливо знехтувати, при достатньо високих частотах несучих коливань. Зважаючи на те,

що дана похибка може виникати як при модулюванні, так і при зворотній дії – детектуванні, то доцільно розглянути ці обидві ситуації. Більш вузьким місцем є детектування, оскільки тут діє проміжна частота, яка значно нижча від несучої. При детектуванні імпульсних сигналів необхідно, щоб у кожному імпульсі розташовувалося 10...20 періодів коливання проміжної частоти [8]. Враховуючи, що найменша тривалість напівхвилі корисного сигналу складає 7,5 мс, проміжну частоту можливо прийняти 6,5 МГц. При цьому в один імпульс корисного сигналу вкладається більше 2400 повних періодів коливань проміжної частоти, що забезпечить достатньо точно його детектування. Несуча частота може бути значно вищою проміжної. На радіосигнали значний вплив здійснюють перешкоди від грозових розрядів, які називають атмосферними. Вони займають широкий спектр частот від найменшої основної частоти до достатньо високих. Амплітуда цих перешкод поступово зменшується при зростанні частоти практично аж до 50 МГц [11]. Оскільки до 50 МГц на радіоканал можуть впливати атмосферні перешкоди, доцільно несучі частоти приймати дещо більшими цього значення. Оскільки потужність передавача тут зовсім мала, а його оточують масивні металеві агрегати, розташовані здебільшого в кілька поверхів в корпусах з металевих конструкцій, то в радіоканалах можливо використовувати будь-які частоти, не розглядаючи дозволених. Враховуючи, що в транзисторних автогенераторах на високих частотах виникає нестабільність частоти в наслідок значної різниці між власною частотою контуру і автогенератора [12], діапазон частот не слід сильно розширювати. У випадку необхідності розширення діапазону використовуваних частот можливе, однак при

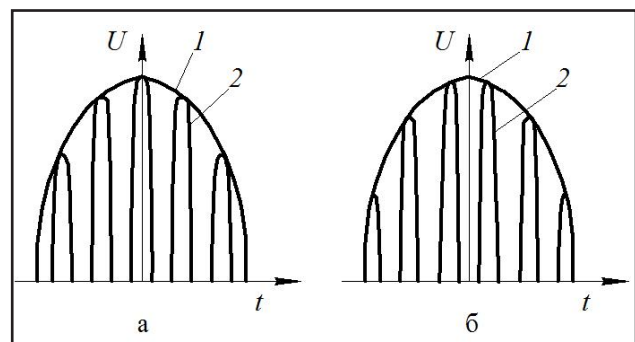


Рис. 1. Взаємне розташування імпульсу корисного сигналу і гармонічного високочастотного сигналу як випадкових величин в момент співпадіння вершин (а), неспівпадіння на певну величину (б): 1 – імпульс, що відповідає корисній інформації; 2 – гармонічний високочастотний сигнал

цьому виникне необхідність встановлення балансу фаз, що звичайно досягають автоматичним регулюванням з використанням варикапів [13].

Отже, автогенератори п'ятого або шостого типу задовольняють умовам радіоканалу. Вони прості навіть при частотах більших 50 МГц. При проміжній частоті 6,5 МГц не допускають викривлень імпульсних або випадкових сигналів, споживають малу потужність, тим більше, що за даних умов вона повинна бути зовсім незначною. Тому тут виконуються умови накладених обмежень, а частинний критерій оптимальності $J_{T3}=1$.

Амплітудно-модульовані високочастотні коливання випромінюються в простір антеною передавача. Антена приймача сприймає частину енергії цих коливань. В залежності від частотного діапазону розроблено теорію і ряд типів антен [14]. Фізичні основи явищ, що відбуваються в антенах, детально викладені в [15]. Для діапазону коротких і ультракоротких хвиль існує ряд типів антен. Здебільшого в цих діапазонах в якості антени використовують симетричний вібратор [15]. Враховуючи умови передачі сигналу, приймемо в якості як передавальної, так і приймальної антени симетричний вібратор. Враховуючи, що ці антени є найбільш простими, не викривляють сигнали і виконують свої функції, їм відповідають критерії оптимальності $J_{T4}=J_{T5}=1$ і вони задовольняють висунутим обмеженням.

Радіоприймальний пристрій призначений для прийому будь-яких сигналів, що поступають до нього у вигляді радіохвилі. Він включає приймальну антену, приймач та кінцевий пристрій. Приймальна антена дістає з навколишнього простору дуже незначну частину енергії радіохвиль, що проходять, включаючи і свій радіопередавач, і направляє її до радіоприймача. У приймачі здійснюється виокремлення корисних коливань і перетворення їх до такого виду, який необхідний для роботи кінцевого пристрою. За допомогою кінцевого пристрою відновлюється, ресструється або іншим способом використовується прийнята інформація. Інформація на вході приймача розміщена в модульованих коливаннях високої частоти. Саме з них необхідно виділити корисний сигнал. Для забезпечення необхідної точності в радіоканалі необхідно використати супергетеродинний приймач з його повною схемою, яка включає вхідний ланцюг, підсилювач високої частоти, перетворювач частоти, що складається зі змішувача частот та гетеродина, підсилювач проміжної частоти, детектор, підсилювач низької частоти, кінцевий пристрій.

У радіоприймачі спотворення можуть виникати практично у будь-якому вузлі. Вхідний ланцюг слугує перехідною ланкою від приймальної антени до входу першого підсилювального каскаду. Вона забезпечує узгодження хвильового опору антенного фідера з вхідним опором приймача. Цим досягають можливо більше перевищення напруги корисного сигналу над рівнем перешкод і шумів. Вхідний ланцюг виконується просто, завжди реалізує свої функції без викривлень, практично не втрачає енергії. Тому його частинний критерій оптимальності $J_{T6}=1$ і він задовольняє всім сформульованим обмеженням.

У підсилювачах високої та проміжної частоти легко позбавитись від спотворень можливо вибором режиму роботи транзисторних каскадів. Ці підсилювачі реалізуються за типовими схемами, не викривлюють сигнали, достатньо прості, не споживають багато енергії, тому задовольняють обмеженням, а їх частинні критерії оптимальності будуть дорівнювати $J_{T7}=J_{T8}=1$.

Найбільш проблематичним вузлом у радіоприймачі є амплітудний детектор, оскільки детектування – процес суцільно нелінійний [16]. Не дивлячись на це, при детектуванні форма напруги на навантаженні детектора повинна відповідати формі обвідної напруги, що детектується. Враховуючи відомі переваги, в радіоканалі детектування слід здійснювати на напівпровідниковому діоді. Якщо в такому детекторі амплітуда вхідної напруги достатньо велика і складає кілька вольт, то він працює практично в лінійному режимі. У лінійному режимі результати детектування практично не залежать від форми характеристики діода і визначаються лише крутизою її прямолінійної ділянки та зворотним опором діода. Тому при детектуванні великих сигналів характеристики діода зображають в ідеалізованому вигляді – прямою. Внаслідок того, що крутизна прямої характеристики значно більша оберненої, при детектуванні великих сигналів коефіцієнт передачі детектора складає від 0,5 до 0,8. Він не залежить від амплітуди сигналу, що детектується. Нелінійні спотворення в діодному детекторі відсутні, якщо найменші значення амплітуди високочастотної модульованої вхідної напруги перевищують 2...3 В [8]. Оскільки зворотний опір напівпровідникового діода залежить від температури, то і параметри детектора залежать від неї. Ця залежність дуже помітна в квадратичному детекторі і мало відчутна при детектуванні сильних сигналів. Тому в радіоканалі доцільно забезпечувати велике підсилення сигналу проміжної

частоти і детектування здійснювати при значних напругах на напівпровідникових діодах.

Для більш точного відтворення окремих імпульсів в корисному сигналі проміжна частота повинна складати 10...60 МГц, дуже часто вона дорівнює 30 МГц. У даному радіоканалі з великим запасом достатньо 6,5 МГц. Однак інформаційний сигнал, який виділяють в діодному детекторі, може викривлятися ще з інших причин. Викривлення сигналу можуть бути нелінійними і частотними. Основна причина нелінійних спотворень полягає в інерційності детектора. При цьому обвідна напруга, що детектується, може відтворюватися не точно. Це відбувається тому, що напруга під час розряду конденсатора змінюється повільніше, ніж зменшується амплітуда вхідної напруги. Напруга на навантаженні детектора не встигає змінюватися за змінами амплітуди високочастотного коливання. У такій ситуації амплітуда імпульсу може не відповідати дійсному значенню, особливо на початковій його ділянці. Аналітично встановлено [8], що такі спотворення відсутні, коли постійна часу навантаження детектора відповідає нерівності

$$C_H R_H < \frac{\sqrt{1-m^2}}{2\pi F_B m}, \quad (1)$$

де m – коефіцієнт глибини модуляції детектованої напруги, що показує, на яку частину від свого середнього значення змінюється амплітуда високочастотного коливання в процесі модуляції; F_B – вища частота інформаційного сигналу, тобто, вища частота модуляції; R_H – опір в навантаженні детектора; C_H – ємність, що шунтує опір навантаження.

Нелінійні спотворення інформаційного сигналу можуть виникнути і за причиною значної різниці у величині навантаження для постійного струму діода і для його змінної складової корисного сигналу. Це особливо може бути відчутним, коли за детектором встановлено транзисторний підсилювальний каскад. Послабити такі викривлення вдається застосуванням роздільного навантаження, яке складається з двох резисторів (рис. 2) [8]. У даній схемі опір постійному струму діода $R_{II} = R_H = R_1 + R_2$, а змінному струму корисного сигналу

$$R_{зк} = R_1 + \frac{R_2 \cdot R_{BH}}{R_2 + R_{BH}}, \quad (2)$$

де R_{BH} – вхідний опір наступного каскаду.

При значній величині опору R_1 різниця між R_{II} і $R_{зк}$ виходить малою. Нелінійні викривлення будуть найменшими, якщо [8]

$$R_2 = R_{BH} \frac{1-m}{m}. \quad (3)$$

Частотні викривлення визначаються модуляційним сигналом. У підсилювачах змінного струму звичайно спостерігається «завал» низьких частот, що приводить до їх різного підсилення. Зважаючи, що діапазон зміни частоти корисного сигналу якраз відповідає цій ділянці характеристики, підсилення сигналу буде залежати від частоти, тобто буде вноситись певне спотворення, яке можливо згладити коректуючим пристроєм в підсилювачі первинного перетворювача. Як видно з розглянутого, діодний детектор вимагає збільшення напруги, що ускладнює схему, і не компенсує повністю можливі спотворення. Тому його частинний критерій J_{T9} не можна оцінити на рівні одиниці, оскільки сигнал буде дещо спотвореним.

Підсилювач низької частоти, якщо він буде змінного струму, буде мати такі ж вади в наслідок «завалу» низьких частот. Тому підсилювач низької частоти доцільно виконати операційним. Він фактично є підсилювачем постійного струму, однак добре пропускає частоти, які відповідають корисному сигналу. Такий підсилювач відповідає пред'явленим обмеженням, а його частинний критерій дорівнює $J_{T10} = 1$.

Кінцевий пристрій радіоканалу виконує прості функції – він фіксує кінцевий результат. Такі операції можливо реалізувати достатньо точно, тому його критерій оптимальності $J_{T11} = 1$ і вимоги обмежень повністю задовольняються.

Отже, результуючий критерій оптимальності радіоканалу $J_T \rightarrow \max$ складає $J_T = n - 1 = 10$, що дещо менше найбільшого значення $n = 11$. Однак це достатньо високий його рівень, що підтверджує високоякісні характеристики створеного радіоканалу.

Розроблений радіоканал з обґрунтованими характеристиками функціональних вузлів, з частотою 50 МГц і проміжною частиною 6,5 МГц випробувався в лабораторних умовах. Для випро-

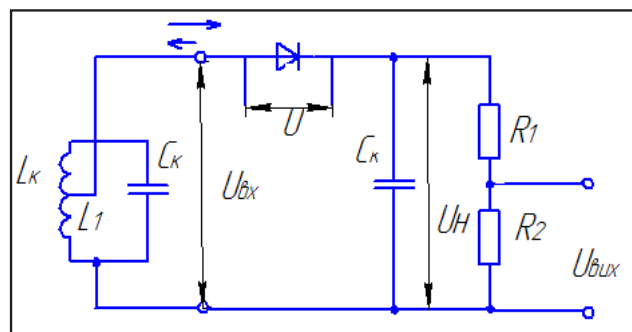


Рис. 2. Схема діодного детектора з розділеним навантаженням

бування з арматури було виготовлено обід діаметром 4 м з радіальними розпівками, через центр якого проходив вал, встановлений в підшипниках на опорах. В експериментах вал обертався з допомогою двигуна з редуктором зі швидкістю 16,5 об/хв.. На ободі встановлювався симетричний вібратор і радіопередавач, які оберталися разом з ним. Крім того, на ободі встановлювався підсилювач сигналу первинного перетворювача, генератор фіксованої частоти 50 Гц і 250 Гц та акумулятор для живлення апаратури електроенергією. Замість первинного перетворювача використано генератор двох фіксованих частот з фіксованою амплітудою. У кожному експерименті встановлювалася частота 50 та 250 Гц. Такий же симетричний вібратор (приймальна антена) встановлювався на відстані 1 м від обода в зоні «зняття»

радіосигналу. При цьому радіоприймач вмикався в роботу в ручному режимі. Вихідний сигнал підсилювача, що подається на модулятор, через кільцеві контакти, встановлені на валу, фіксувався на персональному комп'ютері. На персональному комп'ютері, який виконував функції кінцевого пристрою, фіксувався вихідний сигнал операційного підсилювача. Реалізації гармонічних сигналів при частоті 50 Гц приведені на рис. 3. З рис. 3 слідує, що реалізації гармонічних сигналів практично співпадають між собою. Достатньо якісно передається як форма, так і амплітуда корисного сигналу. Тривалості сигналів також однакові і відповідають періоду вхідного сигналу. Реалізації гармонічних сигналів при частоті 250 Гц приведені на рис. 4, з якого слідує, що вони ідентичні синусоїдам, зображеним на рис. 3.

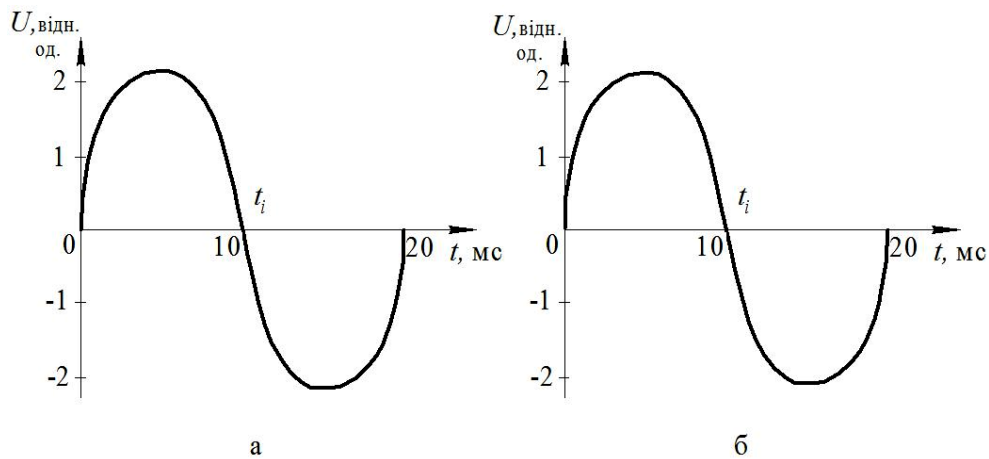


Рис. 3. Реалізації гармонічних сигналів при частоті 50 Гц:
а – на виході підсилювача сигналу первинного перетворювача;
б – на виході кінцевого пристрою

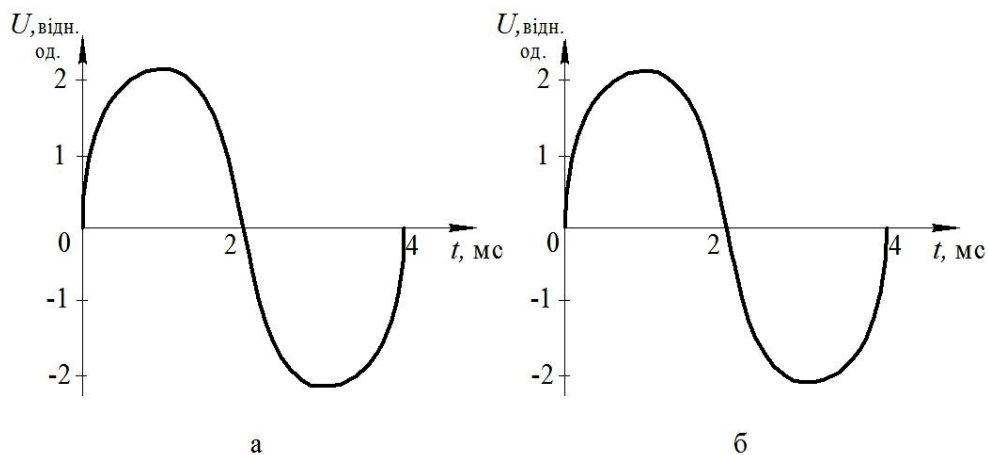


Рис. 4. Реалізації гармонічних сигналів при частоті 250 Гц:
а – на виході підсилювача сигналу первинного перетворювача;
б – на виході кінцевого пристрою

Отже, сигнали на вході і виході радіоканалу практично повністю співпадають між собою в діапазоні від 50 до 250 Гц.

Висновки. Таким чином, удосконалено радіоканал для передачі інформації з обертових частин технологічних агрегатів на нерухомі, який практично не спотворює форму і амплітуду гармонічних сигналів. При оптимізації радіоканалу методом динамічного програмування до уваги прийнято одинадцять стадій згідно його функціональним вузлам. Розглядалася багато-критеріальна задача, в якій головним критерієм вважалася точність передачі інформації окремим функціональним вузлам з оцінкою $J_{Ti}=1$, якщо вона була доведена. Інші три критерії – мінімальні значення викривлень корисного сигналу, максимальна простота, мінімальна споживана потужність – розглядалися як обмеження, що не повинні перевищувати значення певних мінімальних величин, які можливо досягти в конкретних ситуаціях роботи апаратури. У про-

цесі оптимізації з конкретними рекомендаціями досягнуті найвищі результати для десяти функціональних вузлів. Один функціональний вузол – детектор – не можливо було довести до стану останніх і його частинний критерій оптимальності J_{T10} склав нуль. Він виконував свої функції щодо забезпечення точності перетворення корисного сигналу, але певні вади повністю ліквідувати не вдалося. Тому результируючий критерій оптимальності радіоканалу склав $J_T=10$ замість можливого значення $J_{Tmax}=11$. Удосконалений радіоканал може мати проміжну частоту 6,5 МГц, а несучі частоти від 50 МГц і вище. Перевірка роботи радіоканалу підтвердила достатньо високу точність передачі низькочастотних гармонічних сигналів в межах зміни частотного діапазону від 50 до 250 Гц.

Перспективою подальших досліджень у цьому напрямі є розробка інформаційних засобів для автоматичного керування процесами в технологічних агрегатах з обертовими частинами.

Список літератури:

1. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем. Москва, 1962. 628 с.
2. Аксенов В.В., Павлов В.И. Помехоустойчивость радиоканала связи с удаленными стационарными объектами. Вестник ТГТУ. 2011. Том 17. № 4. С. 922–926.
3. Ягубов З.Х., Голубев Е.Б., Соловей К.Н. Помехоустойчивый канал передачи телеметрической информации в нефтяной шахте. Нефть и газ. 1997. № 3. С. 104–106.
4. Гринман И.Г., Сакбаев Ж.М., Жотабаев Ж.Р. Измерение степени загрузки мельниц рудой с помощью телеизмерительного датчика. Обогащение руд. 1969. № 1. С. 27–29.
5. Пожарский Ю.М., Полещенко Д.А., Подковыров И.Ю. Определение степени заполнения мельницы мокрого самоизмельчения с применением беспроводных технологий. ГИАБ. 2013. № 3. С. 249–254.
6. А.с. 1755922 А1 (СССР): МКИ В 02 С 25/00. № 4797606/33; заявл. 01.03.90; опубл. 23.08.92, Бюл. № 31.
7. Кондратець В.О., Кирилук М.О. Комп'ютерно-інтегрований комплекс подрібнення руди з передачею технологічної інформації з обертових об'єктів. Академічний вісник. 2004. № 13. С. 117–118.
8. Левичев В.Г. Радиопередающие и радиоприемные устройства. Москва, 1974. 510 с.
9. Кондратець В.О. Дослідження транзисторних автогенераторів як коливальних систем, що складнішають. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. 2001. № 8. С. 102–108.
10. Кондратець В.О. Теоретичні дослідження стабільності транзисторних автогенераторів в процесі структурного удосконалення. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. 2001. № 31. С. 81–84.
11. Основы радио и электроники / Эверитт В.Л., Гай Р.Ф., Джордан Э.К. и др.; под ред. В.Л. Эверитта; пер. с англ. Н.А. Собецкого. Москва, 1962. 804 с.
12. Радиопередающие устройства на полупроводниковых приборах. Проектирование и расчет / Баржин В.Я., Бокк Ю.Ф., Валитов Р.А. и др.; под ред. В.А. Валитова и И.А. Попова. Москва, 1973. 464 с.
13. Радиопередающие устройства. Проектирование радиоэлектронной аппаратуры на интегральных микросхемах / Балакирев М.В., Вохмоков С.С., Журиков А.В. и др.; под ред. О.А. Челнокова. Москва, 1982. 256 с.
14. Марков Г.Т., Сазонов Д.М. Антенны. Москва, 1975. 528 с.
15. Калашников А.М., Степук Я.В. Колебательные системы. Москва, 1972. 376 с.
16. Нефедов Е.И. Радиоэлектроника наших дней. Москва, 1986. 192 с.

РАДИОКАНАЛ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ С ВРАЩАЮЩИХСЯ ЧАСТЕЙ АГРЕГАТОВ НА НЕПОДВИЖНЫЕ

Обоснована структура радиоканала для передачи информации с вращающихся частей агрегатов на неподвижные. Радиоканал включает автогенератор, амплитудный модулятор, усилитель мощности, передающую антенну, приемную антенну, входную цепь, усилитель высокой частоты, усилитель промежуточной частоты, диодный детектор, усилитель низкой частоты и оконечное устройство. В процессе многокритериальной оптимизации доказано, что все функциональные узлы радиоканала могут качественно пропускать сигналы. Детектору таких свойств обеспечить не удалось. Это является недостатком радиоканала. Однако при проверке подтверждено, что он качественно пропускает гармонические сигналы частотой от 50 до 250 Гц. Амплитудные, частотные показатели и форма сигналов передаются через радиоканал с достаточной точностью.

Ключевые слова: радиоканал, вращающиеся части, неподвижные части, точность, искажение сигналов.

RADIO CHANNEL FOR INFORMATION TRANSMISSION FROM ROTATING PARTS OF UNITS TO FIXED

The structure of a radio channel for transferring information from rotating parts of aggregates to stationary ones is substantiated. The radio channel includes an autogenerator, an amplitude modulator, a power amplifier, a transmit antenna, a receiving antenna, an input circuit, a high frequency amplifier, an intermediate frequency amplifier, a diode detector, a low frequency amplifier, and a terminal device. In the process of multicriteria optimization it is proved that all the functional nodes of the radio channel can pass signals qualitatively. The detector was not able to provide such properties. This is a disadvantage of the radio channel. However, during the verification it is confirmed that it qualitatively passes harmonic signals with frequency from 50 to 250 Hz. The amplitude, frequency, and waveforms of the signals are transmitted through the radio channel with sufficient accuracy.

Key words: radio channel, rotating parts, fixed parts, accuracy, distortion of signals.

Михальчан В.С.

Одесская национальная академия пищевых технологий

ДВУХЭТАПНЫЙ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ИТЕРАЦИОННЫЙ АЛГОРИТМ АДАПТИВНОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

Предложен итерационный алгоритм обработки сигналов для управления настройкой нерекурсивных адаптивных фильтров. Алгоритм обладает высокой скоростью адаптации, по сравнению с известными итерационными методами. Применение алгоритма для настройки адаптивных фильтров, устраняющих межсимвольную интерференцию, позволит уменьшить время адаптации. Уменьшение времени на обучение адаптивного фильтра позволит увеличить пропускную способность каналов связи. Особенностью алгоритма, кроме высокой скорости адаптации, является низкая чувствительность к погрешностям вычислений и влиянию шума в процессе настройки адаптивных систем.

Ключевые слова: *нерекурсивный адаптивный фильтр, итерационный алгоритм адаптации, скорость адаптации, межсимвольная интерференция, эквалайзер, пропускная способность каналов связи.*

Постановка проблемы. Основная проблема, с которой наиболее часто сталкиваются в задачах адаптивной обработки сигналов нерекурсивными (трансверсальными) фильтрами в реальном масштабе времени, – все известные итерационные алгоритмы обладают медленной скоростью сходимости к решению, т.е. медленной скоростью адаптации. Скорость адаптации – наиболее важный показатель для адаптивных систем, особенно в условиях быстроизменяющихся характеристик передаваемой среды и изменяющейся помеховой ситуации. В данной ситуации нерекурсивные фильтры требуют длительного времени адаптации, что приводит к снижению помехоустойчивости систем передачи данных, особенно для систем спутниковой и мобильной связи, или к неверной оценке сигналов в бортовых радиолокационных системах.

Существуют еще две причины, которые влияют на сходимость итерационных процессов адаптации и на скорость адаптации.

Во-первых, любой итерационный алгоритм становится чувствительным к погрешностям вычислений и влиянию помех при приближении к решению, так как необходимо вычислять градиент как разность двух почти совпадающих чисел. Вследствие этого происходит значительная потеря точности из-за конечного разрядного представления действительных чисел и влияния помех на процесс адаптации. В результате возникает явление «блуждания» в области оптимального решения, что особенно характерно для обусловленных систем адаптации.

Во-вторых, неясен выбор момента окончания итерационного процесса, так как необходимым условием достижения точного минимума целевой функции является условие равенства нулю вектора градиента, что является практически невозможным критерием остановки процесса адаптации.

По указанным причинам в большинстве случаев невозможно получить оптимальные результаты адаптации из-за полной остановки алгоритма вдали от минимума целевой функции.

Анализ последних исследований и публикаций. Основными публикациями, в которых проведен анализ скорости сходимости метода наискорейшего спуска и его различных модификаций, являются работы [1, с. 58; 2, с. 253; 3, с. 156; 4, с. 118]. В этих работах проведены исследования зависимости скорости адаптации от различных спектральных чисел обусловленности корреляционных матриц каналов связи (отношения максимального собственного значения к минимальному собственному значению матриц) [3, с. 139]. Приведены теоретические результаты и результаты математического моделирования, показывающие на низкую скорость сходимости итерационных адаптивных алгоритмов, основанных на методе наискорейшего спуска [3, с. 171]. Проведен анализ влияния шума на процессы адаптации при использовании метода наискорейшего спуска [1, с. 76; 3, с. 151], при соответствующем уменьшении скорости адаптации. Рассмотрена проблема «блуждания» в области решения в процессе настройки адаптивного фильтра за счет влияния

шума и погрешности вычислений, которая приводит к уменьшению скорости адаптации.

В указанных выше публикациях рассматриваются различные высокоскоростные алгоритмы адаптации, которые сложны в аппаратной реализации, чувствительны к искажениям сигнала из-за шума, а также требуют увеличения необходимого количества арифметических вычислений и объема памяти (по сравнению с итерационными методами адаптации). Указанные причины вызывают сложности для практического применения рассмотренных алгоритмов в адаптивных системах.

В связи с вышеизложенным можем утверждать, что для управления настройкой адаптивных нерекурсивных фильтров предлагается итерационный алгоритм, обладающий высокой скоростью сходимости к решению, низкой чувствительностью к погрешностям вычислений и влиянию шума в процессе настройки адаптивных систем.

Постановление задания. Целью статьи является разработка алгоритма адаптации с высокой скоростью сходимости для уменьшения времени настройки нерекурсивных адаптивных фильтров. Рассматривается одна из моделей итерационных алгоритмов адаптации нерекурсивных фильтров, предназначенных для устранения межсимвольной интерференции, в которой отсутствуют перечисленные выше недостатки, присущие используемым в настоящее время итерационным методам адаптивным алгоритмам.

Изложение основного материала исследования. Предлагаемый алгоритм основан на комбинированном применении устойчивого итерационного метода [5, с. 58; 6, с. 97; 7, с. 57] и метода симметричной точки [8, с. 101], в результате обеспечивается высокая скорость адаптации, устойчивость к погрешностям вычислений, простота выбора момента окончания итерационного процесса. В процессе адаптации при настройке адаптивного фильтра используются два этапа. Цель первого (основного) – за минимальное количество итераций войти в область решения. Цель второго (завершающего) – определить минимум заданной целевой функции.

На первом этапе настройки применяется устойчивый итерационный метод [5, с. 58; 6, с. 97; 7, с. 57] в комбинации с методом симметричной точки [8, с. 101], что позволяет получить высокую скорость адаптации для быстрого вхождения в область, находящуюся в непосредственной близости к точке решения. На первом этапе итерационный алгоритм является процессом с «памятью», так как необходимо хранить в памяти предыдущие

значения регулируемых вспомогательных параметров адаптивного фильтра. После завершения первого этапа система настройки фильтра автоматически переходит ко второму – окончательному процессу адаптации – к определению точки решения, т. е. к определению минимума выбранной целевой функции, используя устойчивый итерационный метод [5, с. 58; 6, с. 97; 7, с. 57]. Устойчивость итерационного метода подразумевает независимость получаемых результатов от точности вычислений на каждой итерации за счет погрешности вычислений и влияния шума.

Ограничение полосы частот в реальных каналах передачи приводит к нежелательному искажению формы передаваемых сигналов. Такое ограничение приводит к появлению колебаний, предшествующих (колебания преддействия) и следующих за сигналом (колебания последствия). Указанное явление наблюдается даже при идеальных характеристиках передатчика, приемника и среды распространения сигнала. Нелинейность фазочастотных и неравномерность амплитудно-частотных характеристик реальных каналов вызывают дополнительные переходные процессы. Колебания преддействия и последствия приводят к взаимному влиянию между передаваемыми информационными сигналами. Такое явление называют межсимвольной интерференцией, которая снижает помехоустойчивость системы связи, и становится причиной появления ошибок на приеме.

Для компенсации межсимвольной интерференции, вызванной неидеальными частотными характеристиками каналов связи, наиболее часто применяют адаптивные нерекурсивные корректоры (эквалайзеры) [2, с. 546]. Основным недостатком используемых в настоящее время адаптивных алгоритмов – низкая скорость сходимости, что приводит к необходимости длительного процесса обучения эквалайзеров перед каждым сеансом передачи данных. Однако сообщения, передаваемые от источников информации, часто бывают короткими, поэтому время обучения должно быть коротким и не должно занимать значительную долю времени передачи информации по каналам связи. После режима обучения эквалайзер переключается в стохастический режим, при этом подстройка регулируемых параметров эквалайзера осуществляется на основе анализа информационной последовательности (сигналов данных), точнее ее вероятностной оценки на выходе адаптивного фильтра по мере поступления очередных данных.

Для упрощения анализа, будем рассматривать режим настройки эквалайзера по периодиче-

ской последовательности одиночных сигналов, следующих через интервал, превышающий длительность отклика сигнала. Это позволяет получить статистическую независимость на каждой итерации управления регулируемыми весовыми параметрами эквалайзера. Дополнительно введем следующие условия: импульсный отклик канала имеет конечную длительность, отсчеты x_i сигнала на выходе канала (входе эквалайзера) случайные взаимно некоррелированные величины, отсчеты шума имеют нормальное распределение и взаимно некоррелированные.

Отсчетные значения y_k сигнала на выходе эквалайзера связаны с отсчетными значениями x_i на входе эквалайзера через значения c_i , регулируемых весовых параметров эквалайзера соотношением:

$$y_k = \sum_i x_{k-i} c_i, \text{ здесь и далее } i = -N, \dots, N; \\ k = -2N, \dots, 2N. \quad (1)$$

Целевую функцию, представляющую собой среднеквадратичную ошибку (далее – СКО), запишем так:

$$j(c) = F[\sum_k (y_k - f_k)^2] - E[\sum_k r_k^2], \quad (2)$$

где f_k – отсчеты требуемого (эталонного) сигнала на выходе эквалайзера; $E(\cdot)$ – знак математического ожидания; r_k – отсчетные значения ошибки на выходе фильтра.

Подставляя (1) в (2), дифференцируя полученное выражение по параметрам c_i , и приравняв результат нулю, получаем систему линейных уравнений

$$\sum_j c_j \sum_k x_{k-i} x_{k-j} = \sum_k x_{k-i} f_k, \quad (3)$$

или, в матричном виде $Ac = b$, где A – корреляционная матрица входного сигнала, размером $(2N + 1) \times (2N + 1)$, c – вектор, составленный из значений регулируемых весовых параметров эквалайзера, размером $1 \times (2N + 1)$; b – корреляционный вектор эталонного сигнала, размером $1 \times (2N + 1)$.

С математической точки зрения необходимо решить систему линейных уравнений (3) относительно значений c_i , регулируемых параметров эквалайзера.

Цель настройки эквалайзера во время обучения заключается в нахождении такого набора значений регулируемых весовых параметров c_i , которые обеспечили бы за минимально возможное время наиболее близкое соответствие между отсчетами сигнала на выходе эквалайзера и требуемыми отсчетами сигнала. Задача решения уравнения (3) эквивалентна задаче поиска минимума целевой функции – СКО (2).

Геометрический смысл любого итерационного метода состоит в том, что для минимизации целе-

вой функции необходимо отыскать центр семейства подобных гиперэллипсоидов, координаты которых и есть решение системы (3). Кратко опишем устойчивый итерационный метод [5, с. 58; 6, с. 97; 7, с. 57] адаптивной обработки сигналов, который состоит в том, что из произвольной точки, принадлежащей одному из гиперэллипсоидов минимизируемого функционала (2) и соответствующей определенному значению СКО, начинаем движение в направлении, противоположном вектору градиента до тех пор, пока не достигнем точки пересечения с этим же гиперэллипсоидом. Получим координаты новой точки с таким же значением СКО, как и в предыдущей точке. Затем процесс повторяется. В результате получают две вспомогательные последовательности точек, находящиеся на одном гиперэллипсоиде. При этом каждая из вспомогательных последовательностей точек перемещается по направлению к одной из вершин наименьшей оси исходного гиперэллипсоида. Определив координаты обеих вершин гиперэллипсоида с заданной точностью, вычисляются координаты его центра, т.е. решение системы.

Метод отличается от известных итерационных методов тем, что минимум СКО не определяется явно последовательностью точек, сходящихся к решению, а через значения двух вспомогательных последовательностей точек.

В отличие от рассмотренного метода оптимизации [5, с. 58], в предлагаемом алгоритме, если не принимать специальные меры, обе точки пройдут мимо вершины наименьшей оси исходного гиперэллипсоида и движение будет продолжено далее. В результате может возникнуть явление заикливания процесса обучения.

Для устранения указанной ситуации формируется дополнительный критерий остановки на основе существующей информации, получаемой при реализации вычислительного алгоритма. И в тот момент, когда одна из вспомогательных точек пройдет мимо вершины исходного гиперэллипсоида, происходит остановка первого этапа обучения. Поэтому для реализации данного метода необходимо хранить в памяти текущие координаты двух вспомогательных точек. С этой точки зрения рассматриваемый алгоритм является алгоритмом с памятью.

Необходимо отметить, что при применении устойчивого итерационного метода значения вектора градиента на каждой итерации возрастают по норме, в отличие от метода наискорейшего спуска. Эта особенность рассмотренного итерационного метода, которая и позволяет не учиты-

вать погрешности вычислений и шум на каждой итерации.

Для описанного итерационного метода переход от n -го приближения $\varphi^{(n)}$ к $n + 1$ -му приближению $\varphi^{(n+1)}$ производится по формуле:

$$\varphi^{(n+1)} = \varphi^{(n)} - 2 \frac{(g^{(n)}, g^{(n)})}{(g^{(n)}, Ag^{(n)})} g^{(n)}, \quad (4)$$

где $\varphi^{(n)}$ – вспомогательные параметры; $g^{(n)}$ – $A\varphi^{(n)} - b$ вектор градиент функционала (2) в точке с координатами $\varphi^{(n)}$.

При этом регулируемые параметры эквалайзера изменяются в соответствии с алгоритмом:

$$c^{(n+1)} = \frac{\varphi^{(n+1)} + \varphi^{(n)}}{2}, \quad c^{(0)} = \varphi^{(0)}, \quad (5)$$

и стремятся к оптимальным значениям c^* , при которых достигается минимум СКО.

Как уже отмечалось выше, недостаток алгоритма – медленная скорость адаптации, равная скорости сходимости градиентного метода наименьшего спуска.

Для увеличения скорости адаптации рассмотрим двухэтапную конструкцию алгоритма настройки адаптивных фильтров, используя устойчивый итерационный метод, рассмотренный выше, и метод симметричной точки, изложенный в [8, с. 101], который заключается в следующем.

Пусть $c^{(0)}$ – некоторое начальное значение регулируемых параметров фильтра, которому соответствует определенное значение $J(c^{(0)})$. В геометрическом смысле точка $c^{(0)}$ находится на гиперэллипсоиде, описываемом функционалом (2) с постоянным значением $J(c^{(0)})$. Вектор градиент $g^{(0)}$ в точке $c^{(0)}$ для системы (3) равен $g^{(0)} = Ac^{(0)} - b$.

Рассмотрим точку \bar{c} , которая находится на том же гиперэллипсоиде, что и точка $c^{(0)}$, но точка \bar{c} расположена симметрично относительно точки решения c^* . Тогда имеет место равенство $(c^{(0)} + \bar{c}) / 2 = c^*$, откуда получаем

$$\bar{c} = 2c^* - c^{(0)}. \quad (6)$$

Можно показать, что векторы градиенты функции $J(C)$ в точках $c^{(0)}$ и \bar{c} одинаковы по норме, и отличаются только знаками.

Точку с координатами \bar{c} принимаем за точку решения «новой» системы, которую получаем путем преобразования исходной системы (3). Для преобразования исходной системы воспользуемся равенством $Ac^* = b$, к которому применим соотношение (6), и приходим к «новой» (преобразованной) системе

$$A\bar{c} = d, \quad (7)$$

где $d = b - g^{(0)}$ – «новый», полученный после преобразования, корреляционный вектор эталонного сигнала, размером $1 \times (2N + 1)$.

Отметим, что точки с координатами $c^{(0)}$, c^* и \bar{c} лежат на одной прямой. Применим к «новой» системе (7) устойчивый итерационный метод, организованный в соответствии с формулой (4). Полученный итерационный процесс вырабатывает последовательность точек $\bar{c}^{(1)}$, $\bar{c}^{(2)}$, ..., $\bar{c}^{(n)}$, одна или две окажутся в непосредственной близости от точки c^* по какой-либо норме, так как точки $c^{(0)}$, c^* и \bar{c} лежат на одной прямой. Для организации остановки второго этапа обучения, необходимо контролировать какую-либо норму в «старой», т.е. в исходной системе (3), для этого на каждой итерации необходимо производить расчет вектора градиента функционала (2). Первый этап обучения эквалайзера прекращается при нарушении условий сходимости $J(c^{(n+1)}) \leq J(c^{(n)})$.

После этого необходимо прекратить первый этап обучения и перейти ко второму этапу, приняв полученное значение $c^{(n+1)}$ за новое исходное (начальное) приближение к решению, и вернуться к исходной системе.

На втором этапе обучения эквалайзера используется только адаптивный алгоритм устойчивого итерационного метода, в соответствии с формулой (4).

Обучение фильтра продолжается до тех пор, пока не будет достигнута требуемая величина $J(c)$, или до полного окончания передачи заданной серии эталонных сигналов обучения, затем эквалайзер переходит в стохастический режим адаптации.

Для оценки эффективности предложенного алгоритма при настройке регулируемых параметров адаптивных нерекурсивных фильтров (эквалайзеров), проведены исследования на ЭВМ скорости адаптации, используя корреляционные матрицы с различными спектральными числами обусловленности (отношением максимального собственного значения к минимальному собственному значению) в пределах от 15 до 500, что соответствует различным частотным характеристикам передающей среды.

Проведено сравнение по скорости адаптации рассмотренных в статье алгоритмов при организации итерационных процессов.

Во-первых, использовалась конструкция итерационного адаптивного алгоритма на основе устойчивого итерационного метода с использованием уравнения (4).

Во-вторых, использовалась конструкция предложенного в настоящей статье итерационного адаптивного алгоритма, т.е. на первом этапе исследовалась сходимость процессов обучения устойчивого итерационного метода в комбинации с методом

симметричной точки, по окончании первого этапа система адаптации переходила на второй этап обучения для получения окончательного решения.

В обоих случаях изменение вспомогательных и основных регулируемых параметров адаптивного фильтра производилось непосредственно по формулам (4) и (5).

Результаты теоретических исследований и моделирования позволяют сделать выводы. Использование устойчивого итерационного метода в комбинации с методом симметричной точки увеличивает скорость адаптации в 6 и более раз, по сравнению с устойчивым итерационным методом и градиентным методом наискорейшего спуска с соответствующим увеличением пропускной способности каналов связи.

Выводы. Предложен итерационный алгоритм адаптации, который обладает высокой скоростью адаптации. Применение алгоритма

позволяет в 6 (нижняя теоретическая оценка, доказанная автором) и более раз уменьшить время настройки нерекурсивных фильтров по сравнению с устойчивым итерационным методом и градиентным методом наискорейшего спуска, в зависимости от исходного состояния регулируемых параметров адаптивного фильтра. Применение рассмотренного адаптивного алгоритма позволит увеличить пропускную способность каналов связи.

Дальнейшие перспективы развития адаптивных алгоритмов. Скорость адаптации можно увеличить, используя метод асимметричной точки, разработанный автором, что позволит уменьшить время адаптации в 10–20 и более раз, по сравнению с используемыми в настоящее время итерационными методами спуска, при соответствующем увеличении пропускной способности каналов связи.

Список литературы:

1. Уидроу Б., Стринз С. Адаптивная обработка сигналов. Пер. с англ. Москва, 1989. 440 с.
2. Прокис Дж. Цифровая связь. Пер. с англ. / под ред. Д. Кловского. Москва, 2000. 800 с.
3. Монзинго Р., Миллер Т. Адаптивные антенные решетки: Введение в теорию. Пер. с англ. Москва, 1986. 448 с.
4. Джиган В. Адаптивная фильтрация сигналов: теория и алгоритмы. Москва, 2013. 528 с.
5. Михальчан В. Неявный итерационный метод адаптивной обработки сигналов. Наукові праці ОНАЗ. Одесса. 2003. № 1. С. 58-65.
6. Михальчан В. Устойчивый алгоритм обучения адаптивного корректора. Наукові праці УНДПРТ. Одесса. 2003. № 1 (33). С. 97-99.
7. Михальчан В. Устойчивый алгоритм адаптивной обработки сигналов передачи данных. Наукові праці Донецького національного технічного університету. Донецьк. 2003. Вып. 64. С. 57–63.
8. Михальчан В. Настройка адаптивных нерекурсивных фильтров методом симметричной точки. Современные проблемы телекоммуникаций. ТЕЛЕКОМ 2003: Сборник докладов (часть 2) 6-й Междун. науч.-практ. конф. (Одесса, 2003 г.). Одесса. 2003. С. 101–104.

ДВОЕТАПНИЙ ВИСОКОШВИДКІСНИЙ ІТЕРАЦІЙНИЙ АЛГОРИТМ АДАПТИВНОЇ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ

Запропоновано ітераційний алгоритм обробки сигналів для керування налаштуванням нерекурсивних адаптивних фільтрів. Алгоритм має високу швидкість адаптації, порівняно з відомими ітераційними методами. Застосування алгоритму для налаштування адаптивних фільтрів, що усувають міжсимвольну інтерференцію, дозволить зменшити час адаптації. Зменшення часу на навчання адаптивного фільтра дозволить збільшити пропускну здатність каналів зв'язку. Особливістю алгоритму, крім високої швидкості адаптації, є низька чутливість до похибок обчислень і впливу шуму в процесі настройки адаптивних систем.

Ключові слова: нерекурсивний адаптивний фільтр, ітераційний алгоритм адаптації, швидкість адаптації, міжсимвольна інтерференція, еквалайзер, пропускну здатність каналів зв'язку.

TWO-STAGE HIGH-SPEED ITERATIVE ALGORITHM ADAPTIVE SIGNAL PROCESSING

An iterative signal processing algorithm is proposed for controlling the tuning of non-recursive adaptive filters. The algorithm has a high rate of adaptation, in comparison with the known iterative methods. Application of the algorithm for tuning adaptive filters eliminating intersymbol interference will reduce the adaptation time. Reducing the time for learning the adaptive filter will increase the bandwidth of communication channels. The feature of the algorithm, in addition to the high speed of adaptation, is the low sensitivity to calculation errors and the influence of noise during tuning of adaptive systems.

Key words: nonrecursive adaptive filter; iterative adaptation algorithm; adaptation speed; intersymbol interference; equalizer; communication channels bandwidth.

УДК 620.179

Пиротти Е.Л.

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

Зленко С.М.

Винницкий национальный технический университет

Кривоносов В.Е.

Приазовский государственный технический университет

КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ МЕДИЦИНСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В работе рассмотрены виды и системы защиты медицинского оборудования, работающего с такими показателями качества напряжения, которые отличаются от нормируемых ГОСТ 13109-97 величинами. Критерием выбора системы защиты медицинского оборудования являются множество состоящих из воздействующих факторов на оборудование видов и зон действия защит, стоимость элементов системы защиты; определяющим является минимизация предотвращенного ущерба. Предотвращенный ущерб является пересечением множеств, состоящих из видов и зон действия защит и стоимости элементов системы защиты. Оценкой эффективности работы системы защиты является срок ее окупаемости.

Ключевые слова: отклонения и провалы напряжения, ущерб, магнитно-резонансный томограф, рентгеновский компьютерный томограф, критерий эффективности, релейная защита.

Постановка проблемы. Надежная и безопасная работа диагностического медицинского оборудования является актуальной задачей, поскольку, перерыв в работе медицинского оборудования, вызванный аварийными и предаварийными режимами, может поставить под угрозу человеческую жизнь и привести к крупным материальным затратам.

Медицинская техника очень чувствительна к качеству напряжения в сети. Нестабильность, коммутационные помехи, паразитные напряжения и пр. могут привести к некорректной работе, сбоям и поломке дорогостоящего оборудования, приборов и систем, например, компьютерных рентгеновских томографов (далее – РКТ), магнитных резонансных томографов (далее – МРТ). Выбор и обоснования оснащения дорогостоящего медицинского оборудования системами управления, диагностики и защиты от внештатных режимов является актуальной задачей.

Анализ последних исследований и публикаций. В соответствии с законодательством [1; 3], во всех больницах должна быть установлена «защита» медицинского электрооборудования от внештатных режимов электропитания. В зависи-

мости от мер, которые применяются для защиты медицинского оборудования и больных от поражения электрическим током, медицинские помещения можно разделить на три группы.

Группа 0 (Гр. 0) – медицинские помещения, в которых не используются контактирующие проводящие части и приборы, т.е. проводящие части медицинского оборудования, которые должны находиться в физическом контакте с пациентом (касаться его или вводиться внутрь). Защитные меры в помещениях Гр. 0: установка автоматического отключения медоборудования при первичном пробое изоляции, установка автоматических выключателей (пускателей), обеспечивающих токовую отсечку, максимальную токовую и тепловую защиты. Эти системы защит [2] успешно справляются с выполнением данных требований.

Группа 1 (Гр. 1) – помещения, в которых контактирующие части и приборы применяются наружно или внутренне, но нарушение электропитания не может привести к серьезному ущербу для пациента (например, физиотерапевтические и гидротерапевтические кабинеты). В помещениях Гр. 1 происходит автоматическое отключение в случае первого КЗ на открытые

токопроводящие части или при регистрации токов утечки, а также при перебоях электропитания.

Защитные меры в помещениях Гр. 1: использование элементов электрической схемы с двойной изоляцией и установка системы контроля изоляции; установка устройства защитного отключения (далее – УЗО) с номинальным дифференциальным током срабатывания не более 30 мА; установка систем контроля и защиты безопасного сверхнизкого напряжения (далее – БСНН). Использование дополнительных защит, таких как уравнивание потенциалов и аварийное электроснабжение.

Группа 2 (Гр. 2) – помещения, в которых контактирующие части и приборы применяются для жизненно важных лечебных процедур, но при этом первичная неисправность в цепи питания не должна приводить к отказу аппаратуры жизнеобеспечения (операционные и пр.).

Нормативные средства защиты, установленные в помещениях медицинских учреждений, не всегда защищают электрооборудование и больных от непредвиденно возникших аварийных ситуаций. Так, РКТ настолько чувствительны к провалам напряжения, что для необратимых сбоев в их работе достаточно доли секунды [4; 5]. Локальные перегревы изоляции, причинами которых являются несимметричные напряжения в сети, повышенная запыленность участка поверхности изоляции и т.д. способствуют её ускоренному старению и возникновению пробоя [6]. Отсутствие диагностики причин тепловой перегрузки медоборудования приводит к ложным отключениям, простоя, недообследования больного и в конечном итоге – к материальному ущербу [7]. Отсутствие контроля целостности токовых цепей и режимов напряжений в питающей трехфазной сети является причиной работы оборудования в неполнофазном режиме, его перегрева и поломки [8].

Виды защит согласно [2], делят на основные, резервные и дополнительные (минимальные, максимальные и специальные).

Основными требованиями к применяемым системам защит являются обеспечения быстродействия, селективности, чувствительности и надежности. Однако выбор системы защиты РКТ и МРТ (по критерию обеспечения быстродействия, селективности, чувствительности и надежности) не всегда эффективен и корректен. Критерием выбора и оценки эффективности работы защиты трехфазных РКТ и МРТ целесообразно использовать потенциально предотвращенный ущерб.

Применение критерия «предотвращенный ущерб» является более логичным и целесообраз-

ным, потому что системы и средства защиты, имеющие различные функции, принцип действия и область применения, имеют различную стоимость.

Постановление задания. Обоснование критерия оценки эффективности работы систем защиты медоборудования.

Изложение основного материала исследования. Решения в области обеспечения безопасности и минимизации ущерба, реализуемые в реально функционирующих и вновь созданных системах защиты медицинского оборудования (далее – МО) – требуют выбора показателей эффективности, анализа стоимости, оценки последствий и определения критериев принятия решений. Когда же наступает реальная необходимость выбора средств защиты МО, то ситуация не всегда оказывается вполне однозначной и определенной [9].

Одним из апробированных и хорошо себя зарекомендовавших вариантов является многоуровневая критериальная оценка выбора системы защиты МО и оценки эффективности ее применения.

Первый (верхний) уровень системы оценки выбора и эффективности предлагает использовать основным критерием эффективности математическое ожидание множества, состоящее из стоимости предотвращенных ущербов $Y = f(y_i)$, количественной оценкой которого является величина стоимости предотвращенного ущерба.

Второй уровень оценки системы выбора и эффективности системы защиты МО использует множество, состоящее из стоимостных показателей элементной базы и систем защиты МО $N = f(C_i)$.

Третий уровень системы оценки выбора и эффективности это множество $B = f(b_i)$, непосредственно определяющих свойства проектируемой системы защиты МО. Множество B определяет способность системы защиты к выполнению максимально необходимого перечня действий, то есть её функциональную полноту и оперативность – способность системы решать поставленные задачи за установленные промежутки времени. Третий уровень оценки характеризуется тем, что на нем формируются показатели, оценивающие любое средство защиты МО, а именно: показатели надежности, быстродействия, селективности, чувствительности и другие.

На рис. 1 приведена схема взаимосвязи уровней защиты МО и воздействующих факторов.

Стоимостный показатель элементов системы защиты МО – $C = f(C_i)$ зависит от множества

$D=f(d_i)$, состоящего из воздействующих факторов, к которым относятся токовая нагрузка d_I , уровни напряжения d_U , температурные показатели МО и частей схемы электроснабжения, уровни сопротивления изоляции d_R , и др.

Стоимостный показатель системы защиты МО определяется выражением:

$$C = \sum_{i=1}^n c_i, \quad (1)$$

где: n – количество дополнительных элементов, блоков и средств системы защиты МО, расширяющих функциональные возможности и зоны

действия системы; c_i – единичная стоимость элементов (блоков, средств и т.д.) определяемая как:

$$C_i = D_i^m \cap B_i^k, \quad (2)$$

где: m – число воздействующих факторов на МО; k – число элементов средств защиты МО.

Полный предотвращенный ущерб Y определяется выражением

$$Y = \sum_{i=1}^s y_i, \quad (3)$$

где s – количество учитываемых единичных ущербов.

y_i – единичный предотвращенный ущерб определяется выражением [10]

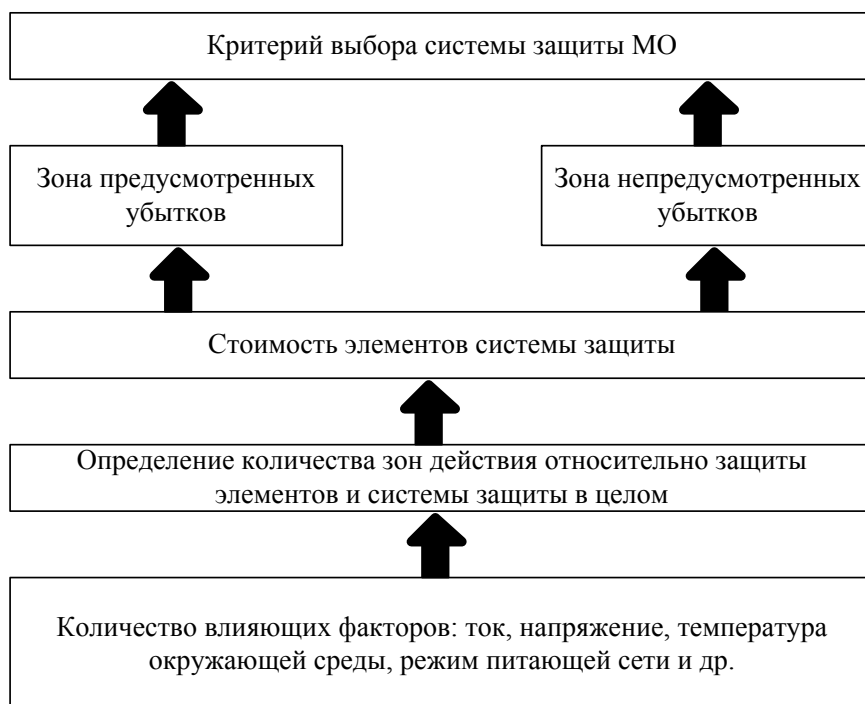


Рис. 1. Схема взаимосвязи уровней защиты МО и воздействующих факторов

Таблица 1

Укрупненные стоимостные показатели ущербов

№	Вид повреждения	Время действия, час/год	Единичная стоимость ущерба, гр/час	Стоимость ущерба, гр/час
1	Отсутствие напряжения	20-40	500,0	15000,0
2	Неполнофазные	12-15	300,0 гр без повреж. 12000,0 с повреж. эл.	3600,0-4500,00 12000,0
3	Ослабление болтовых соединений	5-7	300,0 гр без повреж. 2000,0 с повреж. эл.	1800,0 гр – 12000,0 гр
4	Тепловое воздействие, сокращение срока службы изоляции и ложные срабатывания отключ. и простой МО	15-20	800,0	12000,0 – 15000,0
5	Пробой изоляции	0,1	6400,00	6400,00
6	Отклонения напряжения и несимметричные режимы	800-1000	200,00	16000,0-20000,0
7	Провал напряжения длительностью 0,01 с.	до 10 раз/год.		до 500000,0

$$y_i = C_i^n \cap D_i^m \cap B_i^k, \quad (4)$$

Математическая модель предотвращенного ущерба имеет такой вид:

$$Y = \sum_{i=0}^n C_i^n \cap D_i^m \cap B_i^k. \quad (5)$$

Ущерб, причинённый некорректным использованием систем защиты МО, является многофакторной функцией, зависящей от множества D , состоящего из воздействующих на МО факторов множества B – состоящего из средств и элементов входящих в систему защиты и множества C , состоящего из единичной стоимости средств защиты, определяющих область и характер действия при аварийных ситуациях.

В таблице 1 приведены ориентировочные укрупненные стоимости ущербов при различных аварийных ситуациях.

Приведенные в табл. 1 данные являются ориентировочными и во многом зависят от режима работы питающей сети, остаточного ресурса элементов схемы электроснабжения медицинского учреждения, от квалификации обслуживающего персонала и др.

Для обеспечения надежной работы РКТ и МРТ также используют системы и средства защиты, наименование и стоимость которых приведены в табл. 2.

Критерием эффективности работы системы защиты можно считать коэффициент окупаемости $K_{ок}$.

$$K_{ок} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{\sum_{i=1}^s Y_i}. \quad (7)$$

Числовой диапазон изменения $K_{ок}$ может составлять от 1 года до 7 лет. Чем меньше коэффициент окупаемости $K_{ок}$, тем эффективней средства защиты.

Опыт эксплуатации и ремонтов МО показывает, что однофазное медицинское оборудование, мощность потребления которого составляет не более 10 кВт, и к которому относятся МРТ; литотриптеры, физиотерапевтические приборы и другое оборудование успешно работает с нормированными средствами защиты, а для исключения влияния некачественного напряжения сети, используют источники бесперебойного питания (ИБП).

Оценим эффективность работы ИБП как дополнительной системы защиты.

Ущерб от дополнительного простоя МРТ определится как:

$$Y_{прост} = T \cdot \tau_{прост}, \quad (8)$$

где: T – тариф стоимости часа услуг. Для МРТ (на сегодняшний день) составляет 540 грн/час; $\tau_{прост}$ – время простоя, вызванное отклонением напряжения выше нормируемой величины; увеличением времени обследования больного при снижении напряжения в сети; наличием высших гармонических составляющих и простоях при аварийном отключении. Математическое ожи-

Таблица 2

Виды и стоимости защит

№	Наименование системы защиты	Причины срабатывания и действия защиты	Вид дефекта	Элементы защиты	Стоимость тыс. грн
1	Токовая отсечка	Внутренние короткие замыкания. Мгновенное отключение от сети.	Внутренние поломки МО, пробой кабеля, автоматов ключ.	Установка автоматов, пускателей, токовых реле	1,5 – 3,5
2	Максимально токовая защита	Токовая перегрузка и отключение от сети	Внутренние поломки МО, повышение напряжения сети	Установка токовых реле, трансформаторов тока	2,5 – 4,2
3	Отклонения напряжений и не симметричные режимы	Перегрев МО, сигнализация и отключение от сети	Режимы в сети	Установка стабилизаторов напряжения	4,0 – 35
4	Тепловая защита	Перегрев МО	Внутренние повреждения рем. сети поломка механической части МО	Установка тепловых реле	1,2 – 1,6
5	Защита от провалов напряжения	Несанкционированное отключение. Переключение включения резервного питания	Режимы сети	Установка: источника бесперебойного питания; специальных средств защиты	

Сравнительный анализ систем защиты

№	Вид показателей работы систем	Нормативно устанавливаемые системы защит в медпомещениях ГР(0)	МСУДЗМО
1	Виды защит	Максимально токовая и тепловая защита, токовая отсечка	1. Максимально-токовая защита. 2. Токовая отсечка. 3. Температурная защита. 4. Контроль неполнофазных режимов сети. 5. Контроль токовых линий. 6. Контроль болтовых соединений 7. Контроль диэлектрической изоляции.
2	Возможность диагностирования причин аварийных режимов	Отсутствует	1. Диагностика начального момента ослабления болтового соединения 2. Диагностика отключений и провалов напряжения. 3. Диагностика причин температурной перегрузки РКТ. 4. Диагностика целостности токовых цепей. 5. Диагностика состояния изоляции.
3	Действие защит	Отключение МО от сети	1. Наличие предубедительной сигнализации о начале аварийного режима. 2. Диагностика выявления причины аварии с последующим безаварийным отключением
4	Ожидаемый годовой ущерб грн./год	От 30 тыс. грн. – до 500,0 тыс. грн. / год.	До 8 тыс. грн./год.

дание $\tau_{\text{прое}}$ составляет (24,8-36,0) час/год. $Y_{\text{прое}} = 540 \times 30 = 16200,0$ грн/год.

Превышение температуры изоляции при отключении напряжения $\Delta U = 8,5\%$ и коэффициенте несимметрии $K_{2U} = 3,2\%$ сокращает срок эксплуатации МРТ на 2,65%. Годовой ущерб от сокращения срока эксплуатации МРТ – $Y_{\text{амор}}$, при стоимости МРТ = 7000000 грн. и сроке окупаемости 12 лет составляет $Y_{\text{амор}} = \frac{7000000}{12} \cdot 0,0265 = 15458,3$ грн/год.

Суммарный ущерб $Y = 16200,0 + 15458,3 = 31658,3$ грн/год.

При стоимости ИБП (модель MST-12 Riello-10,8 – 161662,0 грн) получаем коэффициент окупаемости $K_{\text{ок}} = \frac{161662,0}{31658,3} = 5,1$ год.

РКТ работают на трехфазной системе питания, имеют мощность от 35 кВт до 120 кВт и являются чувствительными к провалам напряжения. Несанкционированные отключения, обрывы токоведущих частей, коммутационные переключения в питающей сети в одном из десяти случаев приводит к появлению внутренних перенапряжений и выходу из строя инвертора, стоимость которого составляет 20-35% от стоимости РКТ.

Установка ИБП не решает проблемы защиты РКТ от провалов напряжения в питающей сети.

Время переключения резервного питания в ИБП составляет от 0,005 до 0,03 с. Для защиты РКТ разработана многоуровневая система управления, диагностики и защиты РКТ (МСУДЗМО) [13], которая позволяет проводить полную диагностику режимов питающей сети, токовых цепей болтовых соединений, диагностировать причины температурной перегрузки и контролировать уровень износа диэлектрической изоляции. Ежегодный ущерб при работе РКТ от сети с некачественным напряжением согласно [12] может составить от 30000,0 грн. до 300000,0 грн., в случае выхода из строя инвертора. Стоимость МСУДЗМО составляет 78380,0 грн.

Коэффициент окупаемости

$$K_{\text{ок}} = \frac{78380,0}{30000,0} = 2,6 \text{ год (минимальный)}.$$

В табл. 3 приведены результаты сравнительного анализа эффективности использования традиционных (нормативных) средств защиты РКТ и разработанной системы МСУДЗМО.

Выводы. Предотвращенный ущерб является пересечением множеств, состоящих из видов и зон действия защит и стоимости элементов системы защиты.

Оценкой эффективности работы системы защиты является срок ее окупаемости.

Список літератури:

1. ГОСТ 50571.28-2006 Электроустановки зданий. Часть 7-710. Требования к специальным электроустановкам. Электроустановки медицинских помещений. Москва, 2007. 21 с.
2. Чернобровов Н.В. Релейная защита. Изд.5, М., «Энергия». 1974. 660 с.
3. Системы электроснабжения медицинских помещений. URL: <http://energolider.com/ua/articla-show\139.html> (дата звернення: 13.03.2018).
4. European guidelines on quality criteria for computed tomography, EUR 16262. European commission, 1999.
5. Kalender W.A. Computed tomography: fundamentals, system technology, image quality, applications. Publicis Corporate Publishing, Erlangen, second edition, 2005, 304 p.
6. Старение изоляции под действием тепловых, климатических и механических факторов. URL: <http://refleader.ru/otradyuysjge.html> (дата звернення: 13.03.2018).
7. American College of Radiology (ACR) technical standard for diagnostic medical physics performance monitoring of computed tomography (CT) equipment, 2002, revised version.
8. Самойленко И.А. Классификация и систематизация видов ущерба от низкого качества электроэнергии. Экономика Крыма №2. 2010. – С. 109-115.
9. Воронин В.А., Лебедев Г.М. Об экономическом ущербе от снижения качества электроэнергии и источника его возникновения. Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2016. № 3, С. 79-86.
10. Сигорский В. П.. Математический аппарат инженера. Техніка. Київ, 1975. 768 с.
11. Кривонос В.Е., Злепко С.М., Павлов С.В., Азархов О.Ю., Барановський Д.М.. Комплексная защита компьютерных рентгеновских томографов от нестабильности и провалов питающего напряжения. Вісник ХНУ Серія «Технічні науки». № 5, 2017. С. 192-202.
12. Кривонос В.Е., Коваль Л. Г., Бачинский М. В., Балалаева А.Ю., Барановский Д.М. Влияние качества электроэнергии на работу диагностического медицинского оборудования. Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія № 1(4), 2018. С. 54-63.
13. Пристрій захисту рентгеновського комп'ютерного томографа пат. 120117 Україна: МПКН02Н 5\04. Кривонос В.Е, Злепко С.М., Азархов О.Ю., Коваль Л.Г, № 201793730 опубл. 25.10.2017, Бюл. № 20. 7 с.

КРИТЕРІЙ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ ЗАХИСТУ МЕДИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

У роботі розглянуто види і системи захисту медичного обладнання, що працюють із показниками якості напруги, відмінними від нормованих ГОСТ 13109-97 величинами. Критерієм вибору системи захисту медичного обладнання є безліч складних факторів, що впливають на обладнання, види і зони дії захистів, вартість елементів системи захисту і визначальним є мінімізація запобігання шкоди. Запобігання шкоди є перетином множин, що складаються з видів і зон дії захистів і вартості елементів системи захисту. Оцінкою ефективності роботи системи захисту є термін її окупності.

Ключові слова: відхилення і провали напруги, збиток, магнітно-резонансний томограф, рентгеновський комп'ютерний томограф, критерій ефективності, релейний захист.

CRITERION FOR ASSESSING THE CHOICE AND USE OF MEDICAL EQUIPMENT PROTECTION SYSTEMS

In the work, the types and systems of protection of medical equipment that work with the voltage quality indicators other than those standardized by GOST 13109-97 are considered. The criterion for choosing a system for the protection of medical equipment, apart from the safety of patients, is the set consisting of the factors affecting the equipment, the types and zones of protection, the cost of the elements of the protection system, and the minimization of the prevented damage is determinant. Prevented damage is the intersection of sets consisting of the types and zones of protection and the cost of the elements of the protection system. Evaluation of the effectiveness of the protection system is its payback period.

Key words: deviations and voltage failures, damage, magnetic resonance tomograph, X-ray computer tomograph, efficiency criterion, relay protection.

Семенов А.О.

Вінницький національний технічний університет

РАДІОЕЛЕКТРОННИЙ ПРИСТРІЙ ФОРМУВАННЯ СИГНАЛІВ ДЕТЕРМІНОВАНОГО ХАОСУ НА ОСНОВІ НЕЛІНІЙНОЇ СИСТЕМИ ДУФФІНГА-ХОЛМСА

У роботі наведено результати теоретичних досліджень та комп'ютерного моделювання радіоелектронного пристрою формування сигналів детермінованого хаосу. Отримала подальший розвиток практичного застосування нелінійної динамічної системи Дуффінга-Холмса, яка є базовою в теорії детермінованого хаосу. Розглянуто просту аналогову схему для реалізації нелінійного рівняння Дуффінга-Холмса. Досліджено динаміку хаотичних коливань шляхом математичного моделювання та комп'ютерного схемотехнічного моделювання. Розраховано показники Ляпунова. Отримано фазові портрети, часові діаграми та амплітудо-частотні спектри хаотичних коливань напруги конденсатора та струму індуктивності.

Ключові слова: диференційне рівняння, Дуффінг-Холмс, детермінований хаос, математична модель, хаотичні коливання, фазовий портрет.

Постановка проблеми. Сучасним напрямом проектування радіотехнічних пристроїв і засобів телекомунікацій для систем конфіденційного зв'язку є застосування досягнень математичної теорії нелінійної динаміки: детермінований хаос, біфуркації, фрактальний аналіз [1]. Практичне застосування отримали елементи теорії детермінованого хаосу для побудови радіоелектронних пристроїв [2]. Хаос – це неперіодична поведінка детермінованих нелінійних динамічних систем, яка дуже чутлива до початкових умов. Така особливість детермінованих нелінійних динамічних систем дозволяє будувати як радіоелектронні пристрої з високою заводо захищеністю [1; 2], так і пристрої для виявлення слабких радіосигналів [3]. Тому актуальною науково-технічною задачею є розвиток теорії та створення нових радіоелектронних пристроїв генерування та формування сигналів детермінованого хаосу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо безліч нелінійних динамічних систем, здатних демонструвати хаотичну поведінку. Під час побудови радіоелектронних пристроїв генерування та формування сигналів практичне застосування отримали Ван дер Поль-подібні автоколивальні системи, які демонструють хаотичну поведінку при зовнішній періодичній дії на них [4]. Найбільш зручною для практичної реалізації є нелінійна динамічна система Дуффінга-Холмса [5]. Застосування модифікованої системи

Дуффінга-Холмса дозволяє виявляти слабкі періодичні сигнали при співвідношенні сигнал/шум на рівні $-91..-105$ дБ [3; 5] та здійснювати хаотичне кодування та маскування сигналів криптосистем [6; 7]. Аналіз публікацій показав, що прості та якісні схемні рішення автономних [8] і неавтономних [6; 7; 9; 10] генераторів Дуффінга-Холмса базуються на основі операційних підсилювачів (далі – ОП). При цьому нелінійним елементом у колі зворотного зв'язку операційного підсилювача використовуються: 1) коло зустрічно-паралельного включення двох діодів [8; 9]; 2) коло зустрічно-паралельного включення восьми діодів і трьох резисторів [6; 7]; 3) схема на основі операційного підсилювача з трьома резисторами в колах зворотного зв'язку [10]. При цьому статична ВАХ нелінійних елементів варіантів 1 і 2 є гладкою, а варіанту 3 – кусково-лінійною. Отримані автором у [11] результати досліджень схемного рішення [9] системи Дуффінга-Холмса виявили недоліки нелінійного елемента на основі зустрічно-паралельного включення двох діодів, основним із яких є складність налаштування хаотичного режиму шляхом підбору амплітуди зовнішнього синусоїдального сигналу щодо напруги відкриття діодів. Тому зручним рішенням є застосування нелінійного елемента на основі ОП з резистивними колами зворотного зв'язку, який має кусково-лінійну ВАХ [10]. Водночас не приділено увагу дослідженню стійкості хаотичного режиму при-

строю формування сигналів на основі нелінійної системи Дуффінга-Холмса.

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження радіоелектронного пристрою формування сигналів детермінованого хаосу на основі нелінійної системи Дуффінга-Холмса. Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити такі завдання: 1) здійснити теоретичне дослідження нелінійної динамічної системи Дуффінга-Холмса; 2) обґрунтувати вибір радіоелектронного пристрою для формування сигналів детермінованого хаосу на основі нелінійної системи Дуффінга-Холмса та дослідити його математичну модель; 3) розробити комп'ютерну схемотехнічну модель радіоелектронного пристрою формування сигналів детермінованого хаосу на основі нелінійної системи Дуффінга-Холмса; 4) отримати та порів-

няти результати математичного моделювання та комп'ютерного схемотехнічного дослідження.

Виклад основного матеріалу дослідження. Нелінійна динамічна система Дуффінга-Холмса математично описується диференціальним рівнянням другого порядку вигляду [9; 10]

$$\frac{d^2x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} - x + x^3 = a \sin \omega t, \quad (1)$$

або системою диференціальних рівнянь першого порядку [9; 10]

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, \\ \dot{x}_2 = F_1(x_1) - bx_2 + a \sin \omega t, \end{cases} \quad (2)$$

де

$$F_1(x_1) = x_1 - x_1^3. \quad (3)$$

У рівняннях (1) та (2) b , a та ω – це коефіцієнт згасання, амплітуда та частота зовнішньої періодичної дії. Регулюючи будь-які параметри керу-

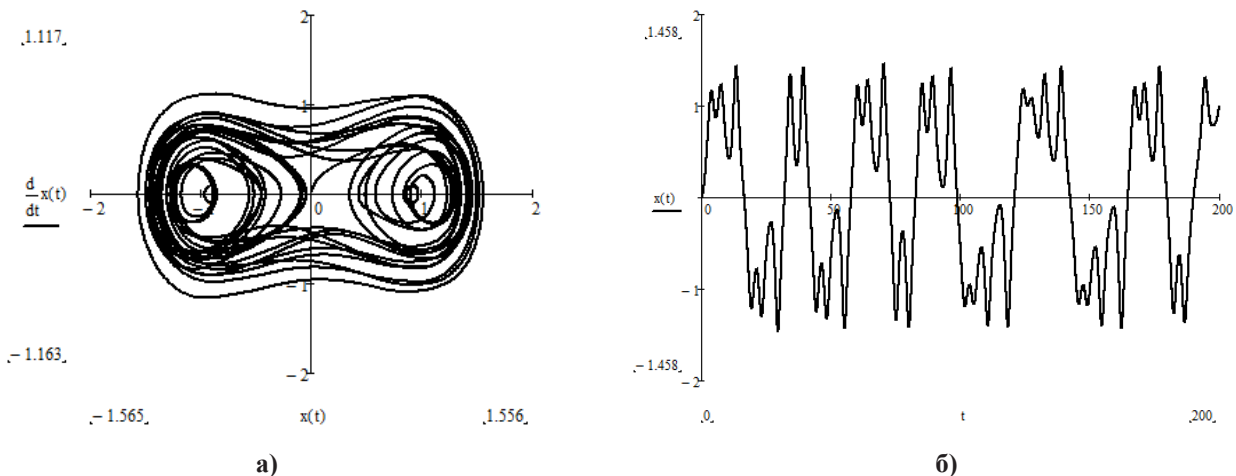


Рис. 1. Фазовий портрет (а) та форма сигналу $x(t)$ (б) динамічної системи Дуффінга-Холмса при $a=0.25$, $b=0.1$, $\omega=1.0$

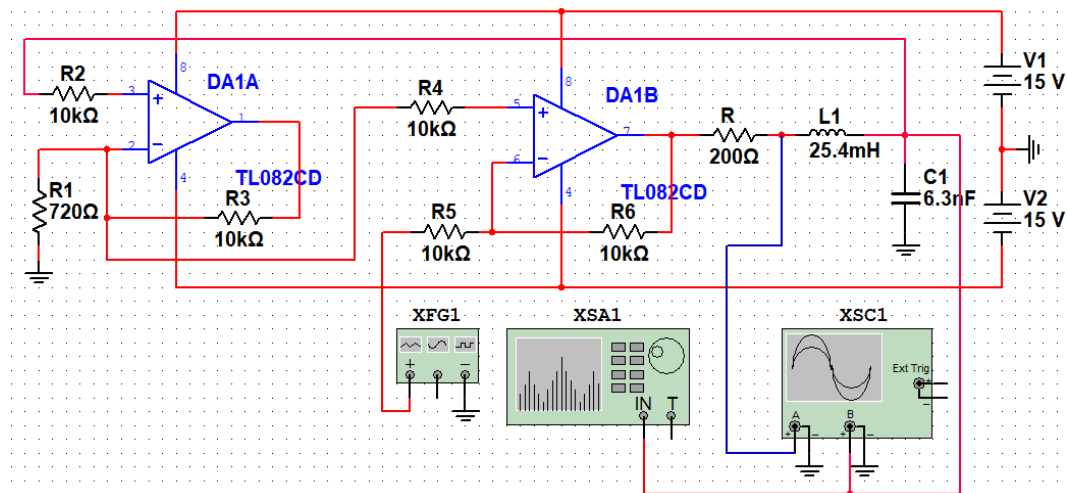


Рис. 2. Електрична схема радіоелектронного пристрою на основі ОП для реалізації динамічної системи Дуффінга-Холмса в програмі NI Multisim 10.0

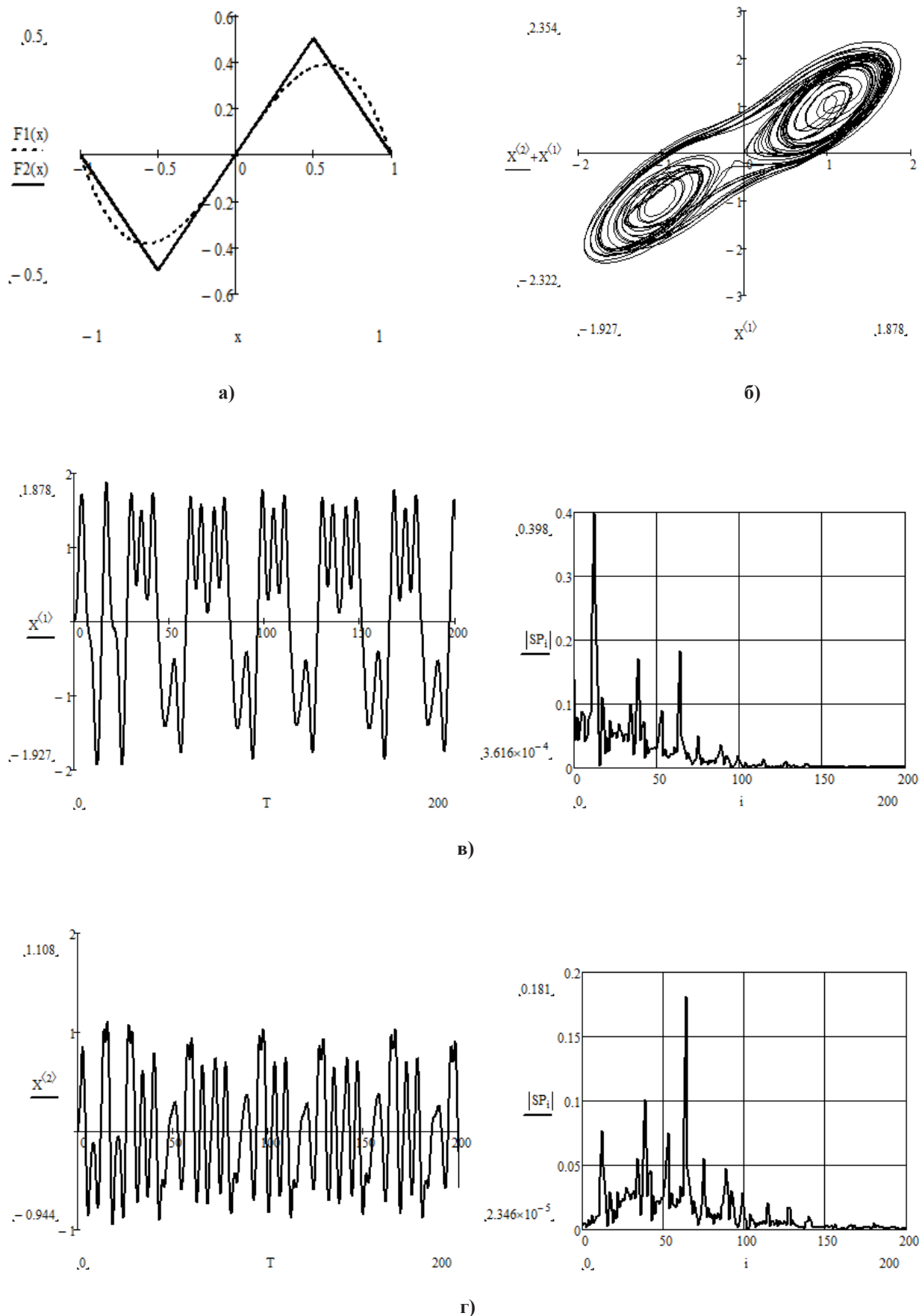
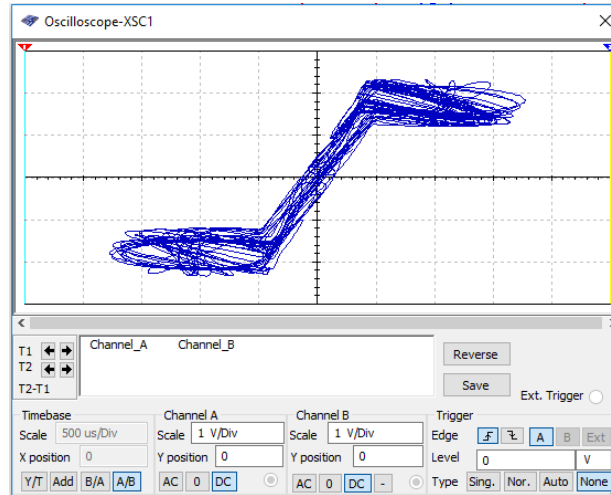


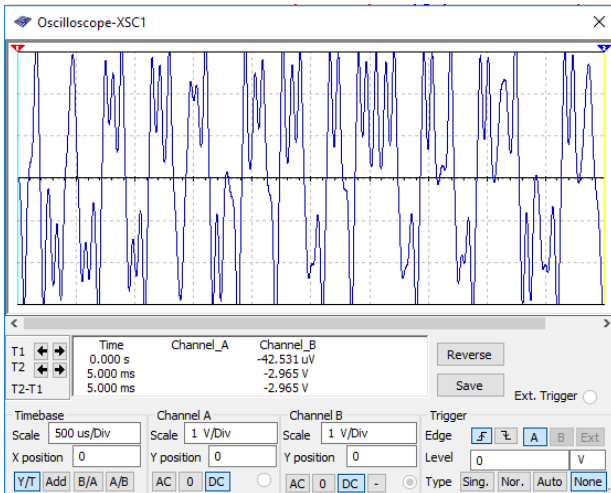
Рис. 3. Результати математичного моделювання: графіки нормованих функцій апроксимації ВАХ нелінійного елемента (а), фазовий портрет динамічної системи (б), часова діаграма та амплітудо-частотний спектр нормованих змінних x_1 (в) та x_2 (г)

вання, а саме a , ω або b , можна спостерігати періодичні та хаотичні коливання. Числові результати хаотичного режиму, отримані з диференціального рівняння (1) за допомогою програмного пакета MathCad 15.0 показані на рис. 1.

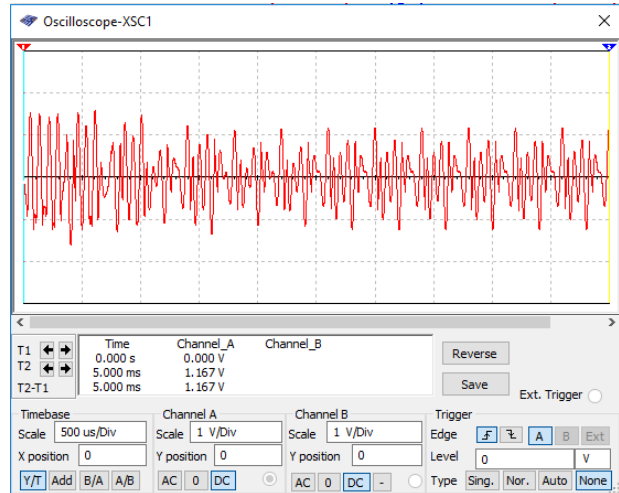
Електрична схема радіоелектронного пристрою формування сигналів детермінованого хаосу [10] з вимірювальним обладнанням у пакеті програм схемотехнічного моделювання NI Multisim 10.0, подана на рис. 2.



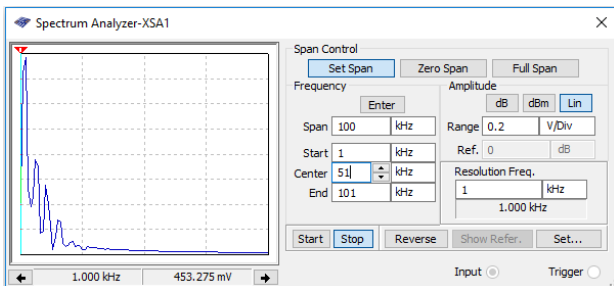
а)



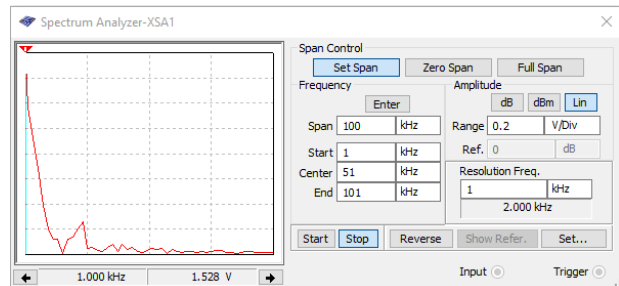
б)



в)



г)



д)

Рис. 4. Результати комп'ютерного схемотехнічного моделювання: а) фазовий портрет пристрою в площині генерованих напруг U_C і $U_C + U_L$; б) осцилограма коливань напруги на конденсаторі U_C ; в) осцилограма коливань напруги на котушці індуктивності I_L ; г) амплітудо-частотний спектр коливань напруги на конденсаторі U_C ; д) амплітудо-частотний спектр коливань напруги на котушці індуктивності I_L

Структурно пристрій складається з таких блоків: 1) підсилювального каскаду на основі ОП DA1.2 на інвертувальний вхід якого подається сигнал зовнішньої синусоїдальної дії; 2) послі-

довного коливального контуру на елементах R, L і C на виході підсилювального каскаду; 3) нелінійного елемента на основі ОП DA1.1, який включений у коло додатного зворотного зв'язку, що

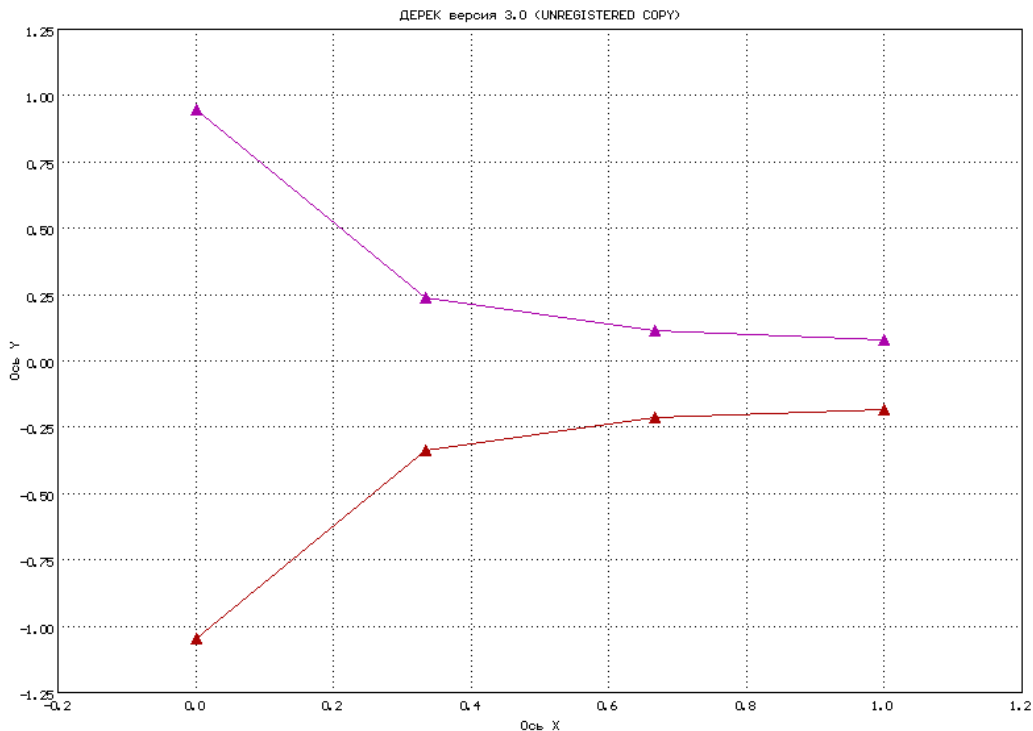


Рис. 6. Графік залежності L1 і L2 (вісь y) від коефіцієнта $a=0,05..0,75$ (вісь x)

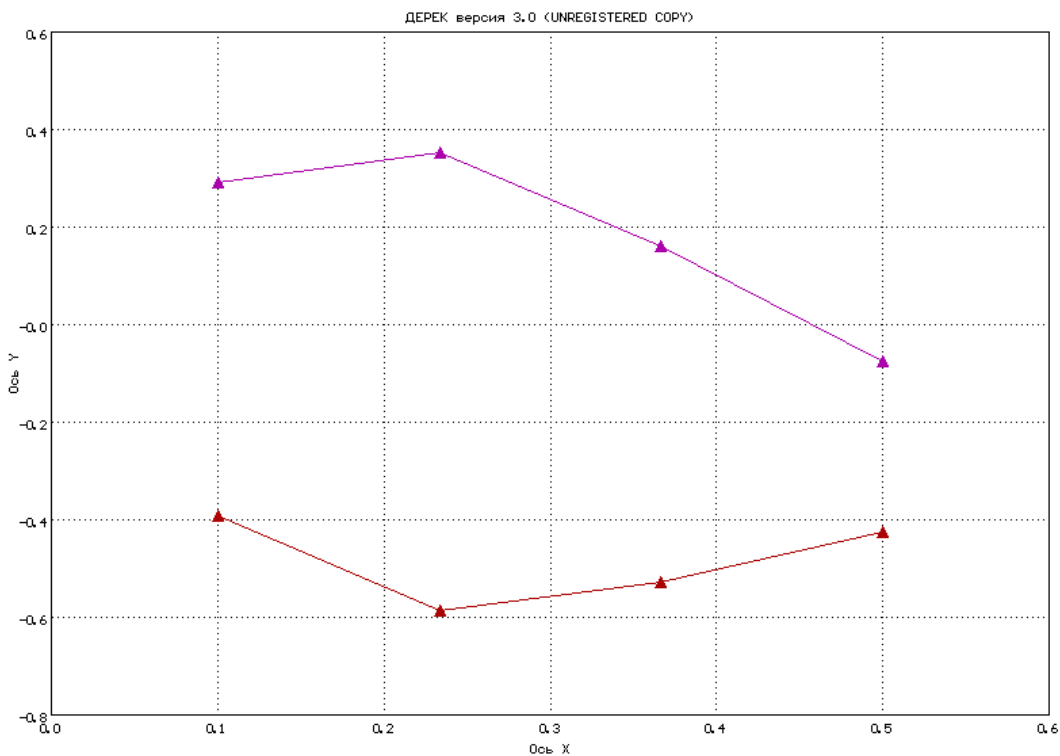


Рис. 7. Графік залежності L1 і L2 (вісь y) від коефіцієнта $b=0,1..0,5$ (вісь x)

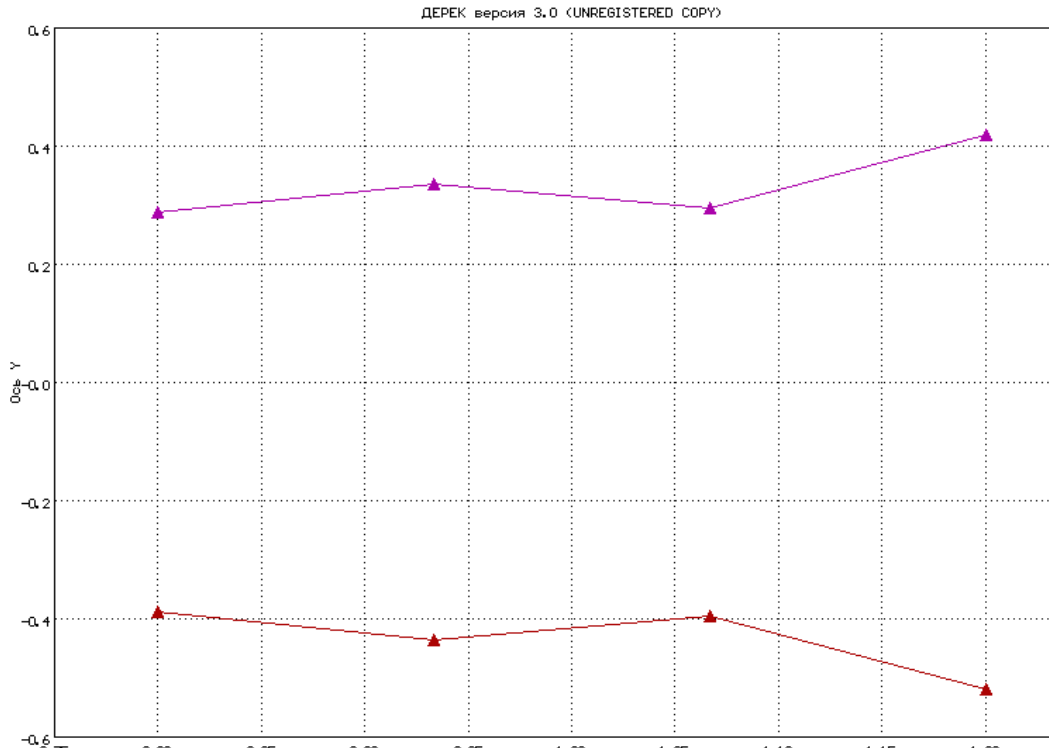


Рис. 8. Графік залежності L1 і L2 (вісь y) від коефіцієнта $\omega=0,8..1,2$ (вісь x)

охоплює підсилювальний каскад на основі ОП DA1.2. Математична модель пристрою на рис. 2 побудована на основі скороченою системи диференціальних рівнянь, отриманих за законами Кірхгофа

$$C \frac{dU_C}{dt} = I_L, \quad (3)$$

$$L \frac{dI_L}{dt} = F_E(U_C) - I_L R + A \sin(\omega t - \pi), \quad (4)$$

де U_C – напруга на конденсаторі C , а I_L – струм через індуктивність L . У рівнянні (3) було зроблено припущення про те, що $R_2 \gg \rho = \sqrt{L/C}$. Постійна фаза π у зовнішній силі $A \sin(\omega t - \pi)$ може бути опущена, оскільки вона не впливає на динаміку системи.

Каскад на основі ОП DA1.1 працює в режимі обмеження струму та регулює напругу насичення шляхом зміни величини резистора R_1 . Нелінійна функція $F_E(U_C)$ може бути задана трисегментною кусково-лінійною апроксимацією [9; 10]

$$F_E(U_C) = \begin{cases} -(U_C + kU^*), & U_C < -U^*, \\ (k-1)U_C, & -U^* \leq U_C \leq U^*, \\ -(U_C - kU^*), & U_C > U^*, \end{cases} \quad (5)$$

де $k = R_6/R_5 + 1$ – коефіцієнт підсилення каскаду підсилення неінвертуючого входу (коефіцієнт підсилення каскаду підсилення інвертувального входу відносно до джерела синусоїдального

сигналу $k' = -R_6/R_5$), U^* – напруга насичення. Зручно вибрати $k = 2$, встановивши $R_6 = R_5$. Шляхом введення безрозмірних змінних

$$x_1 = \frac{U_C}{2U^*}, \quad x_2 = \frac{\rho I_L}{2U^*}, \quad \tau = \frac{t}{\sqrt{LC}}, \quad \omega = \omega_0 \sqrt{LC}, \quad (6)$$

$$a = \frac{A}{2V^*}, \quad b = \frac{R}{\rho}, \quad \rho = \sqrt{\frac{L}{C}},$$

у роботах [9; 10] отримано математичну модель генератору вигляду

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, \\ \dot{x}_2 = F_2(x_1) - bx_2 + a \sin \omega \tau, \end{cases} \quad (7)$$

де нормована функція апроксимації [9]

$$F_2(x_1) = \begin{cases} -(x_1 + 1), & x_1 < -0.5, \\ x_1, & -0.5 \leq x_1 \leq 0.5, \\ -(x_1 - 1), & x_1 > 0.5. \end{cases} \quad (8)$$

Системи диференціальних рівнянь (2) і (7) однакові та відрізняються лише нормованими функціями апроксимації (3) і (8). На рис. 3 наведено отримані автором результати математичного моделювання системи диференціальних рівнянь (7) з урахуванням кусково-лінійної функції апроксимації ВАХ (8) у програмі MathCad 15.0 при таких значеннях коефіцієнтів $a=0.25$, $b=0.1$, $\omega=1.0$. Систему диференціальних рівнянь (7) вирішено за допомогою стандартної функції $rkfixed()$, в основу якої покладено метод Рунге-Кутти 4-го порядку.

Порівняння результатів моделювання динамічної системи (7) при різних функціях нелінійного елемента (3) і (8) підтверджує зберігання динаміки хаотичних коливань у цілому, але при різних коефіцієнтах a , b за умови постійної ω .

Результати комп'ютерного схемотехнічного моделювання подані на рис. 4 при таких параметрах сигналу генератора: вид сигналу – синусоїдальний, частота – 12,581 кГц, амплітуда – 200 мВ.

При зазначених на рис. 2 параметрах радіокомпонентів коефіцієнти системи диференціальних рівнянь становлять $a=0.2514$, $b=0.0996$, $\omega=1.00004$.

Модельне дослідження стійкості хаотичного режиму динамічної системи Дуффінга-Холмса на основі рівнянь (6)-(8) здійснено за методом Ляпунова за допомогою програми DEREK [12]. Як кількісні характеристики були оцінені ляпуновські показники атракторів. Для динамічної системи другого порядку спектр ляпуновських показників атракторів повинен задовольняти дві вимоги [12]: 1) сума усіх показників системи повинна бути від'ємною, 2) обов'язково повинен бути хоча б один нульовий показник. Програма DEREK обчислює частину спектрів показників Ляпунова (не більше перших 4-х), використовуючи чисельний

ітераційний алгоритм Бенеттіна [12]. Для динамічної системи Дуффінга-Холмса було пораховано два старші показники Ляпунова

$L1= 2.9153389E-0001$ і $L2= -3.9153908E-0001$.

Також за допомогою програми DEREK було отримано графіки залежностей показників Ляпунова від коефіцієнтів a , b і ω (рис. 6 – рис. 8).

Висновки. У роботі отримано результати теоретичних досліджень, математичного та комп'ютерного схемотехнічного моделювання пристрою формування сигналів детермінованого хаосу на основі нелінійної динамічної системи Дуффінга-Холмса. Досліджено динаміку режиму розвинутого хаосу при параметрах системи Дуффінга-Холмса $a=0.25$, $b=0.1$, $\omega=1.0$. Показано, що при дії зовнішнього синусоїдального коливання з частотою, рівною резонансній частоті коливальної системи радіоелектронного пристрою на основі інвертувального підсилювача, до неінветувального входу якого підключений нелінійний елемент, виникає стійкий хаотичний режим. Параметрами хаотичних коливань можна ефективно керувати шляхом зміни опорів резисторів у колах зворотного зв'язку операційних підсилювачів або шляхом зміни амплітуди та/або частоти зовнішнього синусоїдального сигналу.

Список літератури:

1. Стасєв Ю.В., Васюта К.С., Женжера С.В. Інформаційні системи на основі динамічного хаосу. Системи озброєння і військова техніка. 2009. № 1(17). С. 134-138.
2. Васюта К.С., Чечуй О.В., Глушенко М.О. Динамічний хаос в телекомунікаційних системах. Системи обробки інформації. 2010. Вип. 1(82). С. 13-16.
3. Мартинюк В.В., Федула М.В. Виявлення слабких періодичних сигналів із застосуванням модифікованої системи Дуффінга-Холмса дробового порядку. Вісник Національного технічного університету України «КПІ» Серія «Радіотехніка. Радіоапаратобудування». 2013. № 53. С. 13-22.
4. Кузнецов А.П., Селиверстова Е.С., Трубецков Д.И., Тюрюкіна Л.В. Феномен уравнения Ван дер Поля. Известия вузов «Прикладная нелинейная динамика». 2014. Т. 22, № 4. С. 3-42.
5. Патрушев Е.М., Патрушева Т.В., Наздрюхин И.С. Автоматическая симуляция в среде Matlab Simulink на примере модели генератора Дуффинга-Холмса. Ползуновский альманах. 2016. № 2. С. 181-183.
6. Ch. K. Volos, I. M. Kyprianidis, I. N. Stouboulos. Experimental Demonstration of a Chaotic Cryptographic Scheme. WSEAS Transactions on Circuits and Systems. November 2006. P. 1-8.
7. Ch. K. Volos, I. M. Kyprianidis, I. N. Stouboulos. Chaotic Cryptosystem based on Inverse Duffing Circuit. Proc. of the 5th WSEAS Int. Conf. on Non-Linear Analysis, Non-Linear Systems and Chaos, Bucharest, Romania, October 16-18, 2006. P. 92-97.
8. A. Tamaševičius, S. Bumelienė, R. Kirvaitis, G. Mykolaitis, E. Tamaševičiūtė, E. Lindberg. Autonomous Duffing-Holmes Type Chaotic Oscillator. Electronics and Electrical Engineering. 2009. № 5(93). P. 43-46.
9. E. Tamaševičiūtė, A. Tamaševičius, G. Mykolaitis, S. Bumeliene, E. Lindberg. Analogue Electrical Circuit for Simulation of the Duffing-Holmes Equation. Nonlinear Analysis: Modelling and Control. 2008. Vol. 13. No. 2. P. 241-252.
10. Патрушева Т.В., Патрушев Е.М. Простая электрическая модель генератора Дуффинга-Холмса. Ползуновский альманах. 2012. № 2. С. 11-14.
11. Семенов А.А., Філевський Д.О., Квітчук Я.В. Простий неавтономний генератор детермінованого хаосу типу Дуффінга-Холмса. Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування (СПРТП-2017): матеріали VI міжнародної науково-технічної конференції, м. Вінниця, 28-30 вересня 2017 р. С. 79-80.
12. DEREK-ODE. Исследование динамических систем / [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://derek-ode.sytto.com>.

**РАДИОЭЛЕКТРОННОЕ УСТРОЙСТВО ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛА
ДЕТЕРМИНИРОВАННОГО ХАОСА НА ОСНОВЕ НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ
ДУФФИНГА-ХОЛМСА**

В работе приведены результаты теоретических исследований и компьютерного моделирования радиоэлектронного устройства формирования сигналов детерминированного хаоса. Получила дальнейшее развитие практического применения нелинейная динамическая система Дуффинга-Холмса, которая является базовой в теории детерминированного хаоса. Рассмотрено простую аналоговую схему для реализации нелинейного уравнения Дуффинга-Холмса. Исследована динамика хаотических колебаний путем математического моделирования и компьютерного схемотехнического моделирования. Рассчитаны показатели Ляпунова. Получены фазовые портреты, временные диаграммы и амплитуда-частотные спектры хаотических колебаний напряжения конденсатора и тока индуктивности.

Ключевые слова: дифференциальное уравнение, Дуффинг-Холмс, детерминированный хаос, математическая модель, хаотические колебания, фазовый портрет.

**RADIO-ELECTRONIC DEVICE FOR FORMING DETERMINISTIC CHAOS SIGNALS BASED
ON THE DUFFING-HOLMES NON-LINEAR SYSTEM**

The paper presents results of theoretical research and simulation of the radio-electronic device for forming the deterministic chaos signals. The Duffing-Holmes non-linear system, which is basic in the deterministic chaos theory, got its practical application. Dynamics of chaotic oscillation was investigated by mathematical modeling and computer circuit simulation. A simple analogous circuit implementing the Duffing-Holmes non-linear equation was considered. Lyapunov exponents have been calculated. Phase portraits, time diagrams, and amplitude-phase spectra of capacitor voltage and inductance current chaotic oscillations are obtained.

Key words: differential equation, Duffing-Holmes, deterministic chaos, mathematical model, chaotic oscillation, phase portrait.

УДК 004.7

Скулиш М.А.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Романов О.І.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Глоба Л.С.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ПРИНЦИП ОБСЛУГОВУВАННЯ ПОТОКІВ У ГЕТЕРОГЕННОМУ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

У статті запропоновано принцип обслуговування потоків у гетерогенному телекомунікаційному середовищі (ГТС), який забезпечить гнучкість та масштабованість системи керування процесом обслуговування гібридних телекомунікаційних сервісів у ГТС, функції керування процесом обслуговування абонента, зокрема пошук абонента, пошук фізичних елементів, які беруть участь у процесі передання, і передання керівного впливу на відповідні фізичні елементи, переносяться у хмару, усі підсистеми мобільного зв'язку є керованими із контролерів, розташованих у дата-центрі, взаємодія між контролерами підсистем із метою керування відбувається лише всередині дата-центру, що дозволить зменшити кількість службових потоків телекомунікаційною мережею.

Ключові слова: гібридний телекомунікаційний сервіс, 5G, LTE, SDN, NFV, гетерогенне телекомунікаційне середовище.

Постановка проблеми. Мережа мобільного зв'язку сьогодні – це складана система, яка забезпечує не лише доступ до різноманітних сервісів, але й гарантує якість обслуговування на всіх етапах обслуговування end-to-end. Від підсистем мобільного зв'язку очікують виконання когнітивних функцій, пов'язаних як із переданням даних, так і з організацією процесу керування обслуговуванням. Когнітивні функції розгортаються не лише у ядрі, а розгортаються на кожному етапі обслуговування, забезпечується самоналаштування, оптимізація, навчання, моніторинг підсистем.

Особливості розвитку інформаційно-телекомунікаційних мереж визначаються такими аспектами:

– у зв'язку зі зближенням індустрії інформаційних та комунікаційних технологій телекомунікаційна інфраструктура все більше використовує хмарні обчислення. Телекомунікаційні оператори надають хмарні сервіси, а також застосовують технології хмарних обчислень для оптимізації

своїх телекомунікаційних платформ та систем підтримки [1];

– спостерігається відсутність зворотного зв'язку між якістю послуг, які надаються, та організацією процесів взаємодії у гетерогенному телекомунікаційному середовищі; хаотичне завантаження обчислювальних та телекомунікаційних ресурсів, які забезпечують розподілену обчислювальну систему.

– потреба в гнучких моделях та методах керування якістю обслуговування гібридних телекомунікаційних сервісів (далі – ТКС), які використовують переваги гетерогенного телекомунікаційного середовища та враховують ефективність фізичних процесів.

Запровадження технологій програмно керованих мереж потребує розроблення нових принципів функціонування телекомунікаційної мережі та процесів обслуговування службових потоків обслуговування, нових моделей теорії масового обслуговування для оцінки параметрів функціонування системи, своєчасного виконання

обчислювальних операцій для забезпечення потреб ТКС.

Через відсутність методологічної бази для організації роботи гетерогенного телекомунікаційного середовища його ресурси використовуються хаотично, завдання оптимізації вирішені частково або локально, що призводить до погіршення контролю та забезпечення показників якості послуг для кінцевих користувачів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Із появою парадигми хмарних обчислень розширюються можливості організації процесу обслуговування в телекомунікаційних системах у спеціалізації [2] представлені основні архітектурні рішення, де замість складних апаратних рішень, у яких запропоновані способи віртуалізації мережевих функцій різних ділянок мережі, що дозволить налаштувати обчислювальні ресурси обслуговування.

Системи керування телекомунікаціями розвивалися паралельно з розвитком телекомунікаційних мереж. Класичними задачами систем керування є визначення найкоротшого шляху для потоку даних, розподіл навантаження між вузлами мережі та інші.

У процесі віртуалізації мережевих функцій для систем мобільного зв'язку одним із варіантів розвитку віртуалізації елементів мережі є винесення функцій мережевого вузла, які пов'язані з керуванням цього елемента в окремі програмні компоненти, які розміщуються у хмарній структурі, у гетерогенній системі дата-центрів. Основний підхід, який описано для систем програмно керованих мереж полягає в тому (НЖН), що розділяється площина передавання даних та площина керування мережею, а окремим шаром є множина прикладних програмних компонентів.

Також стали з'являтися рішення зі створення контролерів базових станцій, які будуються по аналогії із системами SDN-контролерів, принцип роботи цієї системи є розвитком існуючих SDN-контролерів, наприклад, є контролер OpenDaylight. Також розробляються контролери для програмно керованого радіо [3; 4]. Такі системи – це програмні комплекси, які виконують задані мережеві функції керування.

Ефективність виконання функцій керування залежить від організації обчислювального процесу для даних функцій. Отже, є необхідність організувати обчислювальний процес для наборів мережевих функцій, таких як контролер радіо, транспортної мережі або контролер ядра мережі, або контролер маршрутизатора на границі локаль-

ної мережі оператора зв'язку, який пропонується віртуалізувати; це будь який мережевий елемент, який є керованим та його можна представити відповідно до цієї концепції на функції передавання даних та функції керування елементом.

Постановка завдання. Організація цих функцій сьогодні активно досліджується науковою спільнотою. Натепер створено протоколи та інтерфейси між елементами керування [5]; розробляються спеціалізації та стандарти з опису інтерфейсів між блоками мережевих функцій. Постає завдання організації ефективного керування процесом обслуговування кінцевих користувачів у такій гетерогенній системі керування.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Система керування гетерогенним телекомунікаційним середовищем, що реалізує запропонований принцип обслуговування потоків із віртуалізацією ресурсів у гетерогенному телекомунікаційному середовищі, представлена на рис. 1.

Усі підсистеми мобільного зв'язку є керованими із контролерів, розташованих у дата-центрі, взаємодія між контролерами підсистем із метою керування відбувається лише всередині дата-центру. Функції керування процесом обслуговування, зокрема пошук абонента, пошук фізичних елементів, які беруть участь у процесі передавання, і передавання керівного впливу на відповідні фізичні елементи переносяться у хмару.

Абонентський пристрій для організації зв'язку взаємодіє з контролером базової станції, розташованим у дата-центрі. Відповідно до протоколів, контролери підсистем взаємодіють між собою на рівні дата-центру, надсилаючи фізичному обладнанню кінцеві керівні рішення для запуску процесу передавання даних.

Наразі розробляється методологічна база для реалізації концепції NFV (мережеві функції вір-

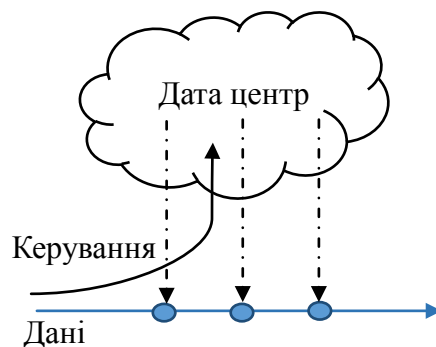


Рис. 1 Принцип обслуговування потоків із віртуалізацією ресурсів у ГТС

туалізації). Перший підхід перенаправляє через хмарні ресурси лише потоки керування. Другий підхід полягає у використанні хмарних дата центрів для оброблення як потоків керування мережею, так і інформаційних потоків. Запропонований принцип є вдосконаленням першого підходу, суть якого полягає у віртуалізації мережевих функцій, що дозволяє відокремлювати систему керування вузлами мобільної мережі від системи передавання даних.

На рис. 2 наведено приклад розділення функцій ядра мережі LTE. Було проаналізовано основні функції підсистем ядра і виділено ті функції, які пов'язані з керуванням та передаванням даних. Функції передавання даних вирішуються у віртуалізованому середовищі, розгорнутому на базі групи дата-центрів.

У телекомунікаційній частині ядра EPC зберігається виконання таких функцій, які пов'язані з процесом передавання даних:

F1 – функції фільтрації пакетів за користувачами і законного перехоплення трафіку;

F3 – базова маршрутизація пакетного трафіку і перехоплення пакетного трафіку;

F4 – функціонал «якірної» точки (точки об'єднання трафіка) для хендвера між базовими станціями NodeB всередині однієї мережі доступу в зоні обслуговування базових станцій згідно з набором правил та інструкцій;

До віртуалізованої платформи пропонується перенести виконання функцій підсистем ядра EPC, які пов'язані керуванням:

F2 – функції розподілу пулу IP-адрес для пристроїв користувачів UE та функціонал PCEF;

F5 – оброблення функціоналу BBERF;

F6 – Traffic Detection Function;

F7 – User Data Repository (UDR);

F8 – Application Function (AF);

F9 – Система тарифікації (OCS).

Структура мережі та контроль якості обслуговування користувачів відбувається у вузлах. Традиційно підсистеми мережі LTE виконують набір функцій, відповідно до стандартів та специфікацій організації 3GPP. У роботі пропонується розділити функції керування підсистемами та функції, які пов'язані з процесом передавання даних безпосередньо до мережі LTE.

Модифікована архітектура мережі оператора зв'язку із застосуванням віртуалізованих функцій керування підсистемами представлена на рис. 3. Функції передавання даних реалізовано у телекомунікаційній системі, функції керування підсистемами виконуються в обчислювальному середовищі, яке організоване у хмарному дата-центрі складної структури.

Потоки даних позначено прямими лініями, потоки керування всередині дата-центру позначено пунктирними лініями з двома крапками, потоки взаємодії та керівного впливу від підсистем, які розміщені у дата-центрі, до програмно керованих підсистем телекомунікаційного обладнання позначено пунктирними лініями з однією крапкою.

Особливістю системи керування, яка реалізується, є організація віртуальної мережі обслу-

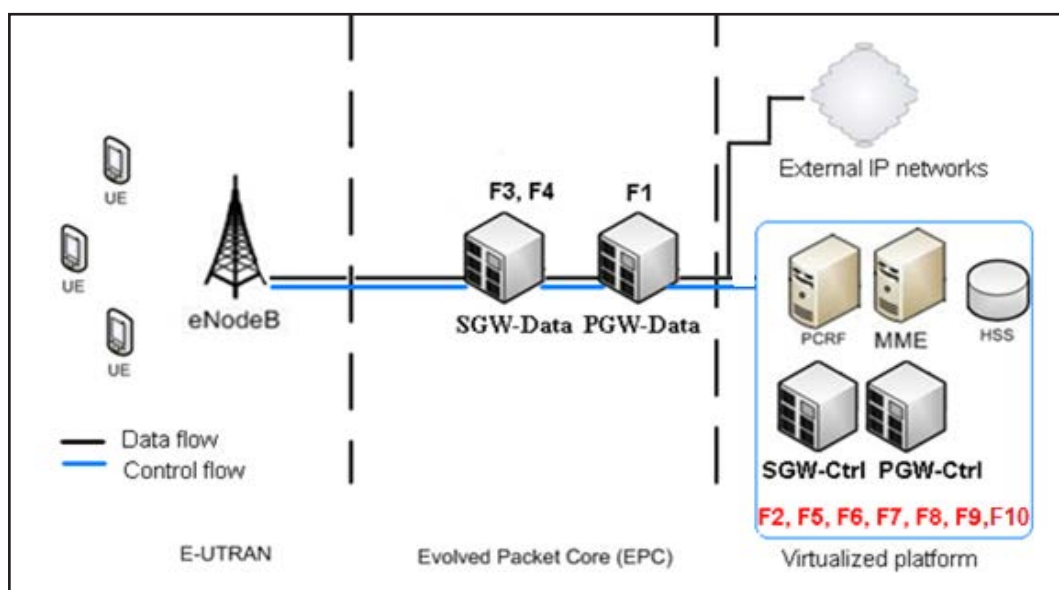


Рис. 2. Розподіл функцій ядра мережі між фізичними та віртуальними пристроями

говування. У кожному вузлі віртуальної мережі віртуальних функцій, вузли мережі віртуалізованих мережевих функцій пов'язані з інтерфейсами взаємодії функцій керування. При обслуговуванні системи мобільного зв'язку можуть бути отримані статистичні дані оцінки обслуговування та потоків. Постає завдання організації функціону-

вання системи керування, формування правил та підходів, розроблення методів і моделей організації процесу обслуговування в гетерогенній телекомунікаційній системі.

Віртуальна мережа обслуговування гібридних телекомунікаційних сервісів представлена на рис. 4. Вузол віртуальної мережі – це вірту-

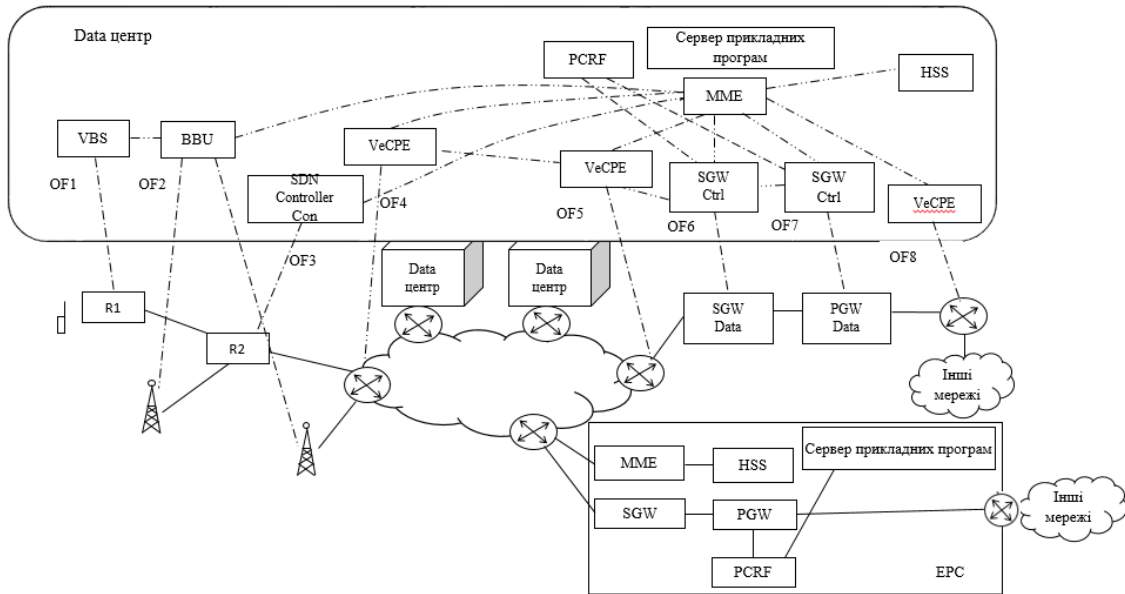


Рис. 3. Запропонована архітектура мережі оператора зв'язку з віртуалізацією мережевих функцій керування

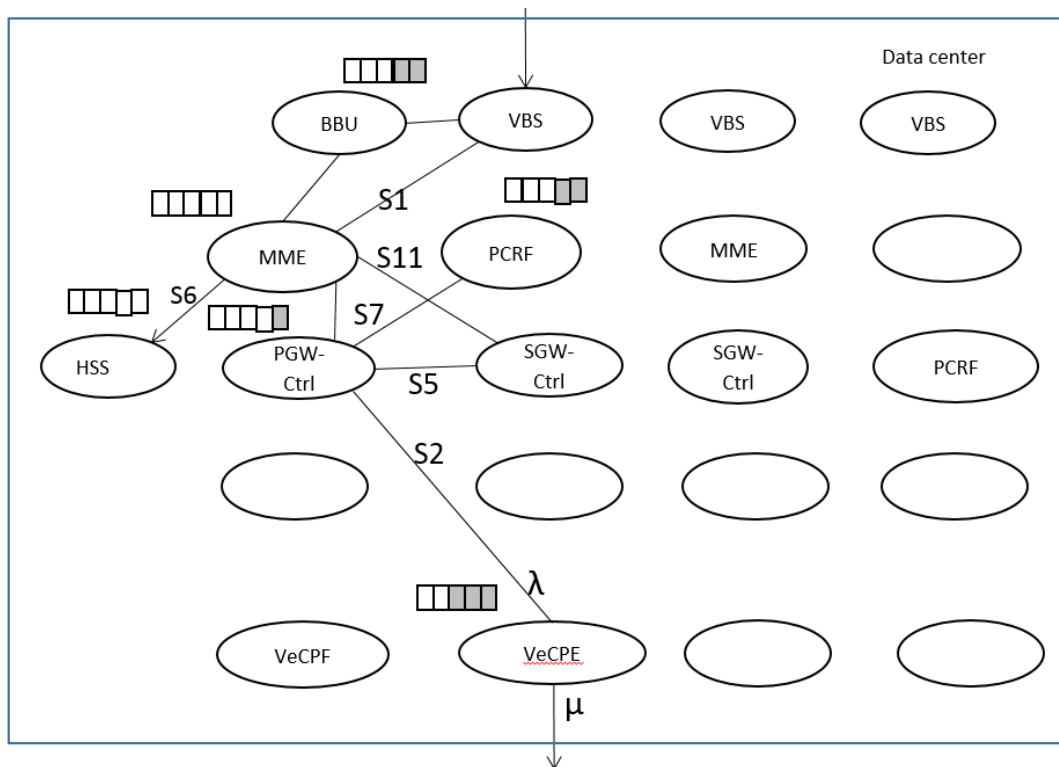


Рис. 4. Обслуговування потоків керування у віртуальній мережі гетерогенного телекомунікаційного середовища

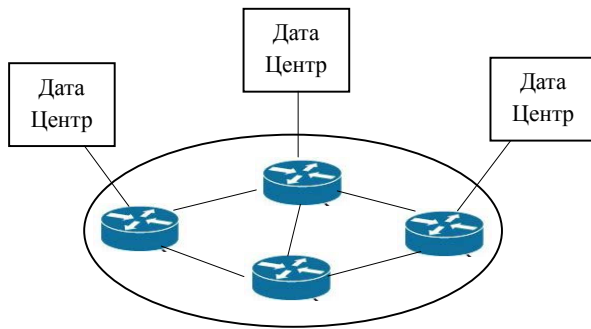


Рис. 5. Гетерогенне телекомунікаційне середовище

альна машина, у якій виконуються функції підсистеми мережі мобільного зв'язку. У віртуальній машині реалізуються обчислювальні функції керування мережевим елементом. Зв'язки між віртуальними вузлами визначаються інтерфейсами взаємодії мережевих елементів, відповідно до стандартів та специфікації технології LTE. Віртуальна мережа представлена на рис. 8, де λ – інтенсивність надходження запитів на виконання функцій віртуалізованим мережевим елементом, а μ – інтенсивність обслуговування запитів у мережевій функції (кількість запитів обслугованих за одиницю часу).

При впровадженні концепції віртуалізації мережевих функцій виникає необхідність контролю сумісної роботи підсистем фізичних (телекомунікаційних) та хмарних. Основні функції контролю ефективності обслуговування гібридних телекомунікаційних сервісів, пропонується

реалізувати у підсистемі PCRF ядра мобільної мережі, функції якої будуть розширені.

Особливість функціонування віртуальної мережі, представленої на рис. 4, полягає в тому, що обчислювальні вузли, де розміщені окремі обслуговуючі сутності, розподілені по системі дата-центрів і територіально рознесені так, як показано на рис. 5. Телекомунікаційні канали, які обслуговують зв'язок між дата-центрами, дають затримки в обслуговуванні. Джерелом вхідного навантаження на мережу є точки доступу, зокрема контролери точок доступу, які обслуговують службові запити нових потоків. Усе це необхідно врахувати при організації процесу керування обслуговуванням гібридного сервісу в гетерогенному телекомунікаційному середовищі.

Висновки. Удосконалено принцип керування телекомунікаційною системою, який полягає в тому, що всі підсистеми мобільного зв'язку стають керованими з контролерів, розташованих у дата-центрі, взаємодія між контролерами підсистем із метою керування відбувається лише всередині дата-центру, що дозволить зменшити кількість службових потоків телекомунікаційною мережею, забезпечити масштабованість та гнучкість реконфігурації мережі

Розроблена архітектура локальної мережі оператора мобільного зв'язку дозволяє оцінити переваги, вузькі місця віртуалізації мережевих функцій та визначити особливості забезпечення показників якості обслуговування у гетерогенному телекомунікаційному середовищі.

Список літератури:

1. ITU-T M.3371 (10/2016) Требования к управлению услугами в системе управления электросвязью, совместимой с облаком. URL: <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=13064&lang=ru>.
2. GS NFV 001 V1.1.1 (10/2013) Network Functions Virtualisation (NFV)/ Use cases. URL: http://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/NFV/001_099/001/01.01.01_60/gs_NFV001v010101p.pdf.
3. Скулиш М.А. Задача розподілу абонентського навантаження між базовими станціями з підтримкою SDR / М.А. Скулиш, А.А. Заставенко. Телекомунікаційні та інформаційні технології. 2016. № 4. С. 99-105. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vduikt_2016_4_17.
4. Santos Ricardo. A SDN controller architecture for Small Cell Wireless Backhaul using a LTE Control Channel / Ricardo Santos, Andreas Kessler // World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM), 2016 IEEE 17th International Symposium on A. – 28 July 2016.
5. Open Air Interface Cloud RAN. 5G software alliance for democratising wireless innovation. URL: http://www.openairinterface.org/?page_id=466.
6. ETSI GS NFV 003 (12/2014): "Network Functions Virtualisation (NFV); Terminology for Main Concepts in NFV". URL: http://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/NFV/001_099/003/01.02.01_60/gs_NFV003v010201p.pdf.

ПРИНЦИП ОБСЛУЖИВАНИЯ ПОТОКОВ В ГЕТЕРОГЕННОЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СРЕДЕ

В статье предложен принцип обслуживания потоков в гетерогенной телекоммуникационной среде, который обеспечит гибкость и масштабируемость системы управления процессом обслуживания гибридных телекоммуникационных сервисов, функции управления процессом обслуживания абонента, поиск абонента поиск физических элементов, которые участвуют в процессе передачи, и передача руководящего влияния на соответствующие физические элементы, что переносятся в облако, все подсистемы мобильной связи являются управляемыми с контроллеров, расположенных в дата-центре, взаимодействие между контроллерами подсистем с целью управления происходит только в середине дата-центра, что позволит уменьшить количество служебных потоков по телекоммуникационной сети.

Ключевые слова: гибридный телекоммуникационный сервис, 5G, LTE, SDN, NFV, гетерогенное телекоммуникационную среду.

PRINCIPLE OF FLOWS SERVICE IN THE HETEROGENEOUS TELECOMMUNICATION ENVIRONMENT

The article proposes the principle of flows service in a heterogeneous telecommunication environment that will provide the flexibility and scalability of the system for managing the process of servicing hybrid telecommunication services, the functions of managing the subscriber's service process (the subscriber's search for the physical elements that participate in the transfer process and the transfer of the governing influence to the relevant physical elements) are transferred to the cloud, all mobile communication subsystems are managed from the location controllers. The interaction between the subsystem controllers for the purpose of management occurs only in the middle of the data center, which will reduce the number of service flows over the telecommunications network.

Key words: hybrid telecommunication service, 5G, LTE, SDN, NFV, heterogeneous telecommunication environment.

УДК 621.314:657

Ямненко Ю.С.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Терещенко Т.О.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Хохлов Ю.В.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Бучек П.І.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Клепач Л.Є.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

УЗАГАЛЬНЕНЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ ДИСКРЕТНИХ ФУНКЦІЙ В ОБЕРТОВІЙ СИСТЕМІ КООРДИНАТ ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ В СИСТЕМАХ ЗВ'ЯЗКУ ІЗ CDMA

Стаття присвячена розвитку спектральних перетворень дискретних функцій з t -ічним аргументом для застосування в системах зв'язку із CDMA. Пропонується узагальнене перетворення дискретних функцій в орієнтованому базисі в обертовій системі координат. Наводиться структурна схема системи на базі узгоджених t -фільтрів, яка відповідає запропонованому перетворенню. Використання узагальненого перетворення дискретних функцій в обертовій системі координат дає можливість значно збільшити число абонентів (каналів зв'язку) в системах із CDMA за збереження швидкодії, притаманної системі передачі на базі звичайного узагальненого перетворення.

Ключові слова: система зв'язку, CDMA, перетворення Уолша, перетворення в орієнтованому базисі.

Постановка проблеми. Останнім часом у зв'язку з розвитком супутникових, мобільних, стільникових і волоконно-оптичних комунікаційних систем для багатьох користувачів велика увага приділяється широкосмуговій технології CDMA (Code Division Multiply Access – множинний доступ із кодовим розділенням) [1; 6; 8]. Для збільшення завадостійкості передачі за технологією CDMA спектр сигналу керування в кожному каналі перед передачею розширюють за способом DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum – пряма цифрова послідовність) шляхом перемноження вузькосмугового сигналу з псевдовипадковою послідовністю (ПВП). Сигнал керування можна

виділити знову, тільки знаючи ПВП для зворотного перетворення на приймальній стороні. За таких умов одночасно в широкій смузі частот можливо надсилати й отримувати досить багато сигналів, які не заважають один одному [5; 10; 11].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сьогодні в системах із розширенням спектра для поділу каналів використовують перетворення Уолша [4; 7]. Перспективним напрямом є також використання спектрального перетворення в орієнтованому базисі (ОБ-перетворення), яке дає змогу спростити алгоритми обробки сигналів і збільшити швидкодію (завдяки наявності приблизно 30 % нульових елементів у матриці базис-

них функцій) [2]. Зазначимо, що перетворення Уолша є окремим випадком ОБ-перетворення за визначення довжини інтервалу кратною 2. У роботі [3] показано переваги використання базисних функцій узагальненого ОБ-перетворення в системах із CDMA.

Постановка завдання. У статті пропонується розвиток спектральних перетворень дискретних функцій для застосування в системах зв'язку. Запропоноване узагальнене ОБ-перетворення дискретних функцій в обертовій системі координат, яке дало змогу значно збільшити кількість абонентів (каналів зв'язку) в системах із CDMA.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Використання спектральних перетворень для передачі даних.

Пряме узагальнене ОБ-перетворення на інтервалі $N=m_1^{n_1} \cdot m_2^{n_2} \cdot \dots \cdot m_L^{n_L}$ визначається як [2]

$$Y = F_{dgen} u, \quad (1)$$

де m_1, m_2, \dots, m_L – прості числа, n_1, n_2, \dots, n_L – будь-які цілі числа; u – вектор-колонка значень функції-оригіналу розмірністю $N \times 1$; $F_{dgen} u$ – матриця базисних функцій прямого перетворення

$$F_{dgen} = F_{d_{m1}}^{[n1]} \times_{\mu_1} F_{d_{m2}}^{[n2]} \times_{\mu_2} \dots \times_{\mu_{L-1}} F_{d_{mL}}^{[nL]}, \quad (2)$$

\times_{μ} – позначення операції m -кронекеровського добутку матриць,

$F_{d_{mi}}^{[ni]}$ – базисні функції прямого ОБ-перетворення, визначеного на інтервалі mi^{ni} так:

$$F_{d_{mi}}^{[ni]} = F_{d_{mi}} \times_{mi} F_{d_{mi}} \times_{mi} \dots \times_{mi} F_{d_{mi}}.$$

Операція m -кронекеровського добутку матриць введена в [2]. Вона полягає в заміні добутку елементів при звичайному кронекеровському добутку матриць операцією додавання за модулем m операндів базисних функцій (або додаванням індексів елементів за модулем m).

З виразу (2) у функції модуля m використовується модуль μ_i , що відповідає груповій операції порозрядного додавання в змішаній системі числення за модулем в i -му розряді [7]:

$$\mu_1 = m_1^{n_1}, \mu_2 = m_1^{n_1} \cdot m_2^{n_2}, \dots, \mu_j = m_1^{n_1} \cdot m_2^{n_2} \cdot m_j^{n_j}, \dots, \mu_L = m_1^{n_1} \cdot m_2^{n_2} \cdot m_L^{n_L}.$$

В окремому випадку узагальненого ОБ-перетворення, коли у вираз (2) входять дві матриці – Уолша та ОБ, m -кронекеровський добуток матриць зводиться до звичайного кронекеровського.

Зворотне перетворення обирається з умови ортогональності матриць прямого та зворотного перетворень і описується виразом:

$$y = \frac{1}{N} F_{rgen} Y, \quad (3)$$

де

$$F_{rgen} = F_{r_{m1}}^{[n1]} \times_{\mu_1} F_{r_{m2}}^{[n2]} \times_{\mu_2} \dots \times_{\mu_{L-1}} F_{r_{mL}}^{[nL]}. \quad (4)$$

– матриця базисних функцій зворотного узагальненого перетворення. – матриця базисних функцій зворотного узагальненого перетворення.

У [3] показано, що рядки матриць (2) можна використовувати як ПВП, водночас рядки матриці (3) – як кінцеву імпульсну характеристику (КІХ) узгодженого фільтра. Перевагами узагальненого ОБ-перетворення є більш велика кількість можливих значень каналів $N=m_1^{n_1} \cdot m_2^{n_2} \cdot \dots \cdot m_L^{n_L}$, порівняно з Волшем (2^n) або ОБ (m^n). Як наслідок, за заданої кількості каналів системи передавання застосування узагальненого ОБ призводить до меншої довжини ПВП, і, відповідно – більшої швидкодії обробки. Наприклад, за кількості каналів 48 виграш у швидкодії, порівняно з системою на базі перетворення Уолша, становить $64/48=1,3$ рази, з системою на базі ОБ – $81/48=1,69$ [3].

Подальшим розвитком узагальненого перетворення є застосування обертової системи координат.

Узагальнене ОБ-перетворення в обертовій системі координат.

За аналогією до ОБ-перетворення в обертовій системі координат [3] введемо узагальнене перетворення в цих же координатах. Метою модифікації узагальненого перетворення є отримання більшого набору ПВП за тієї самої довжини інтервалу визначення, тобто за тієї самої швидкості обробки узгодженими фільтрами системи передавання, що і у звичайних системах координат.

Розглянемо геометричну інтерпретацію базисних функцій прямого ОБ-перетворення, що входять у добуток (2) як матриці $F_{d_{mi}}^{[ni]}$ (рис. 1).

На рис. 1 наведено положення деякого вектора, що обертається на комплексній площині з осями

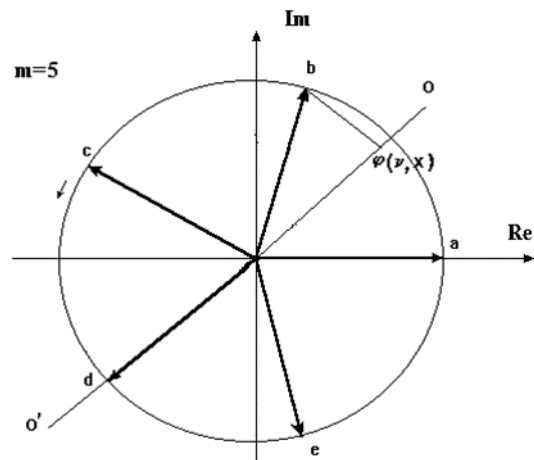


Рис. 1. Геометрична інтерпретація базисних функцій перетворення в орієнтованому базисі

Im та *Re*. При $m=5$ вектор займає 5 положень – a, b, c, d, e . Значення базисних функцій перетворення в орієнтованому базисі визначається проекцією вектора $\varphi_d(v, x)$ на вісь OO' , яка орієнтована з одним із положень вектора перетворення. На рис.1 вісь OO' збігається з положенням d , однак таких варіантів може бути 5.

Базисні функції прямого ОБ-перетворення визначаються як

$$\varphi_d(v, x) = \cos \left[\frac{2\pi}{m} \sum_{s=1}^n v^{(s)} x^{(s)} \right] + A \sin \left[\frac{2\pi}{m} \sum_{s=1}^n v^{(s)} x^{(s)} \right], \quad (5)$$

де $A = \operatorname{tg} \alpha$; $\alpha = \frac{2\pi i}{m}$, $i = \overline{1, m-1}$ – кут орієнтації осі перетворювання; $x^{(s)}, v^{(s)}$ – розрядні компоненти в m -ічному представленні чисел x і v .

Якщо уявити, що вісь перетворення OO' (або, що рівносильне, координатні осі *Re* і *Im*) обертається рівномірно, то кут орієнтації $\alpha = \frac{2\pi i}{m}$, $i = \overline{1, m-1}$ буде змінюватися від α_1 до α_{m-1} , проходячи всі значення послідовно.

Матрицю прямого ОБ-перетворення в обертовій системі координат представимо у вигляді квадратної матриці розмірністю $(m-1) \times N$, по головній діагоналі якої розташовані матриці $F_{d_{\alpha i}}$ прямого ОБ-перетворення за різних значень α , інші елементи – нульові:

$$F_{d_{rot}} = \begin{bmatrix} F_{d_{\alpha 1}} & 0 & 0 \\ 0 & F_{d_{\alpha 2}} & 0 \\ \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & F_{d_{\alpha(m-1)}} \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Побудуємо матрицю прямого узагальненого ОБ-перетворення в обертовій системі координат як

$$F_{d_{gen-rot}} = F_{d_{rot m1}}^{[n1]} \times_{\mu 1} F_{d_{rot m2}}^{[n2]} \times_{\mu 2} \dots \times_{\mu L-1} F_{d_{rot mL}}^{[nL]}, \quad (7)$$

$$F_{d_{rot mi}}^{[ni]} = \begin{bmatrix} F_{d_{\alpha 1}} & 0 & 0 \\ 0 & F_{d_{\alpha 2}} & 0 \\ \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & F_{d_{\alpha(mi-1)}} \end{bmatrix}, \quad (8)$$

для перетворення на інтервалі m_i^{ni} .

Аналогічно сконструюємо матрицю зворотного перетворення:

$$F_{r_{gen-rot}} = F_{r_{rot m1}}^{[n1]} \times_{\mu 1} F_{r_{rot m2}}^{[n2]} \times_{\mu 2} \dots \times_{\mu L-1} F_{r_{rot mL}}^{[nL]}, \quad (9)$$

де

$$F_{r_{rot mi}}^{[ni]} = \begin{bmatrix} F_{r_{\alpha 1}} & 0 & 0 \\ 0 & F_{r_{\alpha 2}} & 0 \\ \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & F_{r_{\alpha(mi-1)}} \end{bmatrix}. \quad (10)$$

Властивість взаємної ортогональності множників базисних функцій $F_{d_{rot mi}}^{[ni]}$ (2) і $F_{r_{rot mi2}}^{[ni]}$ (4) призводить до ортогональності базисних функцій узагальненого перетворення в обертовій системі:

$$F_{d_{gen-rot}} F_{r_{gen-rot}} = NI, \quad (11)$$

що лежить в основі побудови узгоджених фільтрів системи передачі даних.

Розглянемо приклад побудови узагальненого ОБ-перетворення в обертових координатах. Нехай матриця прямого узагальненого ОБ-перетворення визначається як кронекеровський добуток матриці функцій Уолша та ОБ-перетворення:

$$F_{wal}^{[1]} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}, F_{d_3}^{[1]} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & 1 \\ 1 & 1 & -2 \end{bmatrix}, \quad (12)$$

$$\text{де } F_{wal}^{[1]} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}, F_{d_3}^{[1]} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & 1 \\ 1 & 1 & -2 \end{bmatrix}.$$

Матриця перетворення Уолша має єдиний кут орієнтації осей (π), тому множник $F_{wal}^{[n]}$ в узагальненому перетворенні в обертових координатах буде незмінним. Перетворення Уолша належить до симетричних, тобто таких, що мають однаковий вигляд прямого та зворотного перетворень.

Множник $F_{d_3}^{[1]}$ залежить від кута орієнтації.

$$\text{При } \alpha_1 = \frac{2\pi}{3} F_{d_{\alpha 1}} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & 1 \\ 1 & 1 & -2 \end{bmatrix}, \text{ при } \alpha_2 = \frac{4\pi}{3} F_{d_{\alpha 2}} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{bmatrix}.$$

Матриці зворотного перетворення мають вигляд:

$$F_{r_{\alpha 1}} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}, F_{r_{\alpha 2}} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & -1 & 0 \end{bmatrix}.$$

Матриця узагальненого ОБ-перетворення в обертових координатах визначається як:

$$F_{d_{rot}} = \begin{bmatrix} F_{d_{gen \alpha 1}} & 0 \\ 0 & F_{d_{gen \alpha 2}} \end{bmatrix}, \quad (13)$$

де

$$F_{d_{gen \alpha 1}} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & 1 \\ 1 & 1 & -2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -2 & 2 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -2 & -2 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -2 & 2 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -2 & 2 \end{bmatrix},$$

$$F_{d_{gen \alpha 2}} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -2 & -2 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -2 & 2 \\ 1 & 1 & -2 & 2 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -2 & 2 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -2 & 2 \end{bmatrix}.$$

Перестановка співмножників у виразі (13)

$$F'_{d_{gen \alpha 1}} = F_{d_3} \times F_{wal} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & 1 & 1 & -2 & 1 \\ 1 & 1 & -2 & 1 & 1 & -2 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -2 & 1 & -1 & 2 & -1 \\ 1 & 1 & -2 & -1 & -1 & 2 \end{bmatrix},$$

$$F'_{d_{gen \alpha 2}} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -2 & 1 & 1 & -2 \\ 1 & -2 & 1 & 1 & -2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & -2 & -1 & -1 & 2 \\ 1 & -2 & 1 & -1 & 2 & -1 \end{bmatrix}$$

дає можливість отримати додаткові ПВП. Кожен рядок матриць, крім нульового, являє

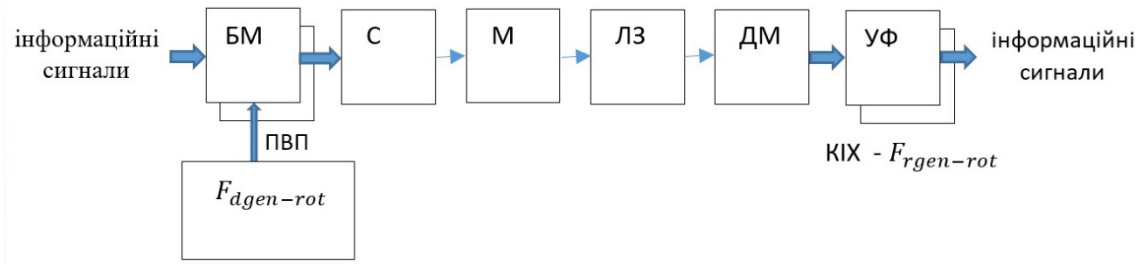


Рис. 2. Структурна схема системи із CDMA

собою ПВП, що використовується як несуча в системі передачі даних.

Кількість ПВП в запропонованому перетворенні:

$$K = P_L k(N - 1), \quad (14)$$

де $k = \sum_{i=1}^L (m_i - 1)$ – сумарна кількість можливих положень осі перетворень $F_{dm1}^{[n1]}$, $P_L = L!$ – кількість перестановок L співмножників, що входять до виразу (2).

Структурна схема системи із CDMA.

Притаманну базисним функціям перетворення властивість взаємної ортогональності покладено в основу багатоканальної схеми для ущільнення каналів за технологією CDMA [1; 2].

Для побудови системи зв'язку з кодовим розділенням каналів напишемо умову ортогональності у векторному вигляді:

$$[F_{drot\ m1}^{[n1]} \quad F_{drot\ m2}^{[n2]} \quad \dots \quad F_{drot\ mL}^{[nL]}] \times \begin{bmatrix} F_{rot\ m1}^{[n1]} \\ F_{rot\ m2}^{[n2]} \\ \dots \\ F_{rot\ mL}^{[nL]} \end{bmatrix} = NI. \quad (15)$$

Схему, що реалізує вираз (14), наведено на рис. 2.

Інформаційні сигнали поступають на блоки множення БМ, де вони перемножуються з ПВП, які відповідають строкам $F_{dgen-rot}$, потім вони додаються в блоці суматора С, надходять на

модулятор М і в лінію зв'язку ЛЗ. На приймальній стороні після демодулятора ДМ сигнал поступає на блоки узгоджених m -фільтрів УФ з КІХ, які визначаються строками матриці $F_{rogen-rot}$ зворотного перетворення. Особливістю системи передавання є те, що елементи ПВП у випадку комбінації функцій Уолша та ОБ приймають 3 значення, що потребує додаткового двійкового розряду для їх кодування.

Схеми вибірки/зберігання та синхронізації на рис. 2 не показано, вони не мають особливостей і наведені в [3]. Схеми узгоджених m -фільтрів наведено в [2].

Основною перевагою запропонованої системи є збільшення кількості каналів зв'язку.

Висновки. Запропоноване узагальнене перетворення дискретних функцій в обертовій системі координат дає можливість значно збільшити кількість абонентів (каналів зв'язку) в системах із CDMA за збереження швидкодії, притаманної системі передачі на базі звичайного узагальненого перетворення.

Властивості розширення спектра псевдовипадкових послідовностей і збільшення числа абонентів роблять узагальнене ОБ-перетворення в обертовій системі перспективним напрямом використання в системах передачі із CDMA.

Список літератури:

1. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. М.: Радио и связь, 1985. 384 с.
2. Жуйков В.Я., Терещенко Т.А., Петергеря Ю.С. Дискретные спектральные преобразования на конечных интервалах: учеб. пособие. К.: НТУУ «КПІ», 2010. 244 с.
3. Терещенко Т.А., Лазарев Д.В. Применение обобщенного спектрального преобразования в ориентированном базисе в системе с CDMA. Электроника и связь. 2011. № 4: Тематический выпуск «Электроника и нанотехнологии». С. 79–82.
4. Залмансон Л.А. Преобразования Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении, связи и других областях. Москва: Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. 496 с.
5. Наконечний А.Й., Наконечний Р.А., Павлиш В.А. Цифрова обробка сигналів: навч. посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2010. 368 с.
6. Скляр Б. Цифровая связь: Теоретические основы и практическое применение. 2-е изд. М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. 1104 с.
7. Трахтман А.М. Введение в обобщенную спектральную теорию сигналов. Москва: Советское радио, 1972. 498 с.

8. Хармут Х.Ф. Передача информации ортогональными функциями. М.: Связь, 1975. 272 с.
9. Харкевич А.А. Спектры и анализ. М.: Физматгиз, 1980. 246 с.
10. Nishanthi Ch., Rajan R. Sundar. Cross Spectral Density Analysis for Various Codes Suitable for Spread Spectrum under AWGN conditions with Error Detecting Code. International Journal of Modern Engineering Research (IJMER). Vol. 3, Issue. 4, July-August. 2013 P. 2244–2249.
11. DeFatta D.J., Lucas J.G., Hodgkiss W.S. Digital Signal Processing: A System Design Approach. New York: 1988. 306 p.

ОБОБЩЕННОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ДИСКРЕТНЫХ ФУНКЦИЙ ВО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СИСТЕМАХ СВЯЗИ С CDMA

Статья посвящена развитию спектральных преобразований дискретных функций m -ного аргумента для применения в системах связи с CDMA. Предлагается обобщенное преобразование дискретных функций в ориентированном базисе во вращающейся системе координат. Приводится структурная схема системы на базе согласованных m -фильтров, которая соответствует предложенному преобразованию. Обобщенное преобразование дискретных функций во вращающейся системе координат дает возможность значительно увеличить количество абонентов (каналов связи) в системах с CDMA при сохранении скорости действия, присущего системе передачи на базе обычного обобщенного преобразования.

Ключевые слова: система связи, CDMA, преобразование Уолша, преобразование в ориентированном базисе.

GENERALIZED TRANSFORMATION OF DISCRETE FUNCTIONS IN A ROTATING COORDINATE SYSTEM FOR APPLICATION IN CDMA COMMUNICATION SYSTEMS

The article is devoted to the development of spectral transformations of discrete functions with m -ary argument for use in communication systems with CDMA. The generalized transformation of discrete functions in the oriented basis in a rotating coordinate system is proposed. The structure of the system is based on the matched m -filters, which corresponds to the proposed transformation. The generalized transformation of discrete functions in a rotating coordinates system enables to significantly increase the number of subscribers (communication channels) in systems with CDMA while maintaining the speed inherent in the transmission system based on the usual generalized transformation.

Key words: communication system, CDMA, Walsh transform, transformation in the oriented basis.

ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

УДК 004.2

Бабаков Р.М.

Донецкий национальный университет имени Василя Стуса

ФОРМАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ АЛГЕБРАИЧЕСКОГО СИНТЕЗА МИКРОПРОГРАММНОГО АВТОМАТА С ОПЕРАЦИОННЫМ АВТОМАТОМ ПЕРЕХОДОВ

В статье дается математическое представление формального решения задачи алгебраического синтеза микропрограммного автомата с операционным автоматом переходов. Формальное решение представляется совокупностью сформированных компонент системы изоморфизмов. Его получение является частью процесса синтеза данного класса автоматов. Изложены особенности построения абстрактной, структурной и промежуточной алгебр переходов. Рассмотрен пример построения формального решения задачи алгебраического синтеза для автомата, заданного граф-схемой алгоритма.

Ключевые слова: микропрограммный автомат, операционный автомат переходов, алгебраический синтез, формальное решение, система изоморфизмов.

Постановка проблемы. Важнейшим структурным элементом современных вычислительных систем является устройство управления (УУ), координирующее работу всех блоков системы [1, с. 426; 2, с. 114]. Одним из способов реализации УУ является микропрограммный автомат (МПА), схема которого по сравнению с другими типами УУ по сравнению с другими классами УУ характеризуется максимально возможными быстродействием и аппаратными затратами [2, с. 168]. Рост сложности алгоритмов управления, имплементируемых МПА, делает актуальной задачу оптимизации аппаратных затрат в логической схеме автомата [2, с. 178].

Анализ последних исследований и публикаций. На сегодняшний день известен ряд структурных реализаций МПА и методов их синтеза, использующих в своей основе различные подходы к оптимизации тех или иных параметров МПА [3, с. 11; 4, с. 6]. Одной из таких структур является микропрограммный автомат с операционным автоматом переходов (МПА с ОАП), использующий представление функции переходов автомата в виде множества частичных функций [5, с. 23; 6, с. 22]. Преимуществом данной структуры явля-

ется снижение аппаратных затрат в схеме формирования автоматных переходов по сравнению с другими структурными реализациями [7, с. 205].

Постановка задачи. В работе [8, с. 37] в общем виде рассматривается ряд вопросов, относящихся к синтезу МПА с ОАП. В частности, сформулирована задача алгебраического синтеза автомата, решение которой сводится к построению для заданного автомата системы изоморфизмов (1).

$$\left\{ \begin{array}{l} G_{\delta_1} \leftrightarrow G_{I_1} \leftrightarrow G_{d_1}; \\ G_{\delta_2} \leftrightarrow G_{I_2} \leftrightarrow G_{d_2}; \\ \dots \\ G_{\delta_{N_i}} \leftrightarrow G_{I_{N_i}} \leftrightarrow G_{d_{N_i}}; \\ G_{\delta} \leftrightarrow G_d; \\ G_{\lambda} \leftrightarrow G_j. \end{array} \right. \quad (1)$$

Данная система представляет собой математическую модель МПА с ОАП [9, с. 56] и основана на его алгебраической интерпретации [6, стр. 22]. Первые N_i изоморфизмов в системе выражают эквивалентность между абстрактным, промежуточным и структурным представлениями частичных функций переходов автомата (алгебры G_{δ_i} , G_{I_i} и G_{d_i} соответственно). Предпоследний изоморфизм между абстрактным (алгебра G_{δ}) и структур-

ным (алгебра G_d) представлениями функции переходов автомата обеспечивает эквивалентность структурных (двоичных) кодов состояний независимо от количества N_i частичных функций переходов. Последний изоморфизм между абстрактным (алгебра G_s) и структурным (алгебра G_l) представлениями функции выходов автомата обеспечивает использование одних и тех же структурных кодов состояний в функциях переходов и выходов МПА [9, с. 56].

Одним из способов задания МПА является граф-схема алгоритма (ГСА) [2, с. 116]. В работе [9, с. 40] рассмотрен пример, в котором МПА с ОАП задан ГСА Γ (рис. 1, а), а формальное решение задачи алгебраического синтеза МПА с ОАП представлено в графическом виде (рис. 1, б).

Анализ рис. 1 позволяет сделать следующие выводы:

1. МПА является автоматом Мура и содержат $M=8$ состояний $\{\alpha_0, \dots, \alpha_7\}$.
2. Для реализации автоматных переходов используются две операции переходов (ОП): α_0

$$O_1: K_{10}(a^{t+1}) = (K_{10}(a^t) + 5) \bmod 8, \quad (2)$$

$$O_2: K_2(a^{t+1}) = K_2(a^t) \oplus 100_2. \quad (3)$$

В данных выражениях $K^2(a^t)$ и $K^2(a^{t+1})$ – двоичные коды текущего состояния и состояния перехода соответственно, $K_{10}(a^t)$ и $K_{10}(a^{t+1})$ – их эквиваленты в десятичной системе счисления.

3. Переход из состояния α_0 в состояние α_1 – единственный переход в ГСА, реализуемый кано-

ническим способом (по системе булевых уравнений).

Недостатком графического представления формального решения задачи алгебраического синтеза МПА с ОАП является отсутствие в явном виде элементов системы изоморфизмов (1). С увеличением сложности интерпретируемой ГСА усложняется процесс ее анализа с целью построения множества используемых операций переходов, формирования множества переходов, реализуемых каноническим способом, и др. Все это в итоге усложняет процесс проектирования логической схемы МПА с ОАП.

В настоящей статье дается математическое представление формального решения задачи алгебраического синтеза МПА с ОАП, детализирующее структуру отдельных элементов системы изоморфизмов (1). Поскольку данные элементы в процессе синтеза логической схемы автомата реализуются в виде отдельных функциональных узлов, предлагаемое представление формального решения упрощает задачу схемной реализации МПА с ОАП.

Изложение основного материала исследования. Зададим абстрактную алгебру переходов автомата, интерпретирующего ГСА Γ . В данной ГСА присутствуют три типа переходов: безусловный переход, переход по логическому условию x_1 и переход по условию \bar{x}_1 , которым в абстрактном автомате соответствует множество абстрактных входных сигналов $Z = \{z_0, z_1, z_2\}$. Таким образом,

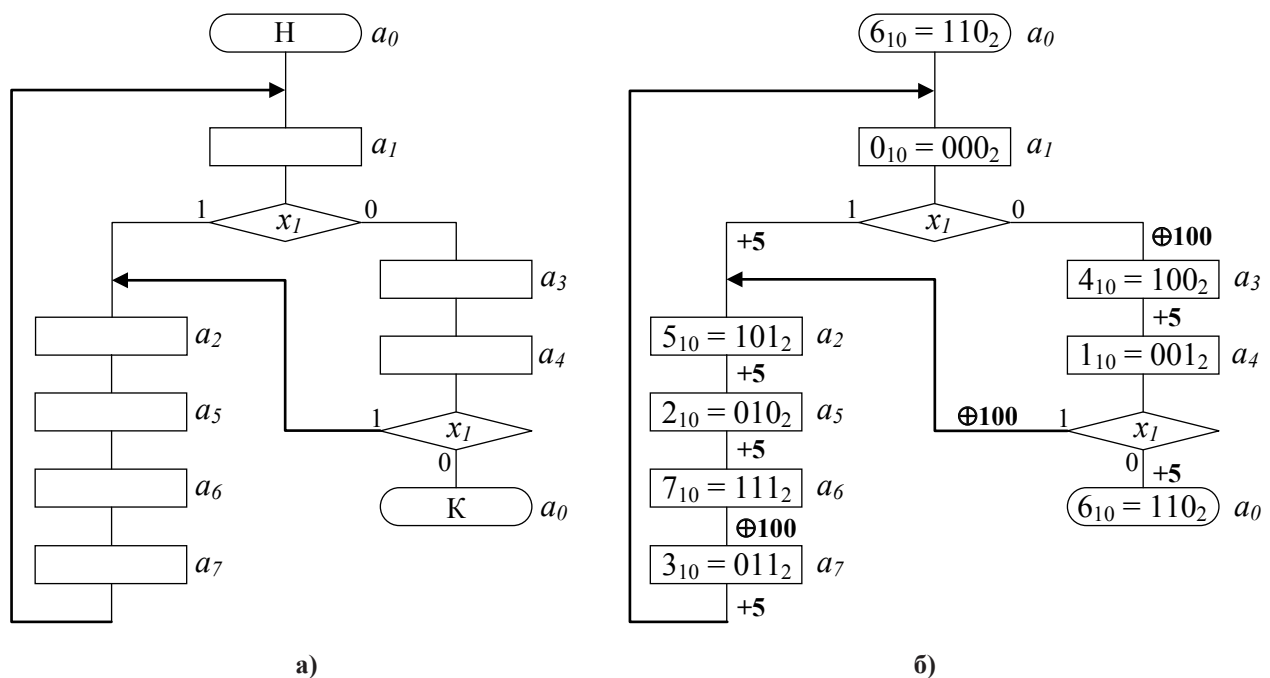


Рис. 1. Граф-схема алгоритма Γ (а) и графическое представление формального решения задачи алгебраического синтеза МПА с ОАП (б)

абстрактная алгебра переходов G_δ задается выражением (4).

$$\begin{cases} G_\delta = \langle \{A, Z\}, \{\delta\} \rangle; \\ A = \{a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7\}; \\ Z = \{z_0, z_1, z_2\}; \\ \delta = \{ \langle a_0, z_0, a_1 \rangle, \langle a_1, z_1, a_2 \rangle, \langle a_1, z_2, a_3 \rangle, \langle a_2, z_0, a_5 \rangle, \\ \langle a_5, z_0, a_6 \rangle, \langle a_6, z_0, a_7 \rangle, \langle a_7, z_0, a_1 \rangle, \langle a_3, z_0, a_4 \rangle, \\ \langle a_4, z_1, a_2 \rangle, \langle a_4, z_1, a_0 \rangle \}. \end{cases} \quad (4)$$

В системе (4) носитель алгебры образован множеством состояний A и множеством абстрактных входных сигналов Z . Сигнатура алгебры представлена абстрактной функцией переходов δ . Данная функция – множество векторов вида $\langle a_i, z_k, a_j \rangle$, каждый из которых соответствует переходу из состояния a_i в состояние a_j под воздействием абстрактного входного сигнала z_k . При этом количество векторов равно числу автоматных переходов в ГСА Γ .

Отождествляя логическое условие x_1 с одноименным входным структурным (двоичным) сигналом, закодируем сигналы Z структурными кодами $K_S(Z)$ в виде векторов $\langle x_1 \rangle$, в которых x_1 может принимать значения из множества $\{-, 0, 1\}$. Пусть $K_S(z_0) = \langle - \rangle$, $K_S(z_1) = \langle 1 \rangle$, $K_S(z_2) = \langle 0 \rangle$. Это позволяет задать структурную алгебру переходов G_d , изоморфную алгебре G_δ , выражением (5), в котором состояния и входные сигналы представлены своими структурными (двоичными) кодами.

$$\begin{cases} G_d = \langle \{K_S(A), K_S(Z)\}, d \rangle; \\ K_S(A) = \{110, 000, 101, 100, 001, 010, 111, 011\}; \\ K_S(Z) = \{-, 1, 0\}; \\ d = \{ \langle 110, -, 000 \rangle, \langle 000, 1, 101 \rangle, \langle 000, 0, 100 \rangle, \langle 101, -, 010 \rangle, \\ \langle 010, -, 111 \rangle, \langle 111, -, 011 \rangle, \langle 011, -, 000 \rangle, \langle 100, -, 001 \rangle, \\ \langle 001, 1, 101 \rangle, \langle 001, 0, 110 \rangle \}. \end{cases} \quad (5)$$

Поскольку в ГСА Γ часть переходов реализуется с помощью ОП O_1 , часть – с помощью O_2 , часть – каноническим способом, абстрактная и структурная функции переходов разбиваются соответствующим образом на три частичные функции каждая. На их основе строятся три абстрактные подалгебры переходов (выражения (6)-(8)) и три структурные подалгебры переходов (выражения (9)-(11)). Анализ данных выражений подтверждает существование изоморфизмов $G_{\delta_1} \leftrightarrow G_{d_1}$, $G_{\delta_2} \leftrightarrow G_{d_2}$ и $G_{\delta_3} \leftrightarrow G_{d_3}$.

$$\begin{cases} G_{\delta_1} = \langle \{A_{\delta_1}, Z_{\delta_1}\}, \{\delta_1\} \rangle; \\ A_{\delta_1} = \{a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7\}; \\ Z_{\delta_1} = \{z_0, z_1, z_2\}; \\ \delta_1 = \{ \langle a_1, z_1, a_2 \rangle, \langle a_2, z_0, a_5 \rangle, \langle a_5, z_0, a_6 \rangle, \\ \langle a_7, z_0, a_1 \rangle, \langle a_3, z_0, a_4 \rangle, \langle a_4, z_2, a_0 \rangle \}. \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} G_{\delta_2} = \langle \{A_{\delta_2}, Z_{\delta_2}\}, \{\delta_2\} \rangle; \\ A_{\delta_2} = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_6, a_7\}; \\ Z_{\delta_2} = \{z_0, z_1, z_2\}; \\ \delta_2 = \{ \langle a_1, z_2, a_3 \rangle, \langle a_6, z_0, a_7 \rangle, \langle a_4, z_1, a_2 \rangle \}. \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} G_{\delta_3} = \langle \{A_{\delta_3}, Z_{\delta_3}\}, \{\delta_3\} \rangle; \\ A_{\delta_3} = \{a_0, a_0\}; \\ Z_{\delta_3} = \{z_0\}; \\ \delta_3 = \{ \langle a_0, z_0, a_1 \rangle \}. \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} G_{d_1} = \langle \{K_S(A_{d_1}), K_S(Z_{d_1})\}, \{d_1\} \rangle; \\ K_S(A_{d_1}) = \{110, 000, 101, 100, 001, 010, 111, 011\}; \\ K_S(Z_{d_1}) = \{-, 1, 0\}; \\ d_1 = \{ \langle 000, 1, 101 \rangle, \langle 101, -, 010 \rangle, \langle 010, -, 111 \rangle, \\ \langle 011, -, 000 \rangle, \langle 100, -, 001 \rangle, \langle 001, 0, 110 \rangle \}. \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} G_{d_2} = \langle \{K_S(A_{d_2}), K_S(Z_{d_2})\}, \{d_2\} \rangle; \\ K_S(A_{d_2}) = \{000, 101, 100, 001, 111, 011\}; \\ K_S(Z_{d_2}) = \{-, 1, 0\}; \\ d_2 = \{ \langle 000, 0, 100 \rangle, \langle 111, -, 011 \rangle, \langle 001, 1, 101 \rangle \}. \end{cases} \quad (10)$$

$$\begin{cases} G_{d_3} = \langle \{K_S(A_{d_3}), K_S(Z_{d_3})\}, \{d_3\} \rangle; \\ K_S(A_{d_3}) = \{110, 001\}; \\ K_S(Z_{d_3}) = \{-\}; \\ d_3 = \{ \langle 110, -, 000 \rangle \}. \end{cases} \quad (11)$$

Зададим также две промежуточные алгебры переходов G_{I_1} и G_{I_2} , сигнатуры которых образованы операциями переходов O_1 и O_2 соответственно.

$$\begin{cases} G_{I_1} = \langle \{K_{I_1}(A_{\delta_1}), K_{I_1}(Z_{\delta_1})\}, \{O_1\} \rangle; \\ K_{I_1}(A_{\delta_1}) = \{6, 0, 5, 4, 1, 2, 7, 3\}; \\ K_{I_1}(Z_{\delta_1}) = \{z_0, z_1, z_2\}; \\ O_1 = \{ \langle 0, z_1, 5 \rangle, \langle 5, z_0, 2 \rangle, \langle 2, z_0, 7 \rangle, \\ \langle 3, z_0, 0 \rangle, \langle 4, z_0, 1 \rangle, \langle 1, z_2, 6 \rangle \}. \end{cases} \quad (12)$$

$$\begin{cases} G_{I_2} = \langle \{K_{I_2}(A_{\delta_2}), K_{I_2}(Z_{\delta_2})\}, \{O_2\} \rangle; \\ K_{I_2}(A_{\delta_2}) = \{000, 101, 100, 001, 111, 011\}; \\ K_{I_2}(Z_{\delta_2}) = \{z_0, z_1, z_2\}; \\ O_2 = \{ \langle 000, z_2, 100 \rangle, \langle 111, z_0, 011 \rangle, \langle 001, z_1, 101 \rangle \}. \end{cases} \quad (13)$$

В выражениях (12) и (13) операции переходов O_1 и O_2 представлены множеством векторов вида $\langle K_{I_n}(a_i), z_j, K_{I_n}(a_k) \rangle$, которое соответствует множеству переходов, реализуемых соответствующей ОП. Это обеспечивает существование изоморфизмов $G_{\delta_1} \leftrightarrow G_{I_1} \leftrightarrow G_{d_1}$ и $G_{\delta_2} \leftrightarrow G_{I_2} \leftrightarrow G_{d_2}$. Поскольку обе ОП, согласно выражениям (2) и

(3), не используют в качестве аргументов входные сигналы автомата, в векторах операций входные сигналы присутствуют с формальной целью и указаны в абстрактном виде.

Таким образом, можно говорить о существовании следующей системы изоморфизмов:

$$\begin{cases} G_{\delta_1} \leftrightarrow G_{I_1} \leftrightarrow G_{d_1}; \\ G_{\delta_2} \leftrightarrow G_{I_2} \leftrightarrow G_{d_2}; \\ G_{\delta} \leftrightarrow G_d. \end{cases} \quad (14)$$

Данная система вместе с выражениями (4)-(13) есть математическое представление формального решения задачи алгебраического синтеза МПА с ОАП, задаваемого ГСА G , при использовании операций переходов, задаваемых выражениями (2) и (3).

Выводы. Полученное в данной работе математическое представление формального решения

задачи алгебраического синтеза микропрограммного автомата с операционным автоматом переходов показывает, в каком виде должен быть представлен результат алгебраического синтеза МПА с ОАП для последующего синтеза логической схемы автомата. Формализация алгебраического представления промежуточных алгебр переходов в виде алгебр, подобных выражениям (12) и (13), позволяет конкретизировать автоматные переходы, реализуемые соответствующими операциями переходов, а также делает наглядным существование изоморфизмов, образующих систему (1). Предложенное математическое представление формального решения задачи алгебраического синтеза МПА с ОАП может рассматриваться как стандартизированное представление результатов различных методов алгебраического синтеза данного класса микропрограммных автоматов.

Список литературы:

1. Глушков В.М. Синтез цифровых автоматов. Москва: Физматгиз, 1962. 476 с.
2. Баранов С.И. Синтез микропрограммных автоматов. Ленинград: Энергия, 1979. 232 с.
3. Баркалов А.А., Палагин В.А. Синтез микропрограммных устройств управления. Киев: Институт кибернетики НАН Украины, 1997. 135 с.
4. Баркалов А.А. Синтез устройств управления на программируемых логических устройствах. Донецк, ДонНТУ, 2002. 262 с.
5. Баркалов А.А., Бабаков Р.М. Операционное формирование кодов состояний в микропрограммных автоматах. Кибернетика и системный анализ. 2011. № 2. С. 21.
6. Баркалов А.А., Бабаков Р.М. Алгебраическая интерпретация микропрограммного автомата с операционным автоматом переходов. Кибернетика и системный анализ. 2016. № 2. С. 22.
7. Babakov R, Barkalov A., Titarenko L. Research of Efficiency of Microprogram Final-State Machine with Datapath of Transitions. Proceedings of 14th International Conference "The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM). February 21-25, 2017. Polyana, Ukraine. P. 203.
8. Бабаков Р.М. Алгебраический синтез микропрограммного автомата с операционным автоматом переходов. Информационные технологии и компьютерная инженерия. 2017. № 39, Т. 2. С. 35–41.
9. Бабаков Р.М., Ярош И.В. Математическая модель микропрограммного автомата с операционным автоматом переходов. Сборник научных трудов ДонНТУ. Серия «Информатика, кибернетика и вычислительная техника». Выпуск 1(22). Красноармейск: ДонНТУ, 2016. С. 54.

ФОРМАЛЬНИЙ РОЗВ'ЯЗОК ЗАДАЧІ АЛГЕБРАІЧНОГО СИНТЕЗУ МІКРОПРОГРАМНОГО АВТОМАТА З ОПЕРАЦІЙНИМ АВТОМАТОМ ПЕРЕХОДІВ

У статті дається математичне представлення формального розв'язку задачі алгебраїчного синтезу мікропрограмного автомата з операційним автоматом переходів. Формальний розв'язок представляється сукупністю сформованих компонентів системи ізоморфізмів. Його одержання є частиною процесу синтезу даного класу автоматів. Викладено особливості побудови абстрактної, структурної та проміжної алгебр переходів. Розглянутий приклад побудови формального розв'язку задачі алгебраїчного синтезу для автомата, заданого граф-схемою алгоритму.

Ключові слова: мікропрограмний автомат, операційний автомат переходів, алгебраїчний синтез, формальний розв'язок, система ізоморфізмів.

**A FORMAL SOLUTION OF THE PROBLEM OF ALGEBRAIC SYNTHESIS
OF MICROPROGRAM FINITE STATE MACHINE WITH DATAPATH OF TRANSITIONS**

The article presents a mathematical representation of the formal solution of the problem of algebraic synthesis of a microprogram finite state machine with datapath of transitions. The formal solution is represented as the set of formed components of the system of isomorphisms. Its obtaining is a part of the process of synthesizing of this class of finite state machines. The peculiarities of constructing abstract, structural and intermediate transition algebras are described. An example of constructing a formal solution of the problem of algebraic synthesis for a finite state machine given by a graph-scheme of an algorithm is considered.

Key words: *microprogram finite state machine, datapath of transitions, algebraic synthesis, formal solution, system of isomorphisms.*

Власюк А.П.

Національний університет «Острозька академія»

Жуковська Н.А.

Національний університет водного господарства та природокористування

Жуковський В.В.

Національний університет водного господарства та природокористування

Федорчук В.Ю.

Національний університет водного господарства та природокористування

МАТЕМАТИЧНЕ ТА КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ТЕПЛОМАСОПЕРЕНЕСЕННЯ НА ПРОСТОРОВИЙ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ГРУНТОВОГО МАСИВУ*

У статті побудовано математичну модель впливу тепломасоперенесення на напружено-деформований стан ґрунтового масиву в тривимірному випадку. Для знаходження чисельного розв'язку поставленої крайової задачі використані такі чисельні методи: скінченних різниць, монотонні різницеві схеми для нелінійних рівнянь параболічного типу, що містять першу похідну, локально-одновимірний метод Самарського, метод скінченних різниць для чисельного розв'язування системи рівнянь рівноваги в формі Ламе для зміщень ґрунту. Створено програмний комплекс можливостями фреймворку Microsoft Visual Studio 2017 для Windows Desktop на мові програмування С#. На основі комп'ютерного моделювання поставленої задачі показано вплив тепломасоперенесення на розподіл зміщень, напружень та деформацій ґрунтового масиву.

Ключові слова: напружено-деформований стан, зміщення, напруження, деформації, тепломасоперенесення, несуча здатність, чисельні методи, програмний комплекс.

Вступ. Сучасна тенденція до забудови в містах, приміських ділянках для цивільного, комерційного та промислового використання є однією з причин будівництва на територіях, що не повністю придатні для цього. Це може призвести до змін напружено-деформованого стану (НДС) ґрунтових основ, що в майбутньому може стати наслідком ушкодження або руйнування споруд, побудованих на даній території, тобто значних фінансових та матеріальних втрат.

Для визначення стійкості та надійності різних споруд, терміну їх експлуатації та несучої здатності ґрунтів необхідно знати НДС їх основ, який може змінюватись під впливом навколишнього середовища, а саме: зміни температурного режиму, наявності забруднюючих речовин та ін.

Тому побудова та дослідження математичних моделей деформаційних процесів ґрунтових середовищ внаслідок дії на них природних та техногенних факторів з використанням комп'ютерного моделювання описаних процесів є актуальним та представляє науковий інтерес.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження деформаційних процесів ґрунтових масивів та основ відображено в роботах [1–6]. Однак, у даних роботах не розглянуто просторовий напружено-деформований стан ґрунтових масивів під час врахування тепломасоперенесення в ньому.

Тому **метою даної статті** є постановка просторової задачі та вдосконалення математичної моделі НДС ґрунтового масиву з урахуванням тепломасоперенесення, чисельне розв'язання поставленої крайової задачі та комп'ютерне моделювання отриманих чисельних результатів.

Постановка задачі. Розглянемо задачу моделювання НДС ґрунтового масиву в області Ω

* Публікація містить результати досліджень, проведених при грантовій підтримці Держаного фонду фундаментальних досліджень за конкурсним проектом Ф76/93-2017 на тему «Інформаційне забезпечення розвитку конкурентоспроможного органічного сільського господарства України в умовах євроінтеграції».

з урахуванням тепломасоперенесення у тривимірному випадку (рис. 1).

Ґрунтовий масив вважається пружно-деформівним у межах лінійної теорії пружності з різними пружними параметрами (коефіцієнтами Ламе) $\lambda(c, T), \mu(c, T)$, які залежать від концентрації сольового розчину та температури. На ґрунт діють сила тяжіння, архімедова та фільтраційна сили. Ґрунтовий масив вважається водонасиченим.

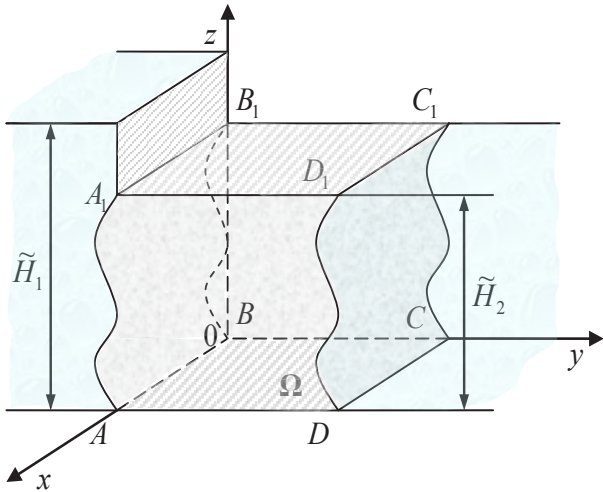


Рис. 1. Схема ґрунтового масиву у тривимірному випадку

На рис. 1. площину $ABCD$ позначимо як Γ_1 , $A_1B_1C_1D_1$ – Γ_2 , ABA_1B_1 і CDC_1D_1 – Γ_3 і Γ_4 відповідно, площини BCB_1C_1 та ADA_1D_1 – Γ_5 та Γ_6 відповідно. Межі Γ_1 та Γ_2 є теплоізолюваними та непроникними, а $\Gamma_3, \Gamma_4, \Gamma_5, \Gamma_6$ – дренажними.

Задані значення п'єзометричних напорів \tilde{H}_1, \tilde{H}_2 , температур \tilde{T}_1 та \tilde{T}_2 у водних басейнах Γ_3, Γ_5 та Γ_4, Γ_6 відповідно, причому $\tilde{H}_1 > \tilde{H}_2, \tilde{T}_1 > \tilde{T}_2$. У лівому басейні задано значення концентрації солей \tilde{C}_1 , а в правому – умову швидкого виносу солей. У результаті різниці напорів відбувається перенесення розчинених у воді речовин та тепла фільтраційним потоком. При цьому процеси фільтрації розчинених у воді речовин та тепла підлягають відповідно законам Дарсі, Фіка та Фур'є. Припускається, що відсутні зміщення нижньої (Γ_1) та верхньої (Γ_2) областей ґрунтового масиву.

Таким чином, в досліджуваній області ґрунтового масиву Ω необхідно розрахувати розподіли зміщень $\mathbf{u}(\mathbf{X}) = (U(\mathbf{X}), V(\mathbf{X}), W(\mathbf{X}))$, нормальних складових деформацій $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ та дотичних складових деформацій $\varepsilon_{xy}, \varepsilon_{xz}, \varepsilon_{yz}$, нормальних складових напружень $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ та дотичних складових напружень $\tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}$, п'єзометричних напорів $h(\mathbf{X}, t)$, концентрації сольових розчинів $c(\mathbf{X}, t)$ та температури $T(\mathbf{X}, t), \mathbf{X} \in \Omega, t > 0$.

Математична модель задачі. Для побудови математичної моделі НДС ґрунтового масиву використано підходи механіки суцільного середовища, а саме: механіки деформівного тіла, гідромеханіки пористого середовища, теорії термомеханіки, фільтрації та тепломасоперенесення. Таким чином, математичну модель поставленої крайової задачі у тривимірному випадку, враховуючи результати робіт [1–7], можна описати такими рівняннями:

система рівнянь рівноваги в формі Ламе для зміщень ґрунту з урахуванням тепломасоперенесення

$$\begin{aligned} & \mu \Delta U + (\lambda + \mu) \frac{\partial \varepsilon_\theta}{\partial x} + \frac{\partial \lambda}{\partial x} \varepsilon_\theta + 2 \frac{\partial \mu}{\partial x} \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial \mu}{\partial y} \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) + \\ & + \frac{\partial \mu}{\partial z} \left(\frac{\partial U}{\partial z} + \frac{\partial W}{\partial x} \right) - \left(\left(3 \frac{\partial \lambda}{\partial x} + 2 \frac{\partial \mu}{\partial x} \right) T + (3\lambda + 2\mu) \frac{\partial T}{\partial x} \right) \alpha_T + X = 0, \\ & \mu \Delta V + (\lambda + \mu) \frac{\partial \varepsilon_\theta}{\partial y} + \frac{\partial \lambda}{\partial y} \varepsilon_\theta + 2 \frac{\partial \mu}{\partial y} \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial \mu}{\partial x} \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) + \\ & + \frac{\partial \mu}{\partial z} \left(\frac{\partial V}{\partial z} + \frac{\partial W}{\partial y} \right) - \left(\left(3 \frac{\partial \lambda}{\partial y} + 2 \frac{\partial \mu}{\partial y} \right) T + (3\lambda + 2\mu) \frac{\partial T}{\partial y} \right) \alpha_T + Y = 0, \\ & \mu \Delta W + (\lambda + \mu) \frac{\partial \varepsilon_\theta}{\partial z} + \frac{\partial \lambda}{\partial z} \varepsilon_\theta + 2 \frac{\partial \mu}{\partial z} \frac{\partial W}{\partial z} + \frac{\partial \mu}{\partial x} \left(\frac{\partial U}{\partial z} + \frac{\partial W}{\partial x} \right) + \\ & + \frac{\partial \mu}{\partial y} \left(\frac{\partial V}{\partial z} + \frac{\partial W}{\partial y} \right) - \left(\left(3 \frac{\partial \lambda}{\partial z} + 2 \frac{\partial \mu}{\partial z} \right) T + (3\lambda + 2\mu) \frac{\partial T}{\partial z} \right) \alpha_T + Z = 0, \end{aligned} \quad (1)$$

де компоненти масової сили обчислюються за формулами

$$X = \frac{dp_1}{dx}, \quad Y = \frac{dp_2}{dy}, \quad Z = \gamma_{zs} + \frac{dp_3}{dz}, \quad \mathbf{X} \in \Omega, \quad (2)$$

рівняння конвективної дифузії при наявності тепломасоперенесення

$$\begin{aligned} & \nabla \cdot (\mathbf{D}(c, T) \nabla c) - \mathbf{v} \nabla c - \gamma(c - C_m) + \\ & + \nabla \cdot (\mathbf{D}_T \nabla T) = n_p \frac{\partial c}{\partial t}, \quad \mathbf{X} \in \Omega, \quad t > 0, \end{aligned} \quad (3)$$

рівняння конвективного теплоперенесення

$$\nabla \cdot (\lambda_T \nabla T) - \rho c_p \mathbf{v} \nabla T = c_T \frac{\partial T}{\partial t}, \quad \mathbf{X} \in \Omega, \quad t > 0, \quad (4)$$

узагальнені рівняння фільтрації сольових розчинів в неізотермічних умовах та рівняння нерозривності процесу

$$\begin{aligned} & \mathbf{v} = -\mathbf{K}(c, T) \nabla h + \mathbf{v}_c(c) \nabla c + \mathbf{v}_T \nabla T, \\ & \operatorname{div} \mathbf{v} + \frac{\partial n_p}{\partial t} = 0, \quad \mathbf{X} \in \Omega, \quad t > 0, \end{aligned} \quad (5)$$

питомий потік розчинених солей на випадок неізотермічних умов

$$\mathbf{q}_c = \mathbf{v} c - \mathbf{D}(c, T) \nabla c - \mathbf{D}_T \nabla T, \quad \mathbf{X} \in \Omega, \quad t > 0, \quad (6)$$

узагальнений закон Фур'є на випадок конвективного тепломасоперенесення

$$\mathbf{q}_T = \rho c_p \mathbf{v} T - \lambda_T \nabla T, \quad \mathbf{X} \in \Omega, \quad t > 0, \quad (7)$$

нормальні та дотичні деформації на підставі співвідношень Коші мають вигляд

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{\partial U}{\partial x}, \quad \varepsilon_y = \frac{\partial V}{\partial y}, \quad \varepsilon_z = \frac{\partial W}{\partial z}, \\ \varepsilon_{xy} &= \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right), \quad \varepsilon_{xz} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U}{\partial z} + \frac{\partial W}{\partial x} \right), \\ \varepsilon_{yz} &= \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V}{\partial z} + \frac{\partial W}{\partial y} \right), \quad \mathbf{X} \in \Omega, \quad (8) \end{aligned}$$

нормальні та дотичні напруження на основі узагальненого закону Гука в оберненій формі запишуться наступним чином:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \lambda(c, T)\varepsilon_\theta + 2\mu(c, T)\varepsilon_x - (3\lambda(c, T) + 2\mu(c, T))\alpha_T \bar{T}, \\ \sigma_y &= \lambda(c, T)\varepsilon_\theta + 2\mu(c, T)\varepsilon_y - (3\lambda(c, T) + 2\mu(c, T))\alpha_T \bar{T}, \\ \sigma_z &= \lambda(c, T)\varepsilon_\theta + 2\mu(c, T)\varepsilon_z - (3\lambda(c, T) + 2\mu(c, T))\alpha_T \bar{T}, \\ \tau_{xy} &= 2\mu(c, T)\varepsilon_{xy}, \quad \tau_{xz} = 2\mu(c, T)\varepsilon_{xz}, \quad \tau_{yz} = 2\mu(c, T)\varepsilon_{yz}, \quad (9) \end{aligned}$$

де $\varepsilon_\theta = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z$, $\mathbf{X} \in \Omega$, $t > 0$ за відповідних крайових умов на межах ґрунтового масиву для п'єзометричного напору, концентрації солей, температури, зміщень і напружень

$$\begin{aligned} (\mathbf{v}, \mathbf{n})|_{\Gamma_1 \cup \Gamma_2} &= 0, \quad h(\mathbf{X}, t)|_{\Gamma_3 \cup \Gamma_5} = \tilde{H}_1(\mathbf{X}, t), \\ h(\mathbf{X}, t)|_{\Gamma_4 \cup \Gamma_6} &= \tilde{H}_2(\mathbf{X}, t), \quad \mathbf{X} \in \Gamma, \quad t > 0, \quad (10) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (\mathbf{q}_c, \mathbf{n})|_{\Gamma_1 \cup \Gamma_2} &= 0, \quad c(\mathbf{X}, t)|_{\Gamma_3 \cup \Gamma_5} = \tilde{C}_1(\mathbf{X}, t), \\ (\mathbf{D}\nabla c + \mathbf{D}_T \nabla T, \mathbf{n})|_{\Gamma_4 \cup \Gamma_6} &= 0, \quad \mathbf{X} \in \Gamma, \quad t > 0, \quad (11) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (\mathbf{q}_T, \mathbf{n})|_{\Gamma_1 \cup \Gamma_2} &= 0, \quad T(\mathbf{X}, t)|_{\Gamma_3 \cup \Gamma_5} = \tilde{T}_1(\mathbf{X}, t), \quad T(\mathbf{X}, t)|_{\Gamma_4 \cup \Gamma_6} = \\ &= \tilde{T}_2(\mathbf{X}, t), \quad \mathbf{X} \in \Gamma, \quad t > 0, \quad (12) \end{aligned}$$

$$\mathbf{u}(\mathbf{X}) = 0, \quad \mathbf{X} \in \Gamma_1 \cup \Gamma_2, \quad \sigma_n = 0, \quad \tau_s = 0, \quad \mathbf{X} \in \Gamma_3 \cup \Gamma_4 \cup \Gamma_5 \cup \Gamma_6, \quad (13)$$

$$h(\mathbf{X}, 0) = \tilde{H}_0(\mathbf{X}), \quad c(\mathbf{X}, 0) = \tilde{C}_0(\mathbf{X}), \quad T(\mathbf{X}, 0) = \tilde{T}_0(\mathbf{X}), \quad \mathbf{X} \in \Omega. \quad (14)$$

Тут використані наступні позначення: $\mathbf{X} = (x, y, z)$ – точка області Ω ; Γ – границя області Ω ; t – час; $\mathbf{u} = (U, V, W)$ – зміщення, м; $c(\mathbf{X}, t)$ – концентрація сольового розчину, г/л; $T(\mathbf{X}, t)$ – температура, °С; $h(\mathbf{X}, t)$ – п'єзометричний напір, м; X, Y, Z – компоненти масової сили, Н; $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ та $\varepsilon_{xy}, \varepsilon_{xz}, \varepsilon_{yz}$ – нормальні та дотичні деформації; $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ та $\tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}$ – нормальні та дотичні напруження, Па; p_1, p_2, p_3 – фільтраційні тиски сольового розчину, Па, $p_1 = \gamma_p(h - x)$, $p_2 = \gamma_p(h - y)$, $p_3 = \gamma_p(h - z)$; \mathbf{v} – вектор швидкості фільтрації, м/доба; $\lambda(c, T)$ і $\mu(c, T)$ – коефіцієнти Ламе, що залежать від концентрації сольового розчину і температури, Па; $\mathbf{K}(c, T)$ – тензор фільтрації, який залежить від концентрації сольового розчину і температури, м/доба; \mathbf{D} і \mathbf{D}_T – тензори конвективної дифузії і термодифузії, м/доба; c_p – питома теплоємність порового розчину при постійному тиску, Дж/(кг•град); c_T – питома теплоємність ґрунту при сталому об'ємі, Дж/(м³•град); \mathbf{v}_c – тензор хімічного осмосу, м²/(кг•доба); \mathbf{v}_T – тензор термічного осмосу, м²/(град•доба); ρ – густина

порового розчину, кг/м³; γ – константа швидкості масообміну, доба⁻¹; C_m – концентрація граничного насичення, г/л; γ_{3e} – питома вага ґрунту, що знаходиться у зваженому стані, Па/м; \mathbf{n} – вектор напрямних косинусів зовнішньої нормалі до межі Γ області Ω ; $\tilde{H}_0(\mathbf{X}), \tilde{C}_0(\mathbf{X}), \tilde{T}_0(\mathbf{X}), \tilde{H}_1(\mathbf{X}, t), \tilde{H}_2(\mathbf{X}, t), \tilde{C}_1(\mathbf{X}, t), \tilde{T}_1(\mathbf{X}, t), \tilde{T}_2(\mathbf{X}, t)$ – задані функції; $\bar{T} = T(\mathbf{X}, t) - T = T(\mathbf{X}, 0) - T$ – різниця температур у даний момент часу і температурою ненапруженого стану в заданій точці; α_T – середній коефіцієнт лінійного теплового розширення в інтервалі температур (T_0, T) [8].

Чисельний розв'язок задачі. Покриємо область $\bar{Q}_T = \bar{\Omega} \times [0, t_0]$ рівномірною сіткою $\bar{Q}^{(m_1, m_2, m_3, n_1)} = ([0; m_1 h_1] \times [0; m_2 h_2] \times [0; m_3 h_3]) \times [0; n_1 \tau]$ з кроками h_1, h_2, h_3 та τ відповідно по змінних x, y, z та часу t , де m_1, m_2, m_3, n_1 – кількість кроків по просторових змінних та часу відповідно.

Скінченнорізницеві аналоги системи (1) мають наступний вигляд:

$$\begin{aligned} \mu_{i_1, i_2, i_3} &\left(\frac{V_{i_1+1, i_2, i_3} - 2V_{i_1, i_2, i_3} + V_{i_1-1, i_2, i_3}}{h_1^2} + \frac{V_{i_1, i_2+1, i_3} - 2V_{i_1, i_2, i_3} + V_{i_1, i_2-1, i_3}}{h_2^2} + \right. \\ &+ \left. \frac{V_{i_1, i_2, i_3+1} - 2V_{i_1, i_2, i_3} + V_{i_1, i_2, i_3-1}}{h_3^2} \right) + (\lambda_{i_1, i_2, i_3} + \mu_{i_1, i_2, i_3}) \frac{V_{i_1+1, i_2, i_3} - 2V_{i_1, i_2, i_3} + V_{i_1-1, i_2, i_3}}{h_1^2} + \\ &+ \left(\frac{\lambda_{i_1, i_2, i_3} - \lambda_{i_1, i_2, i_3}}{h_2} + 2 \frac{\mu_{i_1, i_2+1, i_3} - \mu_{i_1, i_2, i_3}}{h_2} \right) \frac{V_{i_1, i_2+1, i_3} - V_{i_1, i_2, i_3} + \mu_{i_1, i_2+1, i_3} - \mu_{i_1, i_2, i_3}}{h_1} \times \\ &\times \frac{V_{i_1, i_2+1, i_3} - V_{i_1, i_2, i_3} + \mu_{i_1, i_2+1, i_3} - \mu_{i_1, i_2, i_3}}{h_2} + \frac{V_{i_1, i_2, i_3+1} - V_{i_1, i_2, i_3} + \mu_{i_1, i_2, i_3+1} - \mu_{i_1, i_2, i_3}}{h_3} = f_{i_1, i_2, i_3}^2(U, W, T), \\ \mu_{i_1, i_2, i_3} &\left(\frac{U_{i_1+1, i_2, i_3} - 2U_{i_1, i_2, i_3} + U_{i_1-1, i_2, i_3}}{h_1^2} + \frac{U_{i_1, i_2+1, i_3} - 2U_{i_1, i_2, i_3} + U_{i_1, i_2-1, i_3}}{h_2^2} + \right. \\ &+ \left. \frac{U_{i_1, i_2, i_3+1} - 2U_{i_1, i_2, i_3} + U_{i_1, i_2, i_3-1}}{h_3^2} \right) + (\lambda_{i_1, i_2, i_3} + \mu_{i_1, i_2, i_3}) \frac{U_{i_1+1, i_2, i_3} - 2U_{i_1, i_2, i_3} + U_{i_1-1, i_2, i_3}}{h_1^2} + \\ &+ \left(\frac{\lambda_{i_1, i_2, i_3} - \lambda_{i_1, i_2, i_3}}{h_1} + 2 \frac{\mu_{i_1+1, i_2, i_3} - \mu_{i_1, i_2, i_3}}{h_1} \right) \frac{U_{i_1+1, i_2, i_3} - U_{i_1, i_2, i_3} + \mu_{i_1+1, i_2, i_3} - \mu_{i_1, i_2, i_3}}{h_2} \times \\ &\times \frac{U_{i_1+1, i_2, i_3} - U_{i_1, i_2, i_3} + \mu_{i_1+1, i_2, i_3} - \mu_{i_1, i_2, i_3}}{h_2} + \frac{U_{i_1, i_2, i_3+1} - U_{i_1, i_2, i_3} + \mu_{i_1, i_2, i_3+1} - \mu_{i_1, i_2, i_3}}{h_3} = f_{i_1, i_2, i_3}^1(V, W, T), \\ \mu_{i_1, i_2, i_3} &\left(\frac{W_{i_1+1, i_2, i_3} - 2W_{i_1, i_2, i_3} + W_{i_1-1, i_2, i_3}}{h_1^2} + \frac{W_{i_1, i_2+1, i_3} - 2W_{i_1, i_2, i_3} + W_{i_1, i_2-1, i_3}}{h_2^2} + \right. \\ &+ \left. \frac{W_{i_1, i_2, i_3+1} - 2W_{i_1, i_2, i_3} + W_{i_1, i_2, i_3-1}}{h_3^2} \right) + (\lambda_{i_1, i_2, i_3} + \mu_{i_1, i_2, i_3}) \frac{W_{i_1+1, i_2, i_3} - 2W_{i_1, i_2, i_3} + W_{i_1-1, i_2, i_3}}{h_1^2} + \\ &+ \left(\frac{\lambda_{i_1, i_2, i_3} - \lambda_{i_1, i_2, i_3}}{h_3} + 2 \frac{\mu_{i_1, i_2, i_3+1} - \mu_{i_1, i_2, i_3}}{h_3} \right) \frac{W_{i_1, i_2+1, i_3} - W_{i_1, i_2, i_3} + \mu_{i_1, i_2+1, i_3} - \mu_{i_1, i_2, i_3}}{h_1} \times \\ &\times \frac{W_{i_1+1, i_2, i_3} - W_{i_1, i_2, i_3} + \mu_{i_1+1, i_2, i_3} - \mu_{i_1, i_2, i_3}}{h_2} + \frac{W_{i_1, i_2, i_3+1} - W_{i_1, i_2, i_3} + \mu_{i_1, i_2, i_3+1} - \mu_{i_1, i_2, i_3}}{h_2} = f_{i_1, i_2, i_3}^3(U, V, T), \end{aligned} \quad (15)$$

де $i_1 = 1, m_1 - 1, i_2 = 1, m_2 - 1, i_3 = 1, m_3 - 1$; $f_{i_1, i_2, i_3}^1(V, W, T)$, $f_{i_1, i_2, i_3}^2(U, W, T)$, $f_{i_1, i_2, i_3}^3(U, V, T)$ – деякі відомі функції.

Скінченнорізницеві аналоги для (2) мають такий вигляд:

$$\begin{aligned} X_{i_1, i_2, i_3} &= \frac{(p_1)_{i_1+1, i_2, i_3} - (p_1)_{i_1-1, i_2, i_3}}{2h_1}, \quad Y_{i_1, i_2, i_3} = \frac{(p_2)_{i_1, i_2+1, i_3} - (p_2)_{i_1, i_2-1, i_3}}{2h_2}, \\ Z_{i_1, i_2, i_3} &= \gamma_{3e} + \frac{(p_3)_{i_1, i_2, i_3+1} - (p_3)_{i_1, i_2, i_3-1}}{2h_3}, \quad (16) \end{aligned}$$

де $(p_1)_{i_1, i_2, i_3} = \gamma_p(h_{i_1, i_2, i_3} - i_1 h_1)$, $(p_2)_{i_1, i_2, i_3} = \gamma_p(h_{i_1, i_2, i_3} - i_2 h_2)$, $(p_3)_{i_1, i_2, i_3} = \gamma_p(h_{i_1, i_2, i_3} - i_3 h_3)$, $i_1 = 1, m_1 - 1, i_2 = 1, m_2 - 1, i_3 = 1, m_3 - 1$.

Для дискретизації рівнянь (3) та (4) застосуємо локально-одновимірну схему О.А. Самарського [9] з використанням монотонної різничевої схеми [10]. Тоді скінченнорізницеві аналоги (3) запишуться у вигляді наступної системи різницевих рівнянь:

$$\begin{aligned}
 n_p \frac{c_{i_1, i_2, i_3}^{(j+1/3)} - c_{i_1, i_2, i_3}^{(j)}}{\tau} &= \frac{(\eta_1)_{i_1, i_2, i_3}^{(j)}}{h_1} \left((d_1)_{i_1, i_2, i_3}^{(j)} \frac{c_{i_1+1, i_2, i_3}^{(j+1/3)} - c_{i_1, i_2, i_3}^{(j+1/3)}}{h_1} - (d_1)_{i_1, i_2, i_3}^{(j)} \frac{c_{i_1-1, i_2, i_3}^{(j+1/3)} - c_{i_1, i_2, i_3}^{(j+1/3)}}{h_1} \right) + \\
 &+ \frac{(v_1^+)_{i_1, i_2, i_3}^{(j)}}{(D_1)_{i_1, i_2, i_3}^{(j)}} \cdot (d_1)_{i_1+1, i_2, i_3}^{(j)} \frac{c_{i_1+1, i_2, i_3}^{(j+1/3)} - c_{i_1, i_2, i_3}^{(j+1/3)}}{h_1} + \frac{(v_1^-)_{i_1, i_2, i_3}^{(j)}}{(D_1)_{i_1, i_2, i_3}^{(j)}} \cdot (d_1)_{i_1, i_2, i_3}^{(j)} \frac{c_{i_1+1, i_2, i_3}^{(j+1/3)} - c_{i_1-1, i_2, i_3}^{(j+1/3)}}{h_1} - \\
 &- \frac{\gamma}{3} (c_{i_1, i_2, i_3}^{(j+1/3)} - C_m) + \frac{1}{h_1} \left((d_{T_1})_{i_1, i_2, i_3}^{(j)} \frac{T_{i_1+1, i_2, i_3}^{(j+1/3)} - T_{i_1, i_2, i_3}^{(j+1/3)}}{h_1} - (d_{T_1})_{i_1, i_2, i_3}^{(j)} \frac{T_{i_1+1, i_2, i_3}^{(j+1/3)} - T_{i_1-1, i_2, i_3}^{(j+1/3)}}{h_1} \right), \\
 n_p \frac{c_{i_1, i_2, i_3}^{(j+2/3)} - c_{i_1, i_2, i_3}^{(j+1/3)}}{\tau} &= \frac{(\eta_2)_{i_1, i_2, i_3}^{(j+1/3)}}{h_2} \left((d_2)_{i_1, i_2, i_3}^{(j+1/3)} \frac{c_{i_1, i_2+1, i_3}^{(j+2/3)} - c_{i_1, i_2, i_3}^{(j+2/3)}}{h_2} - (d_2)_{i_1, i_2, i_3}^{(j+1/3)} \frac{c_{i_1, i_2-1, i_3}^{(j+2/3)} - c_{i_1, i_2, i_3}^{(j+2/3)}}{h_2} \right) + \\
 &+ \frac{(v_2^+)_{i_1, i_2, i_3}^{(j+1/3)}}{(D_2)_{i_1, i_2, i_3}^{(j+1/3)}} \cdot (d_2)_{i_1, i_2+1, i_3}^{(j+1/3)} \frac{c_{i_1, i_2+1, i_3}^{(j+2/3)} - c_{i_1, i_2, i_3}^{(j+2/3)}}{h_2} + \frac{(v_2^-)_{i_1, i_2, i_3}^{(j+1/3)}}{(D_2)_{i_1, i_2, i_3}^{(j+1/3)}} \cdot (d_2)_{i_1, i_2, i_3}^{(j+1/3)} \frac{c_{i_1, i_2+1, i_3}^{(j+2/3)} - c_{i_1, i_2-1, i_3}^{(j+2/3)}}{h_2} - \\
 &- \frac{\gamma}{3} (c_{i_1, i_2, i_3}^{(j+2/3)} - C_m) + \frac{1}{h_2} \left((d_{T_2})_{i_1, i_2, i_3}^{(j+1/3)} \frac{T_{i_1, i_2+1, i_3}^{(j+2/3)} - T_{i_1, i_2, i_3}^{(j+2/3)}}{h_2} - (d_{T_2})_{i_1, i_2, i_3}^{(j+1/3)} \frac{T_{i_1, i_2+1, i_3}^{(j+2/3)} - T_{i_1, i_2-1, i_3}^{(j+2/3)}}{h_2} \right), \\
 n_p \frac{c_{i_1, i_2, i_3}^{(j+1)} - c_{i_1, i_2, i_3}^{(j+2/3)}}{\tau} &= \frac{(\eta_3)_{i_1, i_2, i_3}^{(j+2/3)}}{h_3} \left((d_3)_{i_1, i_2, i_3}^{(j+2/3)} \frac{c_{i_1, i_2, i_3+1}^{(j+1)} - c_{i_1, i_2, i_3}^{(j+1)}}{h_3} - (d_3)_{i_1, i_2, i_3}^{(j+2/3)} \frac{c_{i_1, i_2, i_3-1}^{(j+1)} - c_{i_1, i_2, i_3}^{(j+1)}}{h_3} \right) + \\
 &+ \frac{(v_3^+)_{i_1, i_2, i_3}^{(j+2/3)}}{(D_3)_{i_1, i_2, i_3}^{(j+2/3)}} \cdot (d_3)_{i_1, i_2, i_3+1}^{(j+2/3)} \frac{c_{i_1, i_2, i_3+1}^{(j+1)} - c_{i_1, i_2, i_3}^{(j+1)}}{h_3} + \frac{(v_3^-)_{i_1, i_2, i_3}^{(j+2/3)}}{(D_3)_{i_1, i_2, i_3}^{(j+2/3)}} \cdot (d_3)_{i_1, i_2, i_3}^{(j+2/3)} \frac{c_{i_1, i_2, i_3+1}^{(j+1)} - c_{i_1, i_2, i_3-1}^{(j+1)}}{h_3} - \\
 &- \frac{\gamma}{3} (c_{i_1, i_2, i_3}^{(j+1)} - C_m) + \frac{1}{h_3} \left((d_{T_3})_{i_1, i_2, i_3}^{(j+2/3)} \frac{T_{i_1, i_2, i_3+1}^{(j+1)} - T_{i_1, i_2, i_3}^{(j+1)}}{h_3} - (d_{T_3})_{i_1, i_2, i_3}^{(j+2/3)} \frac{T_{i_1, i_2, i_3+1}^{(j+1)} - T_{i_1, i_2, i_3-1}^{(j+1)}}{h_3} \right), \quad (17)
 \end{aligned}$$

де $(d_1)_{i_1, i_2, i_3}^{(j)}$, $(d_2)_{i_1, i_2, i_3}^{(j)}$, $(d_3)_{i_1, i_2, i_3}^{(j)}$, $(d_{T_1})_{i_1, i_2, i_3}^{(j)}$, $(d_{T_2})_{i_1, i_2, i_3}^{(j)}$, $(d_{T_3})_{i_1, i_2, i_3}^{(j)}$ – деякі відомі функції, $(\eta_{i_k})_{i_1, i_2, i_3}^{(j)} = 1 - \frac{h_{i_k} |v_{i_k}|_{i_1, i_2, i_3}^{(j)}}{3(D_{i_k})_{i_1, i_2, i_3}^{(j)}} + O(h_{i_k}^2)$, $(v_{i_k}^+)_{i_1, i_2, i_3}^{(j)} = \frac{-(v_{i_k})_{i_1, i_2, i_3}^{(j)} + |v_{i_k}|_{i_1, i_2, i_3}^{(j)}}{3} \geq 0$, $(v_{i_k}^-)_{i_1, i_2, i_3}^{(j)} = \frac{-(v_{i_k})_{i_1, i_2, i_3}^{(j)} - |v_{i_k}|_{i_1, i_2, i_3}^{(j)}}{3} \leq 0$, $i_1 = \overline{1, m_1 - 1}$, $i_2 = \overline{1, m_2 - 1}$, $i_3 = \overline{1, m_3 - 1}$, $j = \overline{0, n_1 - 1}$, $i_4 = \overline{1, 2, 3}$.

Скінченнорізницеві аналоги (4) мають вигляд

$$\begin{aligned}
 c_T \frac{T_{i_1, i_2, i_3}^{(j+1/3)} - T_{i_1, i_2, i_3}^{(j)}}{\tau} &= \frac{(\bar{\eta}_1)_{i_1, i_2, i_3}^{(j)}}{h_1} \left((\bar{\lambda}_{T_1})_{i_1, i_2, i_3}^{(j)} \frac{T_{i_1+1, i_2, i_3}^{(j+1/3)} - T_{i_1, i_2, i_3}^{(j+1/3)}}{h_1} - (\bar{\lambda}_{T_1})_{i_1, i_2, i_3}^{(j)} \frac{T_{i_1+1, i_2, i_3}^{(j+1/3)} - T_{i_1-1, i_2, i_3}^{(j+1/3)}}{h_1} \right) + \\
 &+ \rho c \left(\frac{(v_1^+)_{i_1, i_2, i_3}^{(j)}}{(\bar{\lambda}_{T_1})_{i_1, i_2, i_3}^{(j)}} (\bar{\lambda}_{T_1})_{i_1+1, i_2, i_3}^{(j)} \frac{T_{i_1+1, i_2, i_3}^{(j+1/3)} - T_{i_1, i_2, i_3}^{(j+1/3)}}{h_1} + \frac{(v_1^-)_{i_1, i_2, i_3}^{(j)}}{(\bar{\lambda}_{T_1})_{i_1, i_2, i_3}^{(j)}} (\bar{\lambda}_{T_1})_{i_1, i_2, i_3}^{(j)} \frac{T_{i_1+1, i_2, i_3}^{(j+1/3)} - T_{i_1-1, i_2, i_3}^{(j+1/3)}}{h_1} \right), \\
 c_T \frac{T_{i_1, i_2, i_3}^{(j+2/3)} - T_{i_1, i_2, i_3}^{(j+1/3)}}{\tau} &= \frac{(\bar{\eta}_2)_{i_1, i_2, i_3}^{(j+1/3)}}{h_2} \left((\bar{\lambda}_{T_2})_{i_1, i_2, i_3}^{(j+1/3)} \frac{T_{i_1, i_2+1, i_3}^{(j+2/3)} - T_{i_1, i_2, i_3}^{(j+2/3)}}{h_2} - (\bar{\lambda}_{T_2})_{i_1, i_2, i_3}^{(j+1/3)} \frac{T_{i_1, i_2+1, i_3}^{(j+2/3)} - T_{i_1, i_2-1, i_3}^{(j+2/3)}}{h_2} \right) + \\
 &+ \rho c \left(\frac{(v_2^+)_{i_1, i_2, i_3}^{(j+1/3)}}{(\bar{\lambda}_{T_2})_{i_1, i_2, i_3}^{(j+1/3)}} (\bar{\lambda}_{T_2})_{i_1, i_2+1, i_3}^{(j+1/3)} \frac{T_{i_1, i_2+1, i_3}^{(j+2/3)} - T_{i_1, i_2, i_3}^{(j+2/3)}}{h_2} + \frac{(v_2^-)_{i_1, i_2, i_3}^{(j+1/3)}}{(\bar{\lambda}_{T_2})_{i_1, i_2, i_3}^{(j+1/3)}} (\bar{\lambda}_{T_2})_{i_1, i_2, i_3}^{(j+1/3)} \frac{T_{i_1, i_2+1, i_3}^{(j+2/3)} - T_{i_1, i_2-1, i_3}^{(j+2/3)}}{h_2} \right), \\
 c_T \frac{T_{i_1, i_2, i_3}^{(j+1)} - T_{i_1, i_2, i_3}^{(j+2/3)}}{\tau} &= \frac{(\bar{\eta}_3)_{i_1, i_2, i_3}^{(j+2/3)}}{h_3} \left((\bar{\lambda}_{T_3})_{i_1, i_2, i_3}^{(j+2/3)} \frac{T_{i_1, i_2, i_3+1}^{(j+1)} - T_{i_1, i_2, i_3}^{(j+1)}}{h_3} - (\bar{\lambda}_{T_3})_{i_1, i_2, i_3}^{(j+2/3)} \frac{T_{i_1, i_2, i_3+1}^{(j+1)} - T_{i_1, i_2, i_3-1}^{(j+1)}}{h_3} \right) + \\
 &+ \rho c \left(\frac{(v_3^+)_{i_1, i_2, i_3}^{(j+2/3)}}{(\bar{\lambda}_{T_3})_{i_1, i_2, i_3}^{(j+2/3)}} (\bar{\lambda}_{T_3})_{i_1, i_2, i_3+1}^{(j+2/3)} \frac{T_{i_1, i_2, i_3+1}^{(j+1)} - T_{i_1, i_2, i_3}^{(j+1)}}{h_3} + \frac{(v_3^-)_{i_1, i_2, i_3}^{(j+2/3)}}{(\bar{\lambda}_{T_3})_{i_1, i_2, i_3}^{(j+2/3)}} (\bar{\lambda}_{T_3})_{i_1, i_2, i_3}^{(j+2/3)} \frac{T_{i_1, i_2, i_3+1}^{(j+1)} - T_{i_1, i_2, i_3-1}^{(j+1)}}{h_3} \right), \quad (18)
 \end{aligned}$$

де $(\bar{\lambda}_{T_1})_{i_1, i_2, i_3}^{(j)}$, $(\bar{\lambda}_{T_2})_{i_1, i_2, i_3}^{(j)}$, $(\bar{\lambda}_{T_3})_{i_1, i_2, i_3}^{(j)}$ – деякі відомі функції $(\bar{\eta}_{i_k})_{i_1, i_2, i_3}^{(j)} = 1 - \frac{h_{i_k} \rho c |v_{i_k}|_{i_1, i_2, i_3}^{(j)}}{3(\bar{\lambda}_{T_{i_k}})_{i_1, i_2, i_3}^{(j)}} + O(h_{i_k}^2)$, $i_1 = \overline{1, m_1 - 1}$, $i_2 = \overline{1, m_2 - 1}$, $i_3 = \overline{1, m_3 - 1}$, $j = \overline{0, n_1 - 1}$, $i_4 = \overline{1, 2, 3}$.

Скінченнорізницеві аналоги компонент швидкості фільтрації (5)

$$\begin{aligned}
 (v_1)_{i_1, i_2, i_3}^{(j)} &= -(K_1)_{i_1, i_2, i_3}^{(j)} \frac{h_{i_1+1, i_2, i_3}^{(j)} - h_{i_1-1, i_2, i_3}^{(j)}}{2h_1} + (v_{c_1})_{i_1, i_2, i_3}^{(j)} \frac{c_{i_1+1, i_2, i_3}^{(j)} - c_{i_1-1, i_2, i_3}^{(j)}}{2h_1} + (v_{T_1})_{i_1, i_2, i_3}^{(j)} \frac{T_{i_1+1, i_2, i_3}^{(j)} - T_{i_1-1, i_2, i_3}^{(j)}}{2h_1}, \\
 (v_2)_{i_1, i_2, i_3}^{(j)} &= -(K_2)_{i_1, i_2, i_3}^{(j)} \frac{h_{i_1, i_2+1, i_3}^{(j)} - h_{i_1, i_2-1, i_3}^{(j)}}{2h_2} + (v_{c_2})_{i_1, i_2, i_3}^{(j)} \frac{c_{i_1, i_2+1, i_3}^{(j)} - c_{i_1, i_2-1, i_3}^{(j)}}{2h_2} + (v_{T_2})_{i_1, i_2, i_3}^{(j)} \frac{T_{i_1, i_2+1, i_3}^{(j)} - T_{i_1, i_2-1, i_3}^{(j)}}{2h_2}, \\
 (v_3)_{i_1, i_2, i_3}^{(j)} &= -(K_3)_{i_1, i_2, i_3}^{(j)} \frac{h_{i_1, i_2, i_3+1}^{(j)} - h_{i_1, i_2, i_3-1}^{(j)}}{2h_3} + (v_{c_3})_{i_1, i_2, i_3}^{(j)} \frac{c_{i_1, i_2, i_3+1}^{(j)} - c_{i_1, i_2, i_3-1}^{(j)}}{2h_3} + (v_{T_3})_{i_1, i_2, i_3}^{(j)} \frac{T_{i_1, i_2, i_3+1}^{(j)} - T_{i_1, i_2, i_3-1}^{(j)}}{2h_3},
 \end{aligned}$$

де $(K_{i_k})_{i_1, i_2, i_3}^{(j)} = (K_{i_k})_{i_1, i_2, i_3}^{(j)} (c_{i_1, i_2, i_3}^{(j)}, T_{i_1, i_2, i_3}^{(j)})$, $i_1 = \overline{1, m_1 - 1}$, $i_2 = \overline{1, m_2 - 1}$, $i_3 = \overline{1, m_3 - 1}$, $j = \overline{0, n_1}$, $i_4 = \overline{1, 2, 3}$.

Нормальні та дотичні деформації (8) апроксимуються таким чином:

$$\begin{aligned}
 (\varepsilon_x)_{i_1, i_2, i_3} &= \frac{U_{i_1+1, i_2, i_3} - U_{i_1-1, i_2, i_3}}{2h_1}, \quad (\varepsilon_y)_{i_1, i_2, i_3} = \frac{U_{i_1, i_2+1, i_3} - U_{i_1, i_2-1, i_3}}{2h_2}, \\
 (\varepsilon_z)_{i_1, i_2, i_3} &= \frac{U_{i_1, i_2, i_3+1} - U_{i_1, i_2, i_3-1}}{2h_3}, \\
 (\varepsilon_{xy})_{i_1, i_2, i_3} &= \frac{1}{4} \left(\frac{U_{i_1, i_2+1, i_3} - U_{i_1, i_2-1, i_3}}{h_2} + \frac{V_{i_1+1, i_2, i_3} - V_{i_1-1, i_2, i_3}}{h_1} \right), \\
 (\varepsilon_{xz})_{i_1, i_2, i_3} &= \frac{1}{4} \left(\frac{U_{i_1, i_2, i_3+1} - U_{i_1, i_2, i_3-1}}{h_3} + \frac{W_{i_1+1, i_2, i_3} - W_{i_1-1, i_2, i_3}}{h_1} \right), \\
 (\varepsilon_{yz})_{i_1, i_2, i_3} &= \frac{1}{4} \left(\frac{V_{i_1, i_2, i_3+1} - V_{i_1, i_2, i_3-1}}{h_3} + \frac{W_{i_1, i_2+1, i_3} - W_{i_1, i_2-1, i_3}}{h_2} \right),
 \end{aligned}$$

$i_1 = \overline{1, m_1 - 1}$, $i_2 = \overline{1, m_2 - 1}$, $i_3 = \overline{1, m_3 - 1}$.

Скінченнорізницеві аналоги нормальних та дотичних напружень (9) мають наступний вигляд:

$$\begin{aligned}
 (\sigma_x)_{i_1, i_2, i_3} &= \lambda_{i_1, i_2, i_3} (\varepsilon_\theta)_{i_1, i_2, i_3} + 2\mu_{i_1, i_2, i_3} (\varepsilon_x)_{i_1, i_2, i_3} - (3\lambda_{i_1, i_2, i_3} + 2\mu_{i_1, i_2, i_3}) \alpha_T \bar{T}_{i_1, i_2, i_3}^{(j)}, \\
 (\sigma_y)_{i_1, i_2, i_3} &= \lambda_{i_1, i_2, i_3} (\varepsilon_\theta)_{i_1, i_2, i_3} + 2\mu_{i_1, i_2, i_3} (\varepsilon_y)_{i_1, i_2, i_3} - (3\lambda_{i_1, i_2, i_3} + 2\mu_{i_1, i_2, i_3}) \alpha_T \bar{T}_{i_1, i_2, i_3}^{(j)}, \\
 (\sigma_z)_{i_1, i_2, i_3} &= \lambda_{i_1, i_2, i_3} (\varepsilon_\theta)_{i_1, i_2, i_3} + 2\mu_{i_1, i_2, i_3} (\varepsilon_z)_{i_1, i_2, i_3} - (3\lambda_{i_1, i_2, i_3} + 2\mu_{i_1, i_2, i_3}) \alpha_T \bar{T}_{i_1, i_2, i_3}^{(j)}, \\
 (\tau_{xy})_{i_1, i_2, i_3} &= 2\mu_{i_1, i_2, i_3} (\varepsilon_{xy})_{i_1, i_2, i_3}, \quad (\tau_{xz})_{i_1, i_2, i_3} = 2\mu_{i_1, i_2, i_3} (\varepsilon_{xz})_{i_1, i_2, i_3}, \\
 (\tau_{yz})_{i_1, i_2, i_3} &= 2\mu_{i_1, i_2, i_3} (\varepsilon_{yz})_{i_1, i_2, i_3},
 \end{aligned}$$

де $(\varepsilon_\theta)_{i_1, i_2, i_3} = (\varepsilon_x)_{i_1, i_2, i_3} + (\varepsilon_y)_{i_1, i_2, i_3} + (\varepsilon_z)_{i_1, i_2, i_3}$, $T_{i_1, i_2, i_3}^{(j)} = T_{i_1, i_2, i_3}^{(j)} - T_{i_1, i_2, i_3}^{(0)}$, $i_1 = \overline{1, m_1 - 1}$, $i_2 = \overline{1, m_2 - 1}$, $i_3 = \overline{1, m_3 - 1}$, $j = \overline{0, n_1}$.

Аналогічно здійснено апроксимацію крайових умов (10)–(14).

Для знаходження значень зміщень $U(\mathbf{X})$, $V(\mathbf{X})$ та $W(\mathbf{X})$ з різницевих рівнянь (16) використано ітераційний метод Гауса-Зейделя. Для знаходження концентрації сольового розчину $c(\mathbf{X}, t)$ та температури $T(\mathbf{X}, t)$ використано метод прогонки [10].

Результати комп'ютерного моделювання та їх аналіз. Для чисельного розв'язування та комп'ютерного моделювання поставленої задачі створено програмний комплекс можливостями фреймворку Microsoft Visual Studio 2017 для Windows Desktop на мові програмування C#. Даний комплекс дає можливість наочного відображення отриманих результатів у вигляді графіків та табличних даних розподілу полів зміщень,

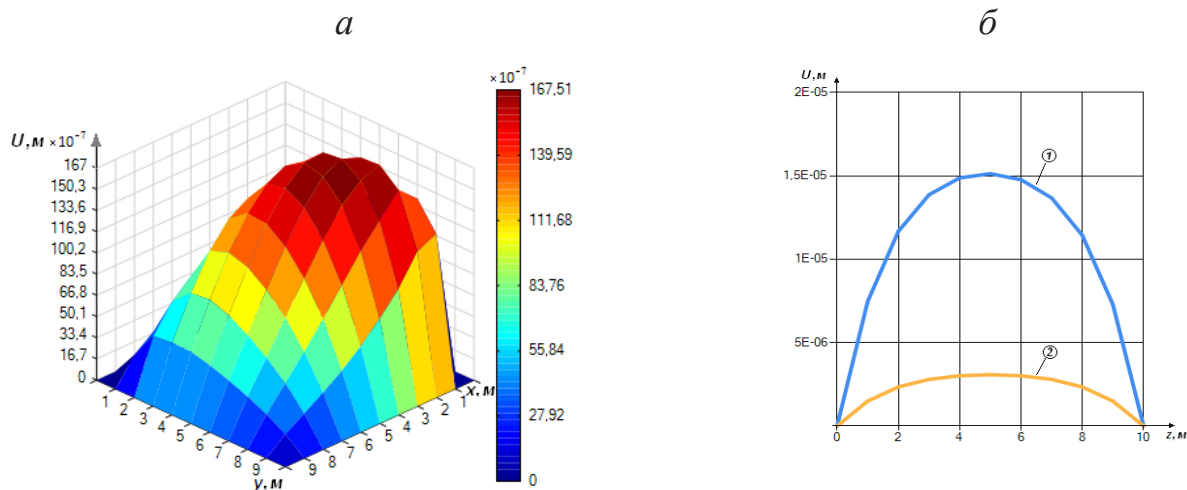


Рис. 2. Розподіли зміщень $U(X)$

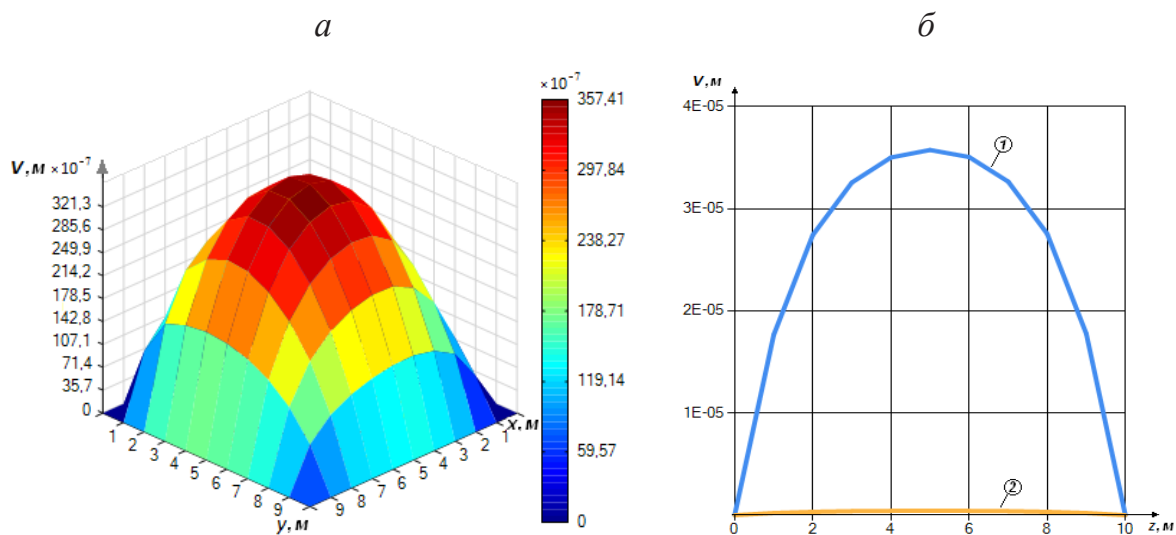


Рис. 3. Розподіли зміщень $V(X)$

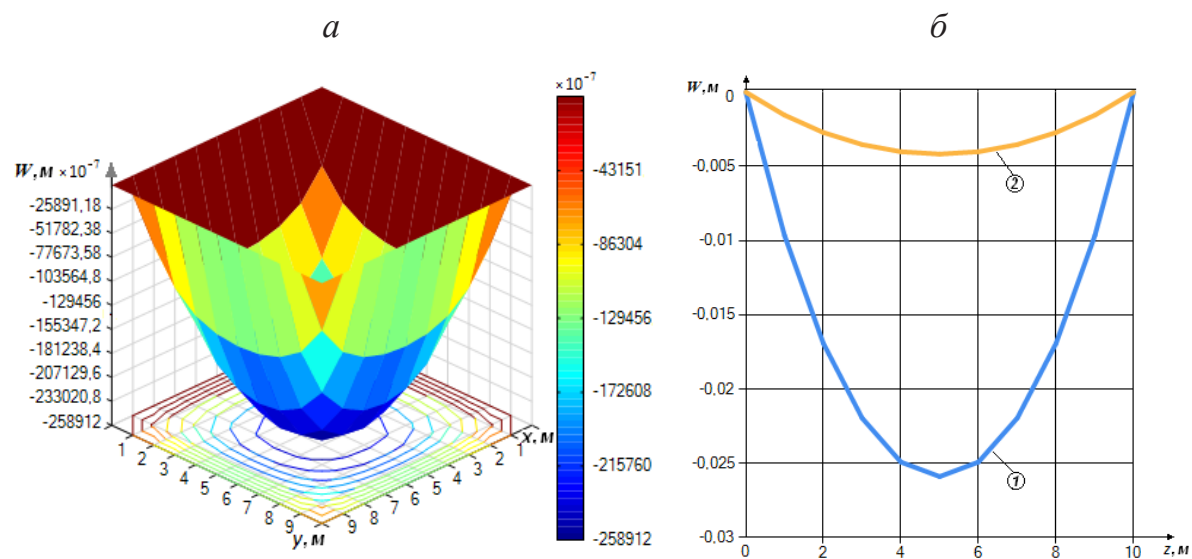


Рис. 4. Розподіли зміщень $W(X)$

нормальних і дотичних напружень та деформацій, а також напору, концентрації солей та температури в досліджуваній області.

Як приклад, розглянуто просторовий напружено-деформований стан у ґрунтовому масиві в області $\Omega = \{X = (x, y, z): 0 \leq x \leq l_1, 0 \leq y \leq l_2, 0 \leq z \leq l_3\}$, що має форму прямокутного паралелепіпеда довжиною $l_1 = 10$ м, товщиною $l_2 = 10$ м та висотою $l_3 = 10$ м з наступними вхідними даними:

$$n_p = 0,3, \alpha_r = 1 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{град}}, D = 2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^2}{\text{доба}}, D_r = 2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^2}{\text{доба}}, \gamma_p = 1 \cdot 10^4 \frac{\text{Па}}{\text{м}},$$

$$\gamma_{жк} = 1,3 \cdot 10^4 \frac{\text{Па}}{\text{м}}, \gamma_{сп} = 1,7 \cdot 10^4 \frac{\text{Па}}{\text{м}}, \lambda = 1,35 \cdot 10^7 \text{ Па}, \mu = 0,9 \cdot 10^7 \text{ Па},$$

$$E = 2,34 \cdot 10^7 \text{ Па}, \rho = 1100 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}, \gamma = 6,5 \cdot 10^{-5} \text{ доба}^{-1}, c_p = 4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}},$$

$$c_r = 2,137 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3 \cdot \text{град}}, \lambda_r = 108 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{м} \cdot \text{град} \cdot \text{доба}}, \tilde{H}_0(X, t) = 1 \text{ м},$$

$$\tilde{H}_1(X, t) = 10 \text{ м}, \tilde{H}_2(X, t) = 1 \text{ м}, \tilde{T}_0(X, t) = 5^\circ \text{C}, \tilde{T}_1(X, t) = 30^\circ \text{C},$$

$$\tilde{T}_2(X, t) = 15^\circ \text{C}, \tilde{C}_1(X, t) = C_m = 350 \frac{\text{г}}{\text{літр}}, \tilde{C}_2(X, t) = \tilde{C}_0(X, t) = 8 \frac{\text{г}}{\text{літр}}.$$

Коефіцієнт фільтрації чистої води приймався $K = 1 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}}{\text{доба}}$.

Залежності коефіцієнтів Ламе, коефіцієнта фільтрації від концентрації сольових розчинів взято з [11; 12].

Проведено серію чисельних експериментів, результати яких наведено у вигляді графіків при $t = 1080$ діб.

На рис. 2–4 наведено графіки функцій а) у перерізі площиною xOy при $z = 5$ м з урахуванням тепломасоперенесення; б) у перерізі площинами при $x = 5$ м та yOz при $y = 5$ м:

1) з урахуванням тепломасоперенесення;

2) без урахування тепломасоперенесення (при фільтрації чистої води).

Аналіз графіків, зображених на рис. 2 б – 4 б свідчить про значний вплив тепломасоперенесення на деформаційні процеси ґрунтових масивів. Зокрема, максимальні значення зміщень $U(X)$,

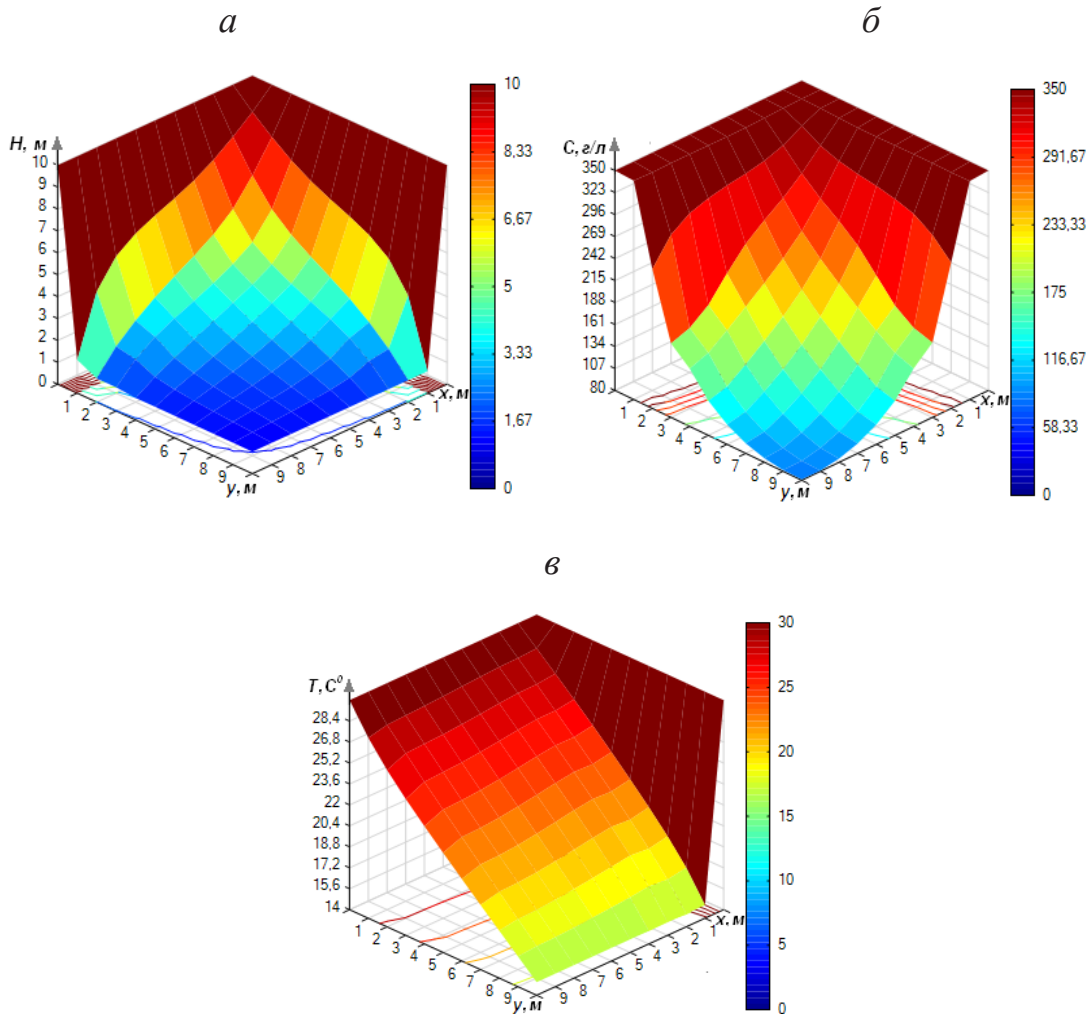


Рис. 5. Розподіли полів п'єзометричного напору $h(X, t)$ (а), концентрації сольових розчинів $c(X, t)$ (б) та температури $T(X, t)$ (в)

$V(X)$ та $W(X)$ за умови врахуванні тепломасоперенесення збільшуються від 2,5 до 4,5 разів у порівнянні з відповідними величинами при фільтрації чистої води.

Висновки. У статті сформульовано постановку задачі та проведено математичне і комп'ютерне моделювання впливу тепломасоперенесення на просторовий напружено-деформований стан ґрунтового масиву. Чисельний розв'язок поставленої крайової задачі знайдено методом скінчених різниць із використанням монотонної різницевої схеми для нелінійних рівнянь параболічного типу, що містять першу похідну, локально-одновимірний метод Самарського, метод скінчених різниць для чисельного розв'язування системи рівнянь рівноваги в формі Ламе для зміщень ґрунту. Для проведення комп'ютерного моделю-

вання створено програмний комплекс можливостями фреймворку Microsoft Visual Studio 2017 для Windows Desktop на мові програмування C# та розглянуто ґрунтовий масив, що має форму прямокутного паралелепіпеда. Як показали результати комп'ютерного моделювання та проведених чисельних експериментів, при врахуванні тепломасоперенесення значення зміщень, нормальних і дотичних деформацій та напружень ґрунтового масиву значно змінюються в порівнянні з відповідними значеннями при фільтрації чистої води та відсутністю процесів тепломасоперенесення. Отримані результати можуть бути використані проектними та будівельними організаціями, в інженерній практиці, в науково-дослідних інститутах, конструкторських бюро та ін. при прогнозуванні несучої здатності ґрунтових масивів.

Список літератури:

1. Сергиенко И.В., Скопецкий В.В., Дейнека В.С. Математическое моделирование и исследование процессов в неоднородных средах. К.: Наукова думка, 1991. 432 с.
2. Encyclopedia of Thermal Stresses / Editor R. B. Hetnarski. Springer Dordrecht Heidelberg New York London, 2014.
3. Duncan J. M., Wright S. G., Brandon T. L. Soil strength and slope stability. 2nd Edition. Wiley, 2014. 333 p.
4. Кузло М.Т. Моделювання деформацій ґрунтових масивів при зміні гідрогеологічних умов та дії техногенних факторів: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.23.02; Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури. Київ, 2014. 34 с.
5. Vlasyuk A. P., Zhukovskaya N. A. Mathematical simulation of the stressed-strained state of the foundation of earth dams with an open surface under the influence of heat and mass transfer in two-dimensional case. Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2015. Vol. 88(2). P. 329–341.
6. Vlasyuk A. P., Zhukovska N. A., Zhukovsky V. V., Klos-Witkowska A., Pazdriy I., Iatskyovska U. Mathematical Modelling of three-dimensional problem of soil mass stressed-strained state considering mass and heat transfer. Proceedings of the 2017 IEEE 9th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, September 2017. Vol. 1. P. 265–269.
7. Власюк А.П., Мартинюк П.М. Чисельне розв'язування задач консолідації та фільтраційного руйнування ґрунтів в умовах тепло-масопереносу методом радіальних базисних функцій: [монографія]. Рівне: Нац. ун-т водн. госп-ва та природокористування, 2010. 277 с.
8. Коваленко А.Д. Термоупругость. К.: Вища школа, 1975. 216 с.
9. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы математической физики. М.: Наука, 2003. 316 с.
10. Власюк А.П., Остапчук О.П., Степанченко О.М. Монотонна різницева схема для нелінійного одновимірного рівняння параболічного типу, що містить першу похідну. Вісник Київського університету. Сер. фіз.-мат. наук. К., 2005. Вип. 2. С. 188.
11. Власюк А.П., Кузло М.Т. Експериментальні дослідження деяких параметрів фільтрації сольових розчинів в піщаних ґрунтах. Меліорація і водне господарство. Міжвідомчий темат. наук. зб. К., 2000. Вип. 87. С. 43–46.
12. Кузло М.Т., Філатова І.А. Дослідження впливу концентрації сольових розчинів на деформаційні характеристики ґрунтів. Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво. Зб. наук. праць. Вип. 31. Рівне: НУВГП, 2007. С. 175–182.

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА НА ПРОСТРАНСТВЕННОЕ
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ГРУНТОВОГО МАССИВА**

В статье построена математическая модель влияния теплопереноса на напряженно-деформированное состояние грунтового массива в трехмерном случае. Для численного решения поставленной краевой задачи использованы такие численные методы: конечных разностей, монотонные разностные схемы для нелинейных уравнений параболического типа, содержащих первую производную, локально-одномерный метод Самарского, метод конечных разностей для численного решения системы уравнений равновесия в форме Ламе для смещений грунта. Создан программный комплекс возможностями фреймворка Microsoft Visual Studio 2017 для Windows Desktop на языке программирования C#. На основе компьютерного моделирования поставленной задачи показано влияние теплопереноса на распределение смещений, напряжений и деформаций грунтового массива.

Ключевые слова: *напряженно-деформированное состояние, смещения, напряжения, деформации, теплоперенос, несущая способность, численные методы, программный комплекс.*

**MATHEMATICAL AND COMPUTER MODELLING OF HEAT AND MASS TRANSFER EFFECT
ON THE THREE-DIMENSIONAL STRESSED-STRAINED STATE OF SOIL MASSIF**

The article describes a mathematical model of the influence of heat and mass transfer on the stressed-strained state of a soil massif in the three-dimensional case is constructed. Next numerical methods are used for numerical solution of the boundary value problem: finite differences, monotonic difference schemes for nonlinear parabolic equations containing the first derivative, Samarskyi's one-dimensional method, finite difference method for the numerical solution of the system of equilibrium equations in the form of Lamé for ground displacements. A software package has been created in Microsoft Visual Studio 2017 framework for Windows Desktop in the C # programming language. On the basis of computer modeling of the task have been shown the effect of heat and mass transfer on the distribution of displacements, stresses and strains of the soil massif.

Key words: *stressed-strained state, displacements, stresses, strains, mass and heat transfer, bearing capacity, numerical methods, software complex.*

УДК 528.7: 629.78

Гнатовская А.А.

Одесский государственный экологический университет

Мещеряков Д.В.

Одесская национальная академия пищевых технологий

Черепанова Е.В.

Одесский государственный экологический университет

КОНЦЕПЦИЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДАННЫХ ИНФРАКРАСНОЙ СИСТЕМОЙ С БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

В статье рассмотрена концепция преобразования данных в системе с биологической обратной связью, предназначенной для управления интенсивностью облучения человека инфракрасным полем. Показано, что формируемые человеком признаки лишь косвенно характеризуют реакции организма на плотность мощности излучения, что приводит к неопределенности формирования управляющих решений. Предложено использовать классификацию признакового пространства с последующей централизацией кластеров.

Ключевые слова: инфракрасное облучение, информативные признаки, неопределенность, биологическая обратная связь.

Постановка проблемы. Инфракрасные системы облучения получили широкое распространение для обогрева производственных помещений, при окраске автомобилей, сушке керамики, пайке печатных плат, выращивании птенцов и т.п. Их применение позволило экономить энергию сравнительно с конвективным обогревом, поскольку осуществляется нагрев обрабатываемых поверхностей, а не объема, в котором они находятся. Одной из обязательных функций таких систем является управление плотностью мощности инфракрасного излучения, поскольку данный показатель в существенной мере определяет протекающие физические, химические, биологические процессы [1]. Системы данного типа в качестве исполнительных органов используют керамические, трубчатые или ламповые инфракрасные излучатели, реже лазеры.

Для достаточно простых объектов выбор плотности мощности излучения не вызывает сложности, поскольку их теплофизические параметры обычно известны и неизменны. При обогреве биологических объектов ситуация существенно меняется, поскольку теплофизические условия обогрева зависят от собственного тепловыделения, расположения объекта относительно источника, внешних условий [2]. Система терморегуляции теплокров-

ного животного самостоятельно поддерживает внутреннюю температуру на постоянном уровне путем баланса внутреннего тепловыделения и потерь во внешнюю среду независимо от изменений окружающей среды в широком диапазоне.

Анализ последних достижений и публикаций. Существует два подхода построения систем с биологической обратной связью [3]:

1) кибернетический системный подход, использующий методы теории управления с исследованием идентификации биологических объектов в классе определенных математических моделей и вычислительных алгоритмов;

2) функциональный подход Анохина, связывающий в единое структуры живого организма, ответственные на афферентный синтез, принятие решения, эфферентные реакции и полезный приспособительный результат. Кибернетический подход удобен для построения биотехнических систем, поскольку позволяет воспользоваться всеми достижениями математического аппарата при формировании моделей, что полностью соответствует принципам построения технических информационных систем. Выделяют два класса динамических систем: стабилизирующие системы автоматического регулирования и адаптивные системы на основе многосвязного регулирования

[4]. Підхід передбачає розробку еквівалентної моделі, забезпечуючої об'єктивне відповідність біологічному об'єкту, здатну замінювати об'єкт і надавати інформацію, допускаючи експериментальну перевірку адекватності. Очевидним достоїнством такого підходу є сумісність вихідних атрибутів імітованого біологічного об'єкта атрибутам технічної системи. Основним недоліком імітаційного моделювання при кібернетическому підході є те, що вимірюються вихідні показники фізичної моделі, а не біологічного об'єкта, властивості яких відрізняються.

В кібернетическому системному підході основний акцент робиться на ідентифікацію і забезпечення адекватності розроблюваної моделі параметрам біологічного об'єкта. Математическа модель біологічного об'єкта з зовнішнім середовищем будується двома способами: при усвідомленні механізму теплообміну уточнення причинно-наслідкових зв'язків моделі і корекція моделі за каузальними зв'язками результатів експерименту. Механізм терморегуляції теплокровних організмів передбачає постійність внутрішньої температури об'єкта за рахунок балансу активного виробництва теплової енергії і розсіювання в зовнішнє середовище. Верхній діапазон температури +41°C обмежений смертю нервових клітин, нижній – зниженням активності ферментів, що призводить до неможливості функціонування біологічної системи. Додаток математическої моделі фізичної моделю біологічного об'єкта [2; 5] дозволяє скоректувати модель відносно умов експлуатації, конструктивних особливостей, впливу зовнішніх факторів, в результаті чого отримати вихідні кількісні показники, задовольняють показателям інформаційної системи. Очевидно, що така модель, отримана за усередненими показателями, задовольняє завдання забезпечення теплових режимів при вирощуванні великих партій птенців і молодняка тварин в штучних умовах.

В системах, де в ланці біологічної зворотної зв'язки знаходиться людина, ситуація змінюється. З'являється нова трактування цільової функції – «комфортне стан», т.е. стан системи, коли для балансу виділення в зовнішнє середовище кількості теплової енергії досягається без напруження апарату терморегуляції біологічного об'єкта [6]. При цьому відчувається температура залежить не тільки від термодинамічної температури зовнішнього середовища, але і нерівномірно-

сти теплопередачі різних ділянок біологічного об'єкта, швидкості обтікання повітряним потоком, вологості. Принциповим є те, що цільова функція отримує багатозначність, оскільки залежить не тільки від термодинамічного рівноваги з зовнішнім середовищем, але і від історії процесу, особливостей організму, психологічного настрою і т.п. Формалізувати таку цільову функцію дуже складно [7]. Разом з тим техніческа система управління реагує тільки на формалізовані рішення, що становить проблему. Для медических застосувань математическа модель, отримана за усередненими параметрами, може слугувати тільки базовою моделю, оскільки управління повинно здійснюватися для конкретного пацієнта.

Формулювання цілей статті. Ціллю роботи є розробка концепції перетворення вихідних ознак біологічного об'єкта, знаходячись в ланці зворотної зв'язки інфрачервоної системи пеллоідотерапії.

Изложение основного материала. Загальна теорія функціональних систем Анохіна зв'язує кібернетическі і метаболіческі функції організму [3]. Об'єднання всіх вузлових механізмів функціональної системи визначає корисний адаптивний результат її діяльності. Відчуваний рецепторами подразнення поступає в нервові центри і вибірково залучає в дію елементи виконавчої діяльності, направленої на відновлення потрібного для метаболізму результату. Процес обробки інформації від подразників і внутрішнього середовища призводить до прийняття рішення, яке має індивідуальну варіабельність в залежності від стану вегетативних і соматических функцій.

В відмінність від технічесеских систем, розкид вихідного вимірюваного ознакового пространства, умовленого входним подразненням, виявляється не тільки більш значущим, але і залежущим від внутрішнього стану організму. Разом з тим отримується ознакове пространство індивідуально і характеризує конкретного людина, що відрізняє його від реакції моделі при кібернетическому підході.

З теорії автоматического управління слідує, що процес управління включає три основні складові:

1. Збір інформації, достатньої для формалізації об'єкта управління.
2. Прийняття рішень для вироблення управляючого дієвства.

3. Реализация управляющего воздействия.

Особенность сбора информации о состоянии пациента состоит в том, что используемые методы не могут быть инвазивными, должны обеспечивать возможность получения информации в реальном времени, поскольку она используется для управления. Это существенно ограничивает информативность сбора данных о состоянии объекта и сводит перечень к частоте сердечных сокращений, электроэнцефалограмм, дыхания, сопротивлению кожного покрова, поверхностной температуре эпидермиса, фиксации начала и интенсивности потовыделения [8].

Реализация управляющего воздействия в виде интенсивности инфракрасного излучения осуществляется керамическими, трубчатыми или ламповыми излучателями. Общим для них является то, что интенсивность излучения связана с электрической мощностью, протекающей через эти излучатели. Учитывая существенную инерционность керамических и трубчатых излучателей, наиболее простым и эффективным способом управления интенсивностью нагрева можно признать широтно-импульсную модуляцию с симисторным коммутатором.

Принятие решения для выработки управляющего воздействия является наиболее сложной функциональной частью системы с биологической обратной связью. В общем случае достижение определенной цели управления достигается анализом альтернативных вариантов достижения наибольшей эффективности по определенному критерию. Процесс поиска наилучшего варианта решения включает этапы выбора рационального из существующих вариантов и выбора наилучшего варианта из допустимого множества. Очевидно, что для решаемой задачи невозможно получение независимых альтернатив, связанных с взаимобусловленностью функционирования всех органов человека, неопределенностью и ограниченностью выходных признаков, явно недостаточных для полного описания объекта. Решения должны приниматься в условиях неопределенной ситуации при недостаточности информации, при этом решение для управления должно приниматься в реальном масштабе времени.

Неопределенность возникает также вследствие недостатка знаний о процессах, протекающих в биологическом объекте, невозможности отслеживания причинно-следственных связей, приведших к данному результату, противоречивости выходных признаков как реакции на стандартное воздействие, неполноты и неточности

выходной информации. Решение, полученное при таких условиях, очевидным образом несет в себе риск качества управления. Выбор альтернатив должен предполагать наличие влияния внешнего стабилизирующего признака, основанного на предыдущем опыте в соответствии с теорией функциональных систем Анохина. При длительном формировании такого внешнего стабилизирующего признака для конкретного человека решение может приближаться к оптимальному, что подтверждается действиями биологических систем при взаимодействии с внешней средой [9]. Очевидно, что для рассматриваемой ситуации использования пациента в цепи обратной связи для управления интенсивностью инфракрасного облучения не выполняется как условие использования только конкретного человека, так и условие большой длительности процесса обучения. Для реальных медицинских систем пелоидотерапии процесс лечения производится в течение короткого времени (порядка 30 минут) для случайного, с точки зрения системы, пациента. Проведенный анализ и экспериментальные исследования показали, что наиболее представительными процессами и приемлемыми признаками по критериям информативности и доступности являются:

1. Повышение периферического кровотока для отведения излишков поступающего извне тепла, которое может быть косвенно представлено сопротивлением кожного покрова R_k .

2. Повышение общего кровотока для отведения излишков поступающего извне тепла, которое косвенно может быть представлено частотой сердечных сокращений V_o .

3. Температура эпидермиса кожного покрова при облучении инфракрасным полем, создающая перепад температуры с внутренним объемом тела T_k , которая может быть измерена инфракрасным пирометром.

4. Теплоотдача избыточной энергии за счет органов дыхания, выраженная через частоту дыхания V_d .

Каждый из приведенных показателей может измеряться от 10 до 60 раз в минуту, а учитывая длительность эксперимента в 15–30 минут, применимость статистических методов становится очевидной. Одной из статистических процедур является кластерный анализ – многомерная статистическая процедура, выполняющая сбор данных, содержащих информацию о выборке объектов, и затем упорядочивающая объекты в сравнительно однородные группы [10]. Он используется в случаях, когда отсутствуют априорные гипотезы

относительно классов. Учитывая относительную независимость признаков, целесообразно выбрать фасетную систему классификации, в которой каждый фасет содержит совокупность однородных значений каждого классификационного признака.

Для формализации критерия «комфортное состояние» пациента разделим зоны инфракрасного воздействия на пять уровней:

- 1) холодный – ощущается дискомфорт вследствие недостатка тепла;
- 2) умеренно теплый – начало снижения сопротивления кожного покрова;
- 3) теплый – активное сопротивление кожи и слабое потовыделение;
- 4) очень теплый – обильное потоотделение;
- 5) горячий – температурный дискомфорт, резкое повышение частоты сердечных сокращений.

Такое условное деление позволяет перейти от качественного описания целевой функции к нечеткому количественному представлению. Третий уровень, соответствующий условиям проведения медицинских процедур, становится областью существования формализованной целевой функции системы управления интенсивностью инфракрасного облучения. Трансформация обеспечивает возможность привлечения математического аппарата нечеткой логики, кластерного анализа для определения принадлежности признакового пространства заданному уровню, элементов теории принятия решений для выработки управляющих воздействий на источники инфракрасного излучения.

Известны различные способы кластеризации, однако, учитывая особенность исходной информации, для системы с биологической обратной связью предпочтителен алгоритм нечеткой кластеризации. В качестве аналитической зависимости расчета нормальной меры подобия по расстоянию можно воспользоваться взвешенной метрикой Евклида, а в качестве оценочной функции качества – коэффициент разбиения, энтропия разбиения [11]. Учитывая ограниченность

входной информации, разбиение на кластеры может приводить к некорректным результатам, соответственно и энтропия разбиения не позволяет сравнивать различные решения. Это требует доработки алгоритма нечеткой кластеризации, выделения наиболее значимого кластера, относящегося к активной фазе лечебного процесса.

Последовательность преобразования данных в инфракрасной системе пелоидотерапии с биологической обратной связью принимает вид:

- анализ информации, получаемой в качестве признакового пространства относительно реакции на тестовые энергетические воздействия;
- анализ метода нечеткой кластеризации для анализа нечетких данных и определения центров кластеров, расстояния между центрами;
- модернизация метода нечеткой кластеризации применительно к обработке выходных признаков биологических объектов;
- предложить методику формирования автоматической оценки состояния интенсивности инфракрасного излучения относительно состояния пациента;
- оценка работоспособности системы при обработке теста, корректировка алгоритма обработки;
- обработка реального объекта инфракрасной системой пелоидотерапии с биологической обратной связью;
- оценка эффективности предложенных подходов.

Выводы.

1. Обоснована концепция обработки выходных неинвазивных признаков человека, находящегося в цепи биологической обратной связи, при воздействии инфракрасного излучения различной интенсивности.

2. Представлена последовательность преобразования данных для обеспечения формирования интенсивности инфракрасного излучения, обеспечивающего комфортные условия проведения процедуры инфракрасной пелоидотерапии.

Список літератури:

1. Ланин, В.Л. Инфракрасный нагрев в технологии пайки изделий электроники. Электронная обработка материалов. № 5, 2007. С 91–96.
2. Дубровин А.В. Автоматизированная электротехнология централизованного локального и общего обогрева в птицеводстве. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. М.: 2004. 446 с.
3. Акулов, С.А. Федотов А.А. Основы теории биотехнических систем. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014. 259 с.
4. Moore, J. Biomedical technology and devices. Handbook. Edited by J. Moore. CRC Press LLC, 2004. 750 с.
5. Медведев И.Н. Физиология мышечной и нервной. Лань, 2015. 176 с.
6. Плоткин, Ф.Б. Компьютерное биоуправление: прогрессивные технологии – в практику здравоохранения. Минск: Новые технологии в медицине, 2012. С. 106–110.
7. Сороко С.И., Трубачев В.В. Нейрофизиологические и психофизиологические основы адаптивного биоуправления. СПб.: ИЭФБ РАН, 2010. 607 с.
8. Декларацийний патент № 58051А (Україна). Спосіб пелоїдотерапії та камера для його здійснення. Косоверов Є.О., Тищук М.М., Мещеряков В.І., Веселкова Т.О.
9. Анохин, П.К. Узловые вопросы теории функциональных систем. М.: Наука, 1980. 197 с.
10. Олдендерфер М.С., Блэшфилд Р.К. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. М.: Финансы и статистика, 1989. 215 с.
11. Кофман, А. Введение в теорию нечетких множеств. М.: Радио и связь, 1993. 432 с.

КОНЦЕПЦІЯ ПЕРЕТВОРЮВАННЯ ДАНИХ ІНФРАЧЕРВОНОЮ СИСТЕМОЮ З БІОЛОГІЧНИМ ЗВОРОТНИМ ЗВ'ЯЗКОМ

У статті розглянута концепція перетворення даних у системі з біологічним зворотнім зв'язком, призначеної для управління щільністю опромінювання людини інфрачервоним полем. Показано, що сформовані людиною ознаки лише побічно характеризують реакції організму на щільність потужності випромінювання, що призводить до невизначеності формування управляючих рішень. Запропоновано використовувати класифікацію простору ознак з подальшою централізацією кластерів.

Ключові слова: *інфрачервоне випромінювання, інформаційні ознаки, невизначеність, біологічний зворотній зв'язок.*

CONCEPT OF INFRARED SYSTEM WITH BIOLOGICAL FEEDBACK DATA TRANSFORMATION

The article elucidates the concept of data conversion in a system with biological feedback intended for controlling the intensity of human irradiation by an infrared field. It is shown that the characteristics performed by a person only indirectly characterize the reactions of the organism to the density of irradiation, which leads to uncertainty in the formation of managing decisions. It is proposed to use the classification of space characteristics with the subsequent centralization of clusters.

Key words: *infrared irradiation, informative signs, uncertainty, biological feedback.*

УДК 661.666.2

Жученко О.А.Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Цапар В.С.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ГРАФІТУВАННЯ ВУГЛЕЦЕВИХ ВИРОБІВ

Проаналізовані техніко-економічні показники, які можуть бути використані як критерії оптимального керування процесом графітування вуглецевих виробів, показана доцільність використання прибутку за кампанію графітування як критерій оптимальності та його використання в штатному і нештатному режимах роботи. Виявлено, що найбільш загальним показником ефективності процесу графітування є його рентабельність за нормативний час, а основним показником якості процесу графітування є ступінь графітування вуглецевих виробів. Сформульовані обмеження на технологічні змінні і на показники якості готових виробів, задачі керування.

Ключові слова: графітування, критерій оптимального керування, задача керування, рентабельність, ступінь графітування.

Постановка проблеми. У народному господарстві України виробництво вуглецевих виробів відіграє важливу роль, оскільки продукція даного виробництва широко використовується в різних визначальних для країни галузях промисловості, технологічні процеси яких нерозривно пов'язані з необхідністю використання електротермічних процесів. Зокрема, до таких виробництв відносяться підприємства чорної та кольорової металургії, машинобудування, хімічної промисловості та інші [1].

Виробництво вуглецевих виробів є у значній мірі ресурсо- та енергозатратним [2–4]. Саме тому задача підвищення ефективності даного виробництва є актуальною науково-технічною задачею особливо в сучасних умовах постійного зростання вартості енергоносіїв.

Виклад основного матеріалу. Одним із визначальних технологічних процесів виробництва вуглецевої продукції є процес графітування. На його долю припадає до 80% загальних енерговитрат виробництва, що становить 8...10 МВт-годин на 1 тону продукції [5]. Перевитрати енергоресурсів пояснюються тим, що фактично неможливо контролювати перебіг даного процесу в реальному часі у зв'язку з високим температурним режимом його ведення, що не дозволяє використовувати промис-

лові вимірювальні прилади. Тому, по-перше, для гарантованого забезпечення нормативної якості готової продукції кампанія графітування, як правило, триває довше, ніж потрібно. По-друге, сам процес графітування практично ведеться вручну, без зворотного зв'язку, що не забезпечує його оптимальність із точки зору як економічних показників, так і показників якості готової продукції. І, нарешті, зовсім складна ситуація виникає в разі відключення енергопостачання, що в промислових умовах протягом однієї кампанії графітування трапляється досить часто, а іноді навіть неодноразово.

Названі вище обставини свідчать про те, що задача підвищення ефективності процесу графітування вуглецевих виробів може бути ефективно розв'язана тільки шляхом створення сучасної системи оптимального керування ним на основі аналізу поточного стану технологічного процесу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Непродуктивні витрати теплоти в процесі графітування вуглецевих виробів тим менші, чим швидше відбувається розігрів керна печі (більша частка енергії витрачається на нагрівання виробів) [2]. Усі відомі способи керування піччю графітування в тій чи іншій формі реалізують ідею прискореного підведення потужності (а, отже, і

розігріву керн печі) при гарантованому забезпеченні цілісності виробів.

Існуючі промислові системи керування процесом графітування в печах Ачесона здебільшого належать до категорії людино-машинних (автоматизованих) і найчастіше реалізують метод керування за електротехнічними параметрами [5]. Даний спосіб оснований на припущенні, що температура керн знаходиться в прямій залежності від кількості енергії, підведеної до печі [2].

Керування процесом здійснюють за заздалегідь розробленим регламентом, що включає початкову потужність печі, графік погодинного нарощування потужності та питомі витрати енергії для визначення моменту припинення кампанії графітування. Додатково практикують вимірювання температури периферії керн для уточнення моменту припинення кампанії графітування.

Регламент графітування вуглецевої продукції кожного типу розробляють експериментально на основі тривалої практики або розраховують приблизно за допомогою математичної моделі температурного поля для кожної окремої конструкції печі графітування. При цьому береться до уваги той факт, що скорочення тривалості кампанії означає зменшення тепловтрат та підвищення ефективності процесу графітування, але пришвидшення розігріву керн збільшує нерівномірність температурного поля в об'ємі заготовок, що збільшує термонапруження [6].

Швидкість розігріву обмежують так, щоб за відсутності достовірної інформації про температурний стан керн унеможливити руйнування виробів (внаслідок термонапружень) у випадках будь-яких збурювальних впливів. Тому спосіб часто призводить до значних перевитратам електроенергії, а під час змушених простоїв відсутні надійні рекомендації щодо продовження процесу.

Керування процесом графітування шляхом зміни напруги печі в залежності від кількості підведеної енергії можна доповнювати зміною режиму охолодження футеровки – керування за температурою футеровки. Для цього необхідно організувати визначення температури футеровки впродовж кампанії [7].

У праці [8] запропоновано швидко нагрівати керн до досягнення температури в області футеровки 800...1000°C (що відповідає межі термостійкості матеріалу футеровки), а потім примусовим охолодженням запобігати розігріву футеровки до небезпечних температур. При цьому заготовки розігріваються до більш високих температур (на межі керн з теплоізоляцією температура може

сягати 2800...3000°C), що сприяє підвищенню якості кінцевої продукції. Використання додаткового керування, на думку автора, дозволить скоротити тривалість кампанії та час охолодження печі, а також істотно зменшити витрати теплоізоляційної шихти.

Цей спосіб не має широкого вжитку, оскільки на великовантажних печах максимум теплового навантаження на футеровку печі графітування припадає на час після припинення підведення потужності [9]. Крім того, в таких печах повітряне охолодження практично не впливає на розподіл енергії в керні, а інтенсивність охолодження футеровки, при під'єднанні системи охолодження до витяжної магістралі, збільшується тільки на 1,45%. Головним недоліком способу є висока ймовірність руйнування заготовок внаслідок термонапружень, що виникають при швидкому неконтрольованому розігріві керн.

У промисловій практиці охолодження вмикають на початку кампанії графітування і вимикають після охолодження печі.

Більш точний метод ведення процесу графітування та його припинення засновано на безпосередньому вимірюванні температури керн печі (керування за досягнутою температурою керн).

Розподіл на температурні зони запропонований у [10], де перша зона, яка знаходиться в області температур до 1000...1200°C, дозволяє швидко підведення потужності без ризику утворення дефектів в заготовках. У другій зоні, що відповідає діапазону температур 1000...1700°C, відбуваються значні зміни лінійних розмірів заготовок і швидкість треба істотно обмежити (до 22...25°C/год.). У третій зоні, коли температури перевищують 1700°C, через значне збільшення теплопровідності виробів, утворення критичних термонапружень мало ймовірно і швидкість нагрівання можна знову підвищити.

Даний спосіб в промислових умовах не застосовується, оскільки визначення температури вище 1500°C є серйозною технічною проблемою. Крім того, значна нерівномірність розподілу температурного поля в заготовках не дозволяє однозначно виділяти температурні зони, а використання усереднених температурних показників робить спосіб неефективним.

Автори [11] експериментально визначили градієнти температур, при яких виникає термічне напруження, що перевищує границі міцності матеріалу заготовок діаметром 200 мм. Визначено, що найбільш сприятливою для утворення тріщин є температурна зона 800...1500°C. Для цієї

зони запропоновано підтримувати безпечно значення градієнту температур шляхом періодичного переривання підведення потужності (приблизно на 30 хв.).

Для розробки раціонального регламенту підведення потужності запропоновано [12] як критерій, що визначає швидкість підведення енергії, використовувати відносний градієнт температур по радіусу заготовки. При цьому припустимий перепад температури, як функцію температури, визначено шляхом моделювання експериментальної кампанії графітування електродних заготовок того ж діаметру.

Реалізація даного способу потребує використання адекватної моделі температурного поля печі графітування, що здатна працювати в реальному часі. При цьому критичні значення температурних градієнтів визначаються експериментально для кожного типу продукції. Тому способи використовують тільки для корекції існуючих або розробки перспективних регламентів графітування.

Автори [12] вважають, що крива активного опору пічного контуру повністю відображає основні процес у печі і її стала ділянка відповідає досягненню максимальних температур в керні, що дає змогу визначати час припинення підведення потужності до печі. На підставі цього [13] запропоновано спосіб керування процесом графітування та визначення моменту закінчення кампанії за характером зміни та досягнутим кінцевим значенням омичного опору печі. Крім визначення моменту припинення кампанії графітування, тут пропонується визначати середню температуру керна як величину, обернено пропорційну омичному опору. Спосіб використовується в області високих температур (вище 1100°C), де опір печі, на думку авторів, змінюється за логарифмічним законом.

Ці способи прості в застосуванні, але мають надзвичайно низьку точність, оскільки крива опору печі переважно характеризує процеси в пересипці (опір об'єму пересипки значно переважає опір вуглецевих заготовок). Крім того, використання узагальнених показників знижує якість керування і потенційно здатне призвести як до перевитрат електроенергії, так і до руйнування виробів.

У праці [5] запропонований алгоритм керування процесом графітування та закінчення кампанії за величиною ступеня графітування в характерній точці простору печі. Дана величина розраховується за математичною моделлю, яка

являє собою систему диференціальних рівнянь у частинних похідних. Розв'язок такої математичної моделі потребує значного часу навіть для сучасних обчислювальних засобів. Ця обставина суттєво обмежує застосування даного методу в системах керування реальним часом. Крім того, визначення розташування характерної точки є суб'єктивним, що може позначитися на кінцевих результатах графітування.

Дослідження [7–13] присвячені побудові, розрахунку та оптимізації систем електроживлення печей Ачесона з урахуванням особливостей і взаємозв'язків процесів електромагнітного та електротеплового перетворення електричної енергії. У даних дослідженнях не розглядається безпосередньо графітування як технологічний процес, призначений для виробництва вуглецевої виробів, не приділяється увага питанням якості готової продукції.

Постановка завдання. Вагомим недоліком згаданих вище систем керування процесом графітування вуглецевих виробів є та обставина, що вони не забезпечують оптимальних техніко-економічних показників даної технологічної стадії виробництва, що, як правило, призводить до зниження ефективності її функціонування.

Загальна задача оптимізації виробництва вуглецевих виробів сформульована у праці [14]. Задача керування процесом графітування вуглецевих виробів повинна формулюватись у відповідності до поставленої загальної задачі. Постанова задачі керування процесом графітування повинна включати формулювання критерія оптимального керування та обмежень на технологічні параметри процесу та показники його якості.

Таким чином, метою даної статті є формулювання постановки задачі керування процесом графітування вуглецевих виробів.

Аналіз техніко-економічних показників як критеріїв оптимального керування процесом графітування

Розглянемо та проаналізуємо техніко-економічні показники, які можуть бути використані як критерії оптимального керування процесом графітування вуглецевих виробів.

Найбільш загальним показником ефективності процесу графітування є його *рентабельність* за нормативний час (тиждень, місяць, рік, кампанію графітування).

$$R_B = \frac{Q_B}{C_B}, \quad (1)$$

де Q_B – прибуток від реалізації продукції, C_B – собівартість готової продукції.

Прибуток від реалізації продукції розраховується таким чином:

$$Q_B = \sum_{i=1}^N a_i F_i - \sum_{i=1}^N b_i F_i - Q_E, \quad (2)$$

де a_i, F_i – ціна одиниці та кількість одиниць i -го виду готової продукції відповідно;

δ_i – собівартість одиниці i -го виду заготовок, що підлягають графітуванню;

N – кількість видів продукції, що графітується;

Q_E – експлуатаційні витрати на виробництво.

Собівартість продукції складається із вартості експлуатаційних витрат і собівартості заготовок

$$C_B = Q_E + \sum_{i=1}^N b_i F_i. \quad (3)$$

Враховуючи, що собівартість заготовок формується на попередніх стадіях виробництва і не залежить від режимів роботи печі графітування, а також із метою підвищення чутливості критерію (1) до технологічних змінних, реалізація яких на об'єкті керування забезпечить функціонування останнього в оптимальному технологічному режимі, доцільно замість собівартості продукції C_B використовувати експлуатаційні витрати Q_E [14]. У цьому випадку *модифікований показник рентабельності* буде мати вигляд:

$$R = \frac{Q_B}{Q_E}$$

Прибуток від реалізації продукції та собівартість готової продукції можуть слугувати самостійними критеріями оптимального керування.

Прибуток від реалізації продукції згідно формули (2) містить у собі вартість експлуатаційних витрат, заготовок, що підлягають графітуванню, та готової продукції.

Характерною особливістю *собівартості готової продукції* (3) як критерію оптимального керування є штучне зменшення складової частини, що визначається експлуатаційними показниками, тобто безпосередньо технологічними режимами виробництва. Це відбувається тоді, коли сировина стала або її зміна не пов'язана із зміною експлуатаційних показників і технологічних режимів виробництва. До недоліків використання даного показника можна віднести те, що він не враховує зміну продуктивності процесу, а отже, мінімізація цього критерію може призвести до зменшення продуктивності.

Продуктивність процесу графітування може вимірюватись кількісно (в штуках виробленої продукції):

$$F_{\text{заг}} = \sum_{i=1}^N F_i,$$

або масово (кг, тон):

$$F = \frac{\sum_{i=1}^N \beta_i F_i}{F_{\text{заг}}},$$

де q_i – вага i -го виду продукції, кг.

Під час вибору одиниці вимірювання продуктивності процесу графітування очевидно, що більш об'єктивним є оцінювання продуктивності кількісним методом (штук), але тоді треба говорити про продуктивність по кожному окремому виду продукції, що ускладнює загальне оцінювання ефективності процесу графітування, або оцінювати продуктивність як середню (арифметичну, зважену тощо) величину серед усіх видів продукції.

У цій ситуації треба зазначити, що певні переваги має оцінювання продуктивності як середньої зваженої величини

$$F = \frac{\sum_{i=1}^N \beta_i F_i}{F_{\text{заг}}},$$

тому що при цьому з'являється можливість опосередковано враховувати економічну доцільність виробництва того чи іншого виду продукції. Стартові оцінки вагових коефіцієнтів β_i можуть

бути розраховані за формулою $\beta_i = \frac{a_i}{q_i}$. Коригування цих коефіцієнтів може відбуватися в залежності від попиту на той чи інший вид продукції.

Недоліком використання даного критерію є те, що він не враховує затрати на виробництво, а отже збільшення продуктивності може призвести до невиправданого збільшення енерго- та ресурсовитрат.

Питома собівартість експлуатаційних витрат $P_{\text{пр}}$ визначається як

$$P_{\text{пр}} = Q_E / G_{\text{пр}}, \quad (4)$$

$G_{\text{пр}}$ – дійсна продуктивність або у вигляді $G_{\text{заг}}$ у разі оцінювання продуктивності в одиницях ваги, або $F_{\text{заг}}$ (F) при кількісному оцінюванні.

Основним показником якості процесу графітування є *ступінь графітування* вуглецевих виробів. Цей показник на сьогодні фактично визначає тривалість процесу графітування, а, значить, у значній мірі енергетичні витрати на нього. Процес ведеться до досягнення заданого ступеня графітування виробів. Використання цього показника як критерія оптимальності процесу графітування не враховує ні ресурс-, ні енерговитрати на ведення даного процесу, тому він не в повній мірі може характеризувати технологічний процес. Ступінь графітування доцільно використовувати як обмеження в процесі пошуку оптимального режиму роботи.

Постановка задачі керування. На підставі проведеного вище аналізу техніко-економічних показників, які можуть бути використані як критерії оптимального керування процесом графітування вуглецевих виробів, а також враховуючи, що процес графітування є фінальним технологічним процесом у даному виробництві, у відповідності до загального критерію оптимізації виробничих процесів [14] можна зробити висновок, що ефективність ведення даного процесу найбільш доцільно оцінювати за критерієм прибутку за кампанію графітування (2).

Зважаючи на те, що процес графітування ведеться фактично «всліпу», бо на сьогодні не існує автоматичних технічних засобів вимірювання температур, при яких відбувається безпосередньо процес графітування, синтез оптимального керування даним процесом повинен здійснюватися для двох режимів роботи – штатного і нештатного. Під нештатним режимом роботи треба розуміти режим, коли відбувається аварійне відключення електроживлення. У промислових умовах така ситуація, на жаль, має місце практично на протязі кожної кампанії графітування [5].

Короткочасні зупинки печі (до 20 хв.) практично не спричиняють істотних змін у динаміці технологічного процесу і не потребують додаткових заходів коригування [5]. При цьому пуск печі після тривалої зупинки (більше 1 год.) з електричною напругою, визначеною у відповідності до штатного режиму, потенційно здатен викликати небезпечні термічні напруження у виробі.

Результатом синтезу оптимального керування процесом графітування у штатному режимі роботи є програма підведення потужності в часі та загальна тривалість процесу.

Для певного завантаження печі перший та другий доданки критерію оптимальності (2) є відомими сталими величинами. Третій доданок (експлуатаційні витрати) визначається таким чином:

$$Q_E = \int_0^T P(\tau) d\tau = \int_0^T I(\tau)U(\tau) d\tau, \quad (10),$$

де T – тривалість процесу графітування; $P(\tau)$, $I(\tau)$, $U(\tau)$ – відповідно, потужність, напруга та сила електричного струму в залежності від поточного часу τ .

У формулі (10) відсутні такі складові частини експлуатаційних витрат як витрати на охолодження печі, витрати на завантаження та розвантаження, у зв'язку з тим, що вони незрівнянно менші за витрати електроенергії безпосередньо на графітування, які входять у формулу (10).

Отже, для штатного режиму роботи задача оптимального керування процесом графітування може бути сформульована у вигляді

$$Q_E \rightarrow \min$$

при обмеженнях

$$U(\tau) \leq U_{\max},$$

$$I(\tau) \leq I_{\max},$$

$$\max \{ \sigma(x, y, z, \tau) \} \leq \sigma_{\max},$$

$$\min \{ \beta(x, y, z, \tau) \} \geq \beta_{\min},$$

де x, y, z , – просторові координати печі графітування; U_{\max}, I_{\max} – відповідно, максимально допустимі напруга та сила електричного струму; σ_{\max} – максимально допустиме термічне напруження матеріалу виробів; β_{\min} – задане значення ступеня графітування виробів. У такій постановці дана задача розв'язується у [5].

Складнішою є задача, коли одночасно завантажуються декілька печей графітування з різними геометричними та енергетичними характеристиками. Тоді критерій оптимальності виглядає таким чином:

$$Q_{\text{заг}} = \sum_{j=1}^M Q_B^j,$$

де Q_B^j – прибуток від проведення кампанії графітування у j -й печі; M – кількість печей, що завантажуються.

У нештатному режимі роботи може виникнути ситуація, коли з точки зору економічної доцільності вигідніше частину продукції пустити в брак з подальшою переробкою, ніж прагнути отримати всю продукцію потрібної якості. Останні намагання можуть призвести до перевитрат енергоресурсів, а значить, до зниження прибутку процесу графітування.

У цій ситуації критерій оптимальності (2) трансформується в такий:

$$Q_B^{\text{мод}} = \sum_{i=1}^N a_i (F_i - F_i^{\text{брак}}) - \sum_{i=1}^N b_i F_i + Q_E + \sum_{i=1}^N d_i F_i^{\text{брак}}, \quad (11)$$

де $F_i^{\text{брак}}$ – кількість бракованої продукції i -го типу.

При цьому експлуатаційні витрати повинні бути представлені у вигляді

$$Q_E = Q_E^I + Q_E^{II},$$

де $Q_E^I = \int_0^{T_1} P(\tau) d\tau$ – експлуатаційні витрати до аварії;

$Q_E^{II} = \int_0^{T_2} P(\tau) d\tau$ – експлуатаційні витрати після аварії;

T_1, T_2 – тривалість кампанії графітування до та після аварії;

d_1 – зменшення собівартості заготовок за рахунок переробки браку.

З урахуванням вибраного критерію (2) дана задача може бути розширена. Для досягнення

більшої ефективності процесу графітування до керувальних змінних $P(\tau)$ та T доцільно додати F_i , $i=1,2,\dots,N$, тобто розглядати графітування тих чи інших вуглецевих виробів із точки зору прибутку від реалізації технологічного процесу. При цьому можуть бути введені обмеження, які враховують потребу у виробництві певної кількості окремих виробів. Тоді кількість i -го виробу записується у вигляді $F_i = F_i^{zad} + F_i^{omm}$, $i = 1, 2, \dots, N$,

де F_i^{zad} – потрібна кількість продукції i -го типу; F_i^{omm} – кількість продукції i -го типу, яка підлягає оптимізації.

Якщо розглядати нештатний режим, то, безумовно, результати розрахунків за критерієм (11) будуть залежати від того, які саме заготовки плануються у брак. Виходячи з того, що температурний режим печі графітування відрізняється суттєвою неоднорідністю, то до бракованої продукції при розрахунках перш за все треба віднести заготовки, які знаходяться в зоні найнижчих температур.

Висновки. У статті проаналізовані техніко-економічні показники, які можуть бути використані як критерії оптимального керування процесом графітування вуглецевих виробів. На основі проведеного аналізу показана доцільність використання прибутку за кампанію графітування як критерій оптимальності.

Сформульовані обмеження як на технологічні змінні, так і на показники якості готових виробів.

Розглянуто застосування вибраного критерія оптимальності в умовах штатного та нештатного режимів роботи.

Сформульовані в статті задачі керування характеризуються значною складністю, обумовленою фактичною відсутністю автоматичних пристроїв для вимірювання параметрів процесу безпосередньо під час графітування. Це робить неможливим побудову системи керування процесом графітування вуглецевих виробів за класичною схемою із зворотним зв'язком.

Єдиною альтернативою в цій ситуації є використання математичної моделі об'єкту в системі керування процесом. Враховуючи, що під графітування характеризується значною температурною неоднорідністю, математично вона має описуватись моделями з розподіленими параметрами значної складності. Розрахунок таких моделей навіть засобами сучасної обчислювальної техніки потребує такого часу, який є недопустимим для систем керування реального часу.

Звідси випливають завдання для подальших досліджень: розроблення математичної моделі процесу графітування вуглецевих виробів та її спрощення з метою застосування в системах керування реального часу.

Список літератури:

1. Санников А.К., Сомов А.Б., Ключников В.В. Производство электродной продукции. М.: Металлургия, 1985. 129 с.
2. Rand B., Appleyard S.P., M. Yardim F. Design and Control of Structure of Advanced Carbon Materials for Enhanced Performance. Springer Science & Business Media, 2012. 347 p.
3. Savage G. Carbon-carbon composites, Chapman and Hall, 1993. 401 p.
4. Inagaki M., Meyer R.A. Chemistry and Physics of Carbon, Vol. 31 ed. New York, 1999, 149 p.
5. Коржик М.В. Математичне моделювання та автоматизоване керування процесом графітації в печач Ачесона: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.07. Київ, 2010. 230 с.
6. Чичулин Н.И. О режимах графитации электродных изделий: сб. научн. тр. Совершенствование технологии и улучшение качества электродной продукции. Вып. 5. 1973. С. 114–121.
7. Самохин И.Н., Розенман И.М., Сасс-Тисовский В.Б. Опыт эксплуатации печей с принудительным охлаждением стен и подины при повышенной плотности тока в керне для производства конструкционного графита: сб. научн. тр. Вопросы графитации углеродистых материалов. 1968. С. 70–78.
8. Gupta G. S. Vasanth Kumar P. Rudolph V.R. Gupta, M. Heat-transfer model for the acheson process. Metallurgical and Materials Transactions A. 2001.
9. Знамеровский В.Ю., Бусов А.Н., Полухина М.В. Разработка математической модели печи графитации на стадии охлаждения. Совершенствование технологии электродного производства: Сб. научн. тр. Москва, 1988. С. 71–77.
10. Соседов В.П., Сасс В.Б. Тисовский А.С., О рациональном графике подъема мощности и температуры апроцессе графитации. Цветные металлы. № 2. 1967. С. 62–63.
11. Чичулин Н.И., Соседов В.П., Чалых Е.Ф., Давыдович Б.И. Исследование режимов нагревания электродных заготовок при графитации. Совершенствование технологии и улучшение качества электродной продукции : Сб. научн. тр. Вып. 6. Челябинск. 1974. С. 128–134.
12. Знамеровский В.Ю., Яшкина В.В. Исследование режимов ввода энергии в печи графитации. Промышленная энергетика. № 11. 1985. С. 40–42.

13. Erwin D.L. Industrial Chemical Process Design. New York. 2002. 579 p.

14. Жученко О.А. Statement of the optimization problem of carbon products production. Міжнародний науково-виробничий журнал «Автоматизація технологічних і бізнес-процесів» Vol. 8, issue 2. 2016. С. 39.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ГРАФИТАЦИИ УГЛЕРОДНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Проанализированы технико-экономические показатели, которые могут быть использованы как критерии оптимального управления процессом графитации углеродных изделий. Представлена целесообразность использования прибыли за кампанию графитации как критерия оптимальности и его использование в штатном и нештатном режимах работы. Выявлено, что наиболее общим показателем эффективности процесса графитации является его рентабельность за нормативное время, а основным показателем качества процесса графитации является степень графитирования углеродных изделий. Сформулированы ограничения на технологические переменные и на показатели качества готовых изделий, задачи управления.

Ключевые слова: графитация, критерий оптимального управления, задача управления, рентабельность, степень графитизации.

STATEMENT PROBLEM OF OPTIMAL CONTROL OF THE PROCESS OF GRAPHITING OF CARBONE PRODUCTS

The analyzed technical and economic indicators that can be used as criteria for optimal control of the process of graphite carbon products, shows the expediency of using profits for the graphing campaign as a criterion of optimality and its use in full-time and non-regular modes of operation. It is revealed that the most general indicator of the efficiency of the graphing process is its profitability over the normative time, and the main indicator of the quality of the graphite process is the degree of graphite carbon products. Formulated restrictions on technological variables and on indicators of quality of finished products, control tasks.

Key words: graphitization, optimal control criterion, task of management, profitability, degree of graphitization.

Калініченко Ю.В.

ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка»

АДАПТИВНИЙ МЕТОД РОЗПІЗНАВАННЯ ДИНАМІЧНОГО АЛФАВІТНО-ЦИФРОВОГО РЯДУ

У статті проведено аналіз актуальності та методів розпізнавання динамічних алфавітно-цифрових рядів. Запропонована модифікація методу умовних випадкових полів з прихованими станами. Вона дозволяє підвищити дискримінативні можливості даної моделі. Проведено дослідження моделі на алгоритмічному рівні. Встановлено, що дана модифікація може бути алгоритмічно реалізована і має сублінійну тимчасову складність.

Ключові слова: динамічний алфавітно-цифровий ряд, розпізнавання образів, метод умовних випадкових полів із прихованими станами, генеративна імовірнісна модель, дискримінативна імовірнісна модель.

Постановка проблеми. В останні роки в сучасному суспільстві у зв'язку з інтенсивним розвитком віртуальних технологій, а також з дослідженнями в галузі природничих людино-машинних інтерфейсів, зріс інтерес розробників і дослідників до обробки інформації динамічних алфавітно-цифрових рядів.

Процес розпізнавання динамічного алфавітно-цифрового ряду є частиною вирішення прикладних задач, таких як розпізнавання та оцифрування текстів вивісок, оголошень, розпізнавання автомобільних номерів, читання показань лічильників обліку комунальних послуг, визначення номерів будинків та назв вулиць, провулків, кварталів тощо для створення карт (Google Street View).

В якості генератора алфавітно-цифрового ряду може виступати той чи інший машинний інтерфейс, що змінює оптичну конфігурацію в просторі. Динамічний алфавітно-цифровий ряд – послідовність букв алфавіту, цифр або символів, що змінюють один одного у часі конфігурації.

Динаміка володіє більшою інформаційною ємністю, тому задача розпізнавання динамічних даних не вирішена в повному обсязі і є перспективною та актуальною науково-технічною задачею. Інтерфейси, що засновані на представленні динамічних даних, володіють більшою інтерактивністю та швидкістю отримання інформації від користувача. Тому виникає певна специфіка для користування даними сучасними інтерфейсами загального призначення на основі динамічних алфавітно-цифрових рядів для систем віртуальної

реальності. Це визначає ряд вимог до методів розпізнавання даних та отримання інформації:

- 1) робота в режимі реального часу,
- 2) можливість створення спеціальних баз запису даних,
- 3) здатність реєстрації зміни конфігурації генератора алфавітно-цифрових рядів з заданою частотою,
- 4) збереження високої точності розпізнавання тощо.

Постановка завдання. Існуючі методи володіють тими чи іншими функціональними обмеженнями, у зв'язку із цим дана галузь потребує дослідження та розробки нових методів розпізнавання.

Метою даного дослідження є розробка адаптивного методу розпізнавання динамічних алфавітно-цифрових рядів, здатного відповідати поставленим вимогам.

У завдання дослідження входить аналіз існуючих методів, вибір найбільш відповідного прототипу, його модифікація на теоретичному рівні та алгоритмічне дослідження.

Виклад основного матеріалу дослідження. На сучасному етапі можна виділити генеративні і дискримінативні імовірнісні моделі, з точки зору точності розпізнавання та можливості роботи в режимі реального часу.

Генеративні моделі мають широке застосування як у розпізнаванні динамічних даних, так і в інших галузях, таких як автоматичне розпізнавання мови чи аналіз природних мов. Серед генеративних моделей розпізнавання виділяють метод

прихованих марковських моделей, як найбільш популярний. Однак дані моделі володіють таким недоліком, що полягає в припущенні про те, що спостереження незалежні між собою. Під час розпізнавання динамічних алфавітно-цифрових даних це припущення не можна вважати коректним [1].

У дискримінативних моделях цей недолік відсутній. Дані моделі враховують контекст здійснення динаміки. Крім цього, вони володіють перевагою, що дозволяє забезпечити більш високу точність, ніж генеративні моделі, при меншому обсязі навчальної вибірки, що є актуальним для створення баз даних [1]. Серед дискримінативних моделей виділяють метод умовних випадкових полів та його модифікації. Це є найбільш перспективним методом розпізнавання динамічних даних.

Однак у роботі з великими базами даних має місце втрата точності розпізнавання [1]. Даний недолік можна усунути шляхом додавання нелінійної функції сигмоїдальної активації.

Алгоритмічне дослідження модифікованої моделі. Послідовність $X = \{x_1, \dots, x_T\}$ довжини T впорядкована в часі та виступає в якості вхідних значень. Її довжина залежить від вихідних даних та може сильно варіюватися. Кожен елемент послідовності представляє собою характеристичний вектор $x_t \in M^D$ розмірності D , який описує одномоментну конфігурацію генерацію алфавітно-цифрового ряду.

Кожна послідовність алфавітно-цифрового ряду відображається в мітку класу $y \in Y$, де Y – множина визначених раніше значень цього ряду.

Для розпізнавання потрібно зіставити послідовність, за якою ведеться спостереження, з міткою, відповідного класу. Згідно з визначенням умовних випадкових полів із прихованими станами [1; 2] умовна ймовірність події визначається як:

$$p(y|X;W) = \frac{1}{Z(X;W)} \sum_h e^{F(y,h,X;W)}$$

W – вектор параметрів моделі $h \in H$, де H являє собою множину прихованих станів, $Z(X;W)$ – коефіцієнт нормалізації, а $F(y,h,X;W)$ – функція ознак.

Коефіцієнт нормалізації розраховується наступним чином:

$$Z(x;W) = \sum_y \sum_h e^{F(y,h,x;W)}$$

У свою чергу, функція ознак має вигляд:

$$F(y,h,X;W) = \sum_t f^1(h,x,t;w) + \sum_t f^2(y,h,t;w) + \sum_t f^3(y,h,t,t+1;w)$$

Якщо I – індикаторна функція, така, що $I(x) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } x - \text{істина} \\ 0, & \text{якщо } x - \text{хибність} \end{cases}$, тоді другий та третій вираз у функції ознак можемо записати таким чином:

$$f^2(h,x,t;w) = w_{y,h} I(y=y') I(h_t=h')$$

$$f^3(h,x,t;w) = w_{y,h} I(y=y') I(h_t=h'),$$

де $y' \in Y$, $h', h'' \in H$, а $w_{y,h}$, $w_{y,h,h}$ – відповідні ваги.

Для того, щоб виділити в просторі ознак складної форми, необхідно ввести безліч функцій активації G та функцію $\psi_g(x,t;W)$ для визначення f^1 як

$$\psi_g(x,t;W) = \frac{1}{|r(x_t)|} \sum_{x' \in r(x_t)} g(\sum_d w_{g,d} x'_d)$$

Сигмоїдальна функція активації

$g(x) = \frac{1}{(1 + \exp(-x))}$ виступає в якості функції

активації. У свою чергу, отримуємо:

$$f^1(h,x,t;w) = \sum_{g \in G} w_{g,h} I(h_t=h') \psi_g(x,t;W)$$

Таким чином, функції активації створюють додатковий проміжок між прихованими змінними і даними, за якими ведеться спостереження, тим самим абстрагують необхідні дані.

Перевага даної модифікації помітна під час порівняння зі звичайним визначенням функції:

$$f^1(h,x,t;w) = \frac{1}{|r(x_t)|} \sum_{x'} \sum_{g \in G} w_{h,d} I(h_t=h') x'_d$$

Виходячи з визначення, етап навчання відсутній та замість нього використовується лінійна комбінація ознак x'_d та ваг $w_{h,d}$. Використання нелінійності в моделі дозволяє підвищити дискримінаційні здібності і тим самим збільшити точність розпізнавання складних просторово-часових закономірностей, таких як динамічні алфавітно-цифрові ряди [3].

Представимо параметричний вектор у моделі, як $W = \{w_{g,h}, w_{g,d}, w_{y,h}, w_{y,h,h}\}$. Розмірність цього вектора складає $GH+GD+YH+YHH$, де G – кількість функцій активації, H – число прихованих станів, D – розмірність ознак та Y – число міток класів. Під час використання алгоритму розповсюдження довіри для послідовності X довжиною T обчислювальна складність складатиме $O(TYH^2)$.

Кількість проміжків може бути неоднаковою, в залежності від конфігурації моделі, тому для зручності та подальшого позначення введемо індекс для їх опису $X^1 = \{x^1_1, \dots, x^1_T\}$ та оператор $r(x^1)$, що створює посилання, яке повертає групу спостережень попереднього проміжку. Для $I = 1$ $r(x^1) = x_t$.

Для узагальнення послідовності X^1 на наступний проміжок X^{1+1} , використовується алгоритм, описаний в роботі [4] з модифікованою метрикою подібності (рис. 1).

Таким чином, $G=(V,E,W)$ – неорієнтований граф з множиною вершин V , ребер E і ваг W , які визначають схожість між двома вершинами.

Алгоритми об'єднує $r(x^{j+1}_s)$ та $r(x^{j+1}_t)$, якщо подібність між групами менше, ніж мінімальне внутрішнє відмінність, яка визначена наступним чином:

$$M \text{ Int}(C_s, C_t) = \max(\text{Int}(C_s) + \tau(C_s), \text{Int}(C_t) + \tau(C_t)).$$

У цій формулі Int – внутрішня відмінність, що визначається за формулою: $\text{Int}(C) = \max_{(s,t) \in \text{mst}(C,E)} M_{s,t}$, де mst – мінімальне остовне дерево, а – порогова функція.

У свою чергу, метрику подібності, під час розв'язання даної задачі, вираховуємо наступним чином:

$$M_{s,t} = \sum_{y,h} |p(h_s = h^t | y, X; W) - p(h_t = h^s | y, X; W)|.$$

Згідно з [4] обчислювальна складність алгоритму становить $O(T \log T)$, де T – довжина послідовності.

Умовна ймовірність, з урахуванням змінного числа проміжків, може бути визначена як $\prod_{l=1}^L p(y | X^l; W^l)$.

Оскільки W^l – вектор параметрів для поточного проміжку, то вектор параметрів для всієї моделі $W = \{W^1, \dots, W^L\}$.

Представимо навчальну вибірку $D = (X_i, y_i)$, $X_i \in M^{D \times T}$, $y_i \in Y$, $i = 1 \dots N$. Типовий підхід до пошуку оптимального рішення W^* полягає в мінімізації функції втрат:

$$\min_W L(W) = \frac{1}{2\sigma^2} \|W\| - \sum_{i=1}^N \log p(y_i | X_i; W).$$

Для даної моделі такий підхід не може бути застосований, тому що для отримання узагаль-

```

INPUT: Граф G
OUTPUT: C = {c1, ..., ck}
C = V, ct = c(xtI+1) = {xtI}, ∀ t
O = SORT (E, W)
FOR q=1 TO |O|:
    s, t = Oq
    IF cs ≠ ct && Ms,t ≤ MInt (Cs, Ct):
        C = JOIN (Cs, Ct)
    
```

Рис. 1. Узагальнення послідовності шляхом використання алгоритму угруповання

нення послідовності на наступному проміжку X^{1+1} потрібно знати $p(h^1 | y, X^1; W^1)$.

Відповідним підходом буде послідовна оптимізація для кожного окремого проміжку I [5]:

$$\min_W L(W) = \frac{1}{2\sigma^2} \|W\| - \sum_{i=1}^N \log p(y_i | X_i; W).$$

Дана задача також може бути вирішена за допомогою квазіньютонівських методів, зокрема L-BFGS [6].

Таким чином, наступні методи були успішно застосовані для вирішення аналогічного класу задач [1].

Частинні похідні за параметром W^1 для навчальної вибірки D вираховуються як:

$$\frac{\partial \log p(y_i | X_i^l; W^l)}{\partial W^l} = \sum_{h^l} p(h^1 | y_i, X_i^l; W^l) \frac{\partial F}{\partial W^l} - \sum_{y', h'} p(y' | h^l, X_i^l; W^l) \frac{\partial F}{\partial W^l}.$$

Запис частинних похідних $\frac{\partial F}{\partial W^l}$ відносно $w_{y,h}$ та $w_{y,h,h}$ аналогічний тому, що представлений у роботі [1]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial f^2}{\partial w^l_{y,h}} &= \sum_t I(y = y') I(h_t^l = h'), \\ \frac{\partial f^3}{\partial w^l_{y,h,h}} &= \sum_t I(y = y') I(h_t^l = h') I(h_{t'}^l = h''), \\ \frac{\partial f^1}{\partial w^l_{g,h}} &= \sum_t I(h_t^l = h) \psi_g(X^l, t; W^l), \\ \frac{\partial f^1}{\partial w^l_{g,d}} &= \sum_t w^l_{g,d} \frac{1}{|r(X_t^l)|} \sum_x g(\partial w^l_{g,d} x') (1 - g(\partial w^l_{g,d} X')). \end{aligned}$$

Рисунки 2 та 3 демонструють процедуру навчання та перевірки моделі. Під час навчання для кожного проміжку I вираховується W^{*I} та створюється узагальнення X^{I+1} для кожного попереднього проміжку.

Під час перевірки проводиться підсумовування $\log p(y_i | X_i^l; W^l)$ та визначається оптимальна мітка класу.

Та якщо $X^{I+1} = X^I$, то процедура навчання та перевірки припиняється для X^I . Таким чином, X^{I+1} буде завжди коротша, ніж X^I .

Обчислювальна складність всієї моделі складається з $O(TYN^2)$ та $O(T \log T)$. Для L проміжків

```

INPUT: Навчальна вибірка D
OUTPUT: Оптимальне рішення w*
FOR I=1 TO L:
    W* = argmin L(wI)
    FOREACH xi ∈ D
        xiI+1 = JOIN (xiI, w*I)
    
```

Рис. 2. Алгоритми навчання моделі

```

INPUT: Послідовність  $x$ ,
           Оптимальне рішення  $w^*$ 
OUTPUT: Мітка класу  $y^*$ 
 $p(y|x; w^*) = 0$ 
FOR  $I=1$  TO  $L$ :
     $\log p(y|x; w^*) += p(y|x^I; w^{*I})$ 
     $x^I = \text{JOIN}(x_i^I, w^{*I})$ 
 $y^* = \text{argmax} \log p(y|x; w^*)$ 
    
```

Рис. 3. Алгоритм перевірки

вона буде складати: $O(LTYH^2 + LT \log T)$. Оскільки T – довжина кожного проміжку, то вона буде зменшуватися зі збільшенням порядку проміжків, тому що X^{I+1} буде завжди коротша, ніж X^I . Отже, обчислювальна складність моделі зростає сублінійно відносно числа її проміжків.

Висновки. Сукупність засобів, методів і правил взаємодії (управління, контролю тощо) між

елементами системи на основі динамічних алфавітно-цифрових рядів має ряд вимог, таких як робота в режимі реального часу, можливість створення спеціальних баз запису даних, здатність реєстрації зміни конфігурації генератора алфавітно-цифрових рядів із заданою частотою, збереження високої точності розпізнавання тощо.

Таким чином, у результаті проведеного дослідження показано, що існуючі методи розпізнавання динамічних алфавітно-цифрових рядів володіють функціональними обмеженнями і не можуть у повному обсязі реалізувати практично необхідні вимоги. Тому була запропонована і описана на теоретичному рівні модифікація методу умовних випадкових полів із прихованими станами. Дана модифікація методу дозволяє усунути ряд обмежень моделі та підвищити її дискримінативні здібності.

У ході роботи показано, що модифікація методу умовних випадкових полів із прихованими станами алгоритмічно може бути реалізована і має сублінійну часову складність.

Список літератури:

1. Vail Douglas L. Conditional Random Fields for Activity Recognition. PhD Thesis, Carnegie Mellon University, United States of America, CMU-CS-08-119, April, 2008.
2. Sutton Charles, McCallum Andrew. An Introduction to Conditional Random Fields. Foundations and Trends in Machine Learning .2012. Vol. 4, No. 4 (2011). P. 267–373. DOI: 10.1561/22000000013/
3. Do T., Artieres T. Neural conditional random fields. International Conference on Artificial Intelligence and Statistics (AI-STATS). P. 177–184, 2010.
4. Felzenszwalb P.F., Huttenlocher D.P. Efficient graph-based image segmentation. International journal of computer vision. Vol. 59, No. 2. September 2004. USA/
5. Hartline J. R. K. Incremental Optimization. PhD Thesis. Faculty of the Graduate School, Cornell University. 2008.
6. Nocedal J., Wright S. J. Numerical Optimization. Springer, USA. 1999.

АДАПТИВНЫЙ МЕТОД РАСПОЗНАВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО АЛФАВИТНО-ЦИФРОВОГО РЯДА

В статье проведен анализ актуальности и методов распознавания динамических алфавитно-цифровых рядов. Предложена модификация метода условных случайных полей со скрытыми состояниями. Она позволяет повысить дискриминативные способности данной модели. Проведено исследование модели на алгоритмическом уровне. Установлено, что данная модификация алгоритмически реализуема и обладает сублинейной временной сложностью.

Ключевые слова: динамический алфавитно-цифровой ряд, распознавание образов, метод условных случайных полей со скрытыми состояниями, генеративная вероятностная модель, дискриминативная вероятностная модель.

ADAPTIVE METHOD OF RECOGNITION FOR A DYNAMIC ALPHANUMERIC SERIES

The scientific article is analyzed for relevance and methods of recognition for dynamic alphanumeric series. A modification was proposed for the method of conditional random fields with hidden conditions. It allows increasing the discriminative abilities of this model. The research of the model was conducted at the algorithmic level. This modification is implemented by the algorithm and has a sublinear time complexity.

Key words: dynamic alphanumeric series, pattern recognition, the method of conditional random fields with hidden conditions, generative probability model, discriminative probability model.

УДК 004.92

Качурівський В.О.

Відокремлений підрозділ

Національного університету біоресурсів і природокористування України

«Бережанський агротехнічний інститут»

ПОБУДОВА АДАПТИВНИХ ТА ДИНАМІЧНИХ ДІАГРАМ ЗАСОБАМИ CANVAS API

У статті розглянуто JavaScript сценарій побудови діаграми засобами CANVAS API. Описано етапи створення стовпчикової діаграми у HTML-документі. Вирішено питання адаптування полотна побудови діаграми до ширини екрану. Визначено способи передачі числових даних для побудови графічних зображень, які автоматизують процес побудови інформаційного графіка.

Ключові слова: комп'ютерна графіка, JavaScript сценарій, побудова діаграм, інформаційна графіка.

Постановка проблеми. Усе частіше в аналітичних матеріалах сайтів використовують супровід числових даних їх візуальним поданням (інфографіка) за допомогою різного роду графічних об'єктів, призначених для швидкого та доступного сприйняття усієї інформації комплексно. Для створення інформаційної графіки використовуються графічні редактори, спеціалізовані додатки та модулі прикладних програм, результатом роботи яких є збережені на зовнішніх носіях файли відповідного типу. Створені графічні зображення типу jpg, png, gif вкладаються у матеріали web-сторінки за допомогою тегу `` для подальшого відображення на сайті.

Одним із способів візуалізації інформації, який набув широкого застосування, є використання різного виду діаграм: стовпчикова гістограма, кругова діаграма, двовимірний графік тощо. Популярним засобом створення діаграм є додаток Microsoft Office Excel. Створену та форматовану діаграму зберігають у файлі графічного типу для подальшого використання.

Поряд із простотою та перевагами цього способу він має ряд недоліків, а саме: створені діаграми є статичними, тобто зі зміною числової інформації графік незмінний; розмір файлу зображення є достатньо великим, тому з використанням декількох зображень значно збільшується час на завантаження сторінки із web-сервера; відкритим залишається питання адаптації відображення інфографіки до різних видів мобільних пристроїв та інтернет-браузерів.

Вирішити дану проблему можна із використанням графічних можливостей HTML5, зокрема програмованої графіки Canvas API.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У публікаціях Danny Goodman [3] та Володимира Дронова [5] розглянуто питання створення комп'ютерної графіки у HTML-документах за допомогою CANVAS. У працях Steve Fulton та Jeff Fulton [2] і Джоша Мариначи [4] детально висвітлено оператори для побудови геометричних фігур, які можна використовувати для комплексної побудови інфографіки. Основи роботи з елементом HTML5 `<canvas>` описано у публікаціях [1; 6]. На даний час практично відсутні публікації, в яких описані методи та способи адаптації полотна побудови графіка під розміри екрану, а також не розглянуті способи передачі до Javascript сценарію числових даних, на основі яких будується інформаційний графік.

Постановка завдання. Мета – визначити способи адаптації області побудови діаграм, створених за допомогою програмованої графіки Canvas API, до ширини екрану пристрою, на якому вона відображається. Розглянути шляхи передачі числових даних, на основі яких будується діаграма, до JavaScript сценарію для створення динамічної та актуальної інфографіки.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розробниками HTML5 додано новий елемент `<canvas>`, який призначений для створення графічного полотна та побудови зображень за допомогою сценаріїв у JavaScript.

Основними етапами створення графіки є:

1. Створення графічного полотна у HTML-документі за допомогою парного тегу.

```
<canvas id="Your name"></canvas>
```

2. Написання JavaScript сценарію для побудови графічних зображень. Кожен сценарій, який забезпечує побудову певного виду діаграми, повинен мати свій унікальний ідентифікатор. Наприклад: `gistogram()`.

3. Виконання JavaScript сценарію побудови зображень під час активації документа.

```
<script>
//виклик сценарію побудови діаграми
window.onload = gistogram();
</script>
```

Розглянемо ці етапи побудови детальніше, на прикладі побудови вертикальної стовпчикової діаграми, на основі одного числового ряду.

Етап перший: створення полотна для графіки та адаптація його ширини.

Canvas використовує полотно, яке складається з множини графічних точок – пікселів. Розміри полотна в пікселях визначаються атрибутами `width` та `height` тегу `<canvas>`. За замовчуванням встановлюється ширина полотна – 300 px, а висота – 150 px. Задавши абсолютні розміри, ми прив'язуємо полотно до визначеного відображення на екрані. Під час перегляду сторінки на екранах мобільних пристроїв із меншою кількістю пікселів, ніж ширина полотна, зображення виходить за межі екрану. Постає питання, яким чином адаптувати ширину полотна до повноцінного відображення.

Одним із способів адаптації ширини полотна є зміна атрибута `width` тегу `canvas` до ширини контейнера, в якому відображається полотно програмним способом під час завантаження web-сторінки. Розробники сайтів застосовують різноманітні способи адаптації сайту до відображення на екранах різних пристроїв. Вказати універсальний ідентифікатор чи клас контейнера, за яким можна визначити реальну ширину у пікселях, яка відведена на відображення інформації, неможливо. Ми пропонуємо помістити тег `<canvas>` у контейнер `<div>` з унікальним ідентифікатором. Для прикладу: `id="canvas_for_drawing"`, який і слугуватиме відправною точкою для визначення ширини та адаптації полотна під його ширину програмним способом. Фрагмент HTML-документа буде таким:

```
<div id="canvas_for_drawing">
<canvas id="Your_name"></canvas>
</div>
```

Під час виклику JavaScript сценарію передбачено можливість передачі вхідних параметрів до самого коду. Таким способом передамо ідентифікатори контейнера та графічного полотна в код `gistogram ('canvas_for_drawing', 'Your_name')`. В ім'я сценарію побудови внесемо формальні змінні `div_id` та `canvas_id`, які будуть приймати відповідні значення. Активізація JavaScript сценарію побудови задається в такий спосіб:

```
window.onload = gistogram('canvas_for_drawing', 'Your_name');
```

До сценарію побудови записуємо відповідний фрагмент:

```
//ідентифікація полотна
var canvas=document.getElementById(canvas_id);
```

```
var ctx = canvas.getContext("2d");
```

Визначення ширини контейнера за формалізованою змінною `div_id` та встановлення нових параметрів проводимо так:

```
var cont=document.getElementById(div_id);
```

```
// визначення ширини контейнера та зменшення його ширини на 5%
```

```
var W=cont.offsetWidth-cont.offsetWidth*0.05;
```

```
var H=W/2;
```

```
// встановлення нових параметрів полотна
```

```
canvas.width = W; canvas.height = H;
```

Отже, в одному документі можна застосувати декілька полотен та один JavaScript сценарій для побудови одного типу діаграм із різними числовими даними.

Етап другий: JavaScript сценарій для відображення графіки.

Цей етап потрібно розділити на декілька частин:

Частина 1: Побудова сітки діаграми (горизонтальних та/або вертикальних допоміжних ліній).

Частина 2: Задання кольору та числових даних для побудови діаграми.

Частина 3: Масштабування значень даних для побудови.

Частина 4: Побудова на полотні геометричних фігур.

Частина 5: Підписи осі та ряду даних.

Під час адаптації полотна побудови до розмірів контейнера було використано локальні змінні `W` та `H` – фактичні розміри `canvas`. Ці змінні будуть використовуватися під час побудови сітки та масштабування побудови геометричних фігур.

```

Для побудови сітки використано такий код:
// вертикальні лінії
ctx.beginPath();ctx.lineWidth=1;
for(var t=W/10; t<W; t+=W/10)
{ctx.moveTo(t, 0);ctx.lineTo
(t,H-20);ctx.stroke();}
// горизонтальні лінії
ctx.beginPath();
for(var v=H/4; v<H; v+=(H-25)/4)
{ctx.moveTo(0, v);ctx.
lineTo(W,v);ctx.stroke();}

```

Десять допоміжних вертикальних та чотири горизонтальні лінії по всій ширині та усій висоті полотна. Змінивши значення знаменника у виразі $W/10$ або $H/4$, змінимо кількість допоміжних ліній. Для підписів осі X зарезервовано 20 точок, тому $H - 20$.

Для реалізації *Частини 2* побудови діаграми необхідно передати до JavaScript сценарію код кольору та числові дані, на основі яких будуються прямокутники. Код кольору елементів діаграми передаємо безпосередньо під час виклику сценарію як один із вхідних параметрів.

Передачу числових даних можна реалізувати трьома способами:

- 1) передати конкретні числові дані безпосередньо під час виклику сценарію;
- 2) провести зчитування значень із файлу даних певного формату;
- 3) отримати дані з таблиці, яка розміщена в HTML-документі, інше.

Передачу кольору та числових даних безпосередньо в сценарій побудови діаграми під час його виклику проводять таким чином:

```

gistogram('canvas_for_drawing', '
Your_name', '#770000', 20, 30, 50, 40);

```

У цьому випадку передано колір #770000 та чотири числові значення 20, 30, 50 та 40.

Сценарій зберігає передані дані в асоційованому масиві arguments. Кількість переданих даних визначається конструкцією arguments.length. Індксація елементів масиву починається з нуля. Кількість елементів масиву 7. Передані числові дані в даному випадку знаходяться в елементах масиву arguments[3], arguments[4], arguments[5], arguments[6].

Передані числові дані сформуємо у масив $y=[]$.

```

//формування числового масиву
var d=arguments.length;var y=[];
for(i=3;i<d;i++) y[i-3]=arguments[i];
Кількість числових даних var n=d-3;

```

Частина 3: Масштабування значень даних.

Для побудови прямокутників припустимо, що одиниця числа відповідає одному пікселю. Оскільки значення числових даних можуть бути більшими від фізичної висоти полотна у пікселях H , є необхідність ввести коефіцієнт масштабування k . Обчислення цього коефіцієнта проведемо таким чином: висоту полотна H поділимо на найбільше передане числове значення. Для визначення максимального скористаємося загальновідомим алгоритмом пошуку найбільшого елемента масиву.

```

max=y[0];
for(i=1;i<n;i++){if(y[i]>max)
max=y[i];}
k=(H-20)/(max+10); //коефіцієнт
масштабування

```

Частина 4: Графічна побудова геометричних фігур (елементів діаграми)

Ширину прямокутників визначаємо як $ww=W/n/2$, а крок між прямокутниками як W/n .

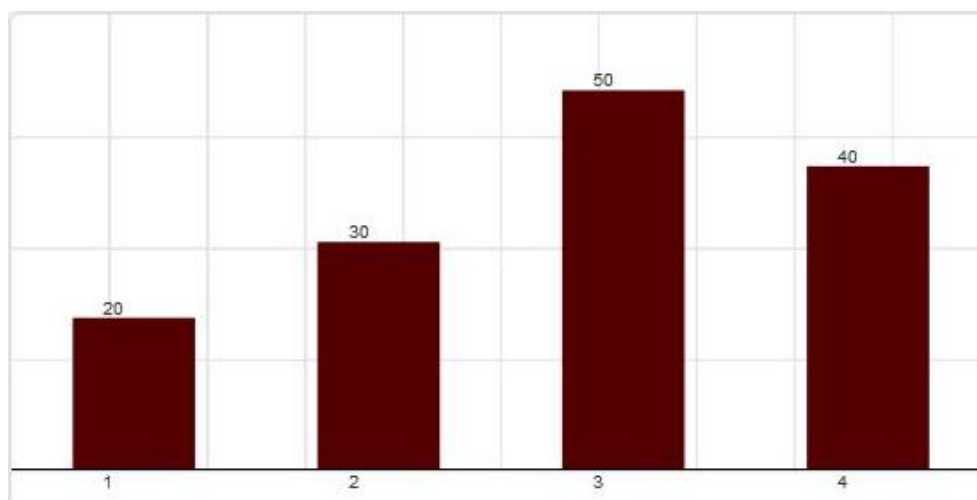


Рис. 1. Адаптована стовпчикова діаграма

Побудову прямокутників проведемо за допомогою циклу, використовуючи масив числових значень у.

```
var x=W/n/4;var ww=W/n/2;
var colorf= arguments[2];
for(i=0;i<n;i++)
{ctx.fillStyle = colorf;
ctx.fillRect (x,H-y[i]*k-20,ww,
y[i]*k);
x+=W/n;}
```

Частина 5: Підписи осі та ряду даних.

Вісь ОХ будемо наступним фрагментом

```
ctx.strokeStyle="rgb(1,1,1)";ctx.
beginPath();
ctx.moveTo(0,H-20);ctx.
lineTo(W,H-20);ctx.stroke();
```

Підписи осі Х та ряду даних проведемо у цьому ж циклі за допомогою такої конструкції

```
ctx.fillStyle ='#333333';
ctx.fillText(y[i],x+ww/n,
H-y[i]*k-22);
ctx.fillText(i+1,x+ww/n,H-10);
```

У результаті ми отримаємо таке зображення (рис. 1.)

Результуючий JavaScript сценарій із використання зовнішнього файлу даних буде наступним.

```
/* Вертикальна діаграма*/
function      gistogram_d(div_id,
canvas_id,colorf,path){
//ідентифікація полотна за id
var canvas=document.getElementById
(canvas_id);
var ctx=canvas.getContext("2d");
//вибір контейнера за id
var cont=document.getElementById
(div_id);
var      W=cont.offsetWidth-cont.
offsetWidth*0.05;
var H=W/2;
//встановлення параметрів canvas
canvas.width=W;canvas.height=H;
ctx.strokeStyle="rgb(231,231,231)";
//сітка
ctx.beginPath();ctx.lineWidth=1;
for(var t=W/10;t<W;t+=W/10)
{ctx.moveTo(t,0);ctx.lineTo
(t,H-20);ctx.stroke();}
ctx.beginPath();
for(var v=H/4;v<H;v+=(H-25)/4
```

```
{ctx.moveTo(0,v);ctx.lineTo
(W,v);ctx.stroke();}
//формування числового масиву
var i,max,k,d;var y=[];
var d=arguments.length;var y=[];
for(i=3;i<d;i++)y[i-3]=arguments[i];
//закінчення формування числового
масиву
var n=d-3;max=y[0];
for(i=1;i<n;i++){if(y[i]>max)
max=y[i];}
k=(H-20)/(max+10);
var x=(W/n)/4;var ww=W/n/2;
for(i=0;i<d;i++){
ctx.fillStyle = colorf;
ctx.fillRect (x,H-y[i]*k-20,ww,y[i]*k);
ctx.fillStyle ='#333333';
ctx.fillText(y[i],x+ww/n,
H-y[i]*k-22);
ctx.fillText(i+1,x+ww/n,H-10);
x+=W/n;}
ctx.strokeStyle = "rgb(1,1,1)";ctx.
beginPath();
ctx.moveTo(0,H-20);ctx.lineTo(
W,H-20);ctx.stroke();}
```

Кожному JavaScript сценарій для побудови певного виду діаграми необхідно присвоювати унікальний ідентифікатор, що дозволить організувати їх у зовнішній файл та підключати за необхідністю до конкретної web-сторінки для застосування.

Висновки. Розглянуті питання адаптації полотна графіки до ширини екрану, способи передачі даних до JavaScript сценарій для побудови актуальних та динамічних діаграм, способи масштабування числових даних не вичерпують усіх можливих підходів до даної проблеми. Оскільки компонентами діаграми є інші інформаційні елементи, то JavaScript сценарій побудови має достатнє широке поле для вдосконалення та розвитку. Нами розроблено сценарії імплементації у HTML-документ кругової, секторної, горизонтальної діаграми та площинного графіка. Потребують подальшої розробки інші способи графічного відображення даних, створення нестандартних діаграм, вивчення питання зчитування числових даних з інших типів файлів. Також заслуговують уваги питання написання коду JavaScript сценарію для анімації елементів діаграми.

Список літератури:

1. HTML5 Canvas. URL: <https://www.tutorialrepublic.com/html-tutorial/html5-canvas.php> (дата звернення: 15.01.2018).
2. Steve Fulton, Jeff Fulton. HTML5 Canvas. O'Reilly Media, 2011. 654 p.
3. Д. Гудман, JavaScript и DHTML. Сборник рецептов. Для профессионалов. Москва, 2015. 523 с.
4. Джош Мариначи. Основы рисования. URL: <https://webref.ru/dev/canvasdeepdive/chapter01> (дата звернення: 15.01.2018).
5. Дронов В. HTML 5, CSS 3 и Web 2.0. Разработка современных Web-сайтов. Москва, 2013. 416 с.
6. Элемент Canvas HTML5. URL: [https://msdn.microsoft.com/uk-ua/gg589510\(v=vs.85\)](https://msdn.microsoft.com/uk-ua/gg589510(v=vs.85)) (дата звернення: 21.01.2018).

**ПОСТРОЕНИЕ АДАПТИВНЫХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ДИАГРАММ
СРЕДСТВАМИ CANVAS API**

В статье рассмотрен JavaScript сценарий построения диаграммы при помощи CANVAS API. Описаны этапы создания столбиковой диаграммы в HTML-документе. Решен вопрос адаптации полотна построения диаграммы к ширине экрана. Определены способы передачи числовых данных для построения графических изображений, которые автоматизируют процесс построения информационного графика.

Ключевые слова: компьютерная графика, JavaScript сценарий, построение диаграмм, информационная графика.

CONSTRUCTION OF ADAPTIVE AND DYNAMIC DIAGRAMS BY MEANS OF CANVAS API

The scientific article is considered the JavaScript screenplay for constructing a chart with CANVAS API. Describes the stages of creating a chart in the HTML-document. The question of adapting the canvas for constructing a diagram to the width of the screen is solved. Determined methods of numerical data transmission for constructing graphic images, which automate the process of constructing an information graph.

Key words: computer graphics, Javascript screenplay, diagram design, information graphic.

Коваленко О.В.

Центральноукраїнський національний технічний університет

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ТЕСТУВАННЯ БЕЗПЕКИ

У роботі проведені дослідження ефективності розробленої технології тестування безпеки додатків. Запропонована автором технологія тестування безпеки додатків включає в себе комплекс математичних моделей технології тестування Web-додатків. В основу математичного моделювання покладено підхід GERT-мережного синтезу. У результаті розроблено математичні моделі технології тестування DOM XSS уразливості і технології тестування уразливості до SQL ін'єкцій. Крім того, запропонована автором технологія тестування безпеки додатків включає в себе імітаційну модель технології тестування безпеки на основі положень теорії масштабування імітаційних моделей. Відмінною особливістю розробленої імітаційної моделі є адаптація вибору вхідних операторів управління і даних до підвищення вимог оперативності розробки та реалізації моделі, виражена в реалізації процедури взаємодії з реальним браузером із використанням засобів автоматизації браузера і формування даних для атаки на декількох діалектах. У даній роботі проведена оцінка достовірності отриманих результатів математичного моделювання.

Ключові слова: тестування безпеки, масштабування імітаційних моделей, атаки на Web-додатки, GERT-мережі, технології тестування.

Постановка проблеми. У роботах автора [1–12] розроблений комплекс математичних моделей технології тестування WEB-додатків. В основу математичного моделювання покладено підхід GERT-мережного синтезу. У результаті розроблено математичні моделі технології тестування DOM XSS уразливості і технології тестування уразливості до SQL ін'єкцій.

Математична модель технології тестування DOM XSS уразливості відрізняється від відомих, урахуванням виконання або аналізу DOM структури, що дає можливість провести аналітичну оцінку тимчасових витрат тестування зазначеної уразливості в умовах реалізації стратегії розробки безпечного програмного забезпечення. Математична модель технології тестування уразливості до SQL ін'єкцій відрізняється від відомих, вдосконаленим способом визначення відстані між результатами ін'єкції. Використання в запропонованому способі критерію Джаро-Вінклера, для порівняння результатів ін'єкції SQL коду і введення порогового значення дозволить підвищити точність результатів тестування безпеки програмного забезпечення.

У ході дослідження представлених моделей було визначено, що випадкова величина часу виконання розглянутих технологій тестування в цілому відповідає гамма-розподілу. Перевірка цієї гіпотези проведена за критерієм Пірсона.

У роботах автора [13; 14] отримала подальший розвиток імітаційна модель технології тестування безпеки на основі положень теорії масштабування імітаційних моделей. Відмінною особливістю розробленої імітаційної моделі є адаптація вибору вхідних операторів управління і даних до підвищення вимог оперативності розробки та реалізації моделі, виражена в реалізації процедури взаємодії з реальним браузером з використанням засобів автоматизації браузера і формуванні даних для атаки на декількох діалектах.

В основу запропонованого підходу алгоритмічного спрощення імітаційного моделювання покладені вдосконалені процедури оцінки транзитивної залежності з управління і даним. Визначено допустимість і доцільність використання оцінки транзитивної залежності, що знизить обчислювальну складність реалізованих алгоритмів у порівнянні з алгоритмами оцінки прямої залежності до 1,5 разів.

Метою роботи є оцінка ефективності розробленої технології в порівнянні з існуючими способами і технологіями, заснованими на відомому алгоритмі Пурдома, на основі проведеного імітаційного моделювання процесу тестування безпеки додатків [15, с. 256].

Практичний досвід тестування безпеки додатків показують, що визначення точних кількісних даних вразливостей додатків, як правило,

не представляється можливим з огляду на безліч невизначеностей вхідних даних. Тому широкого поширення набули наближені оцінки, засновані на обробці емпіричних даних, зібраних в процесі тестування безпеки.

У роботі в якості основи для оцінки ефективності розробленої технології тестування безпеки додатків використовуємо один із методів статистичного аналізу – зведення і групування статистичних даних, який отримав теоретичне обґрунтування в роботах [16, с. 217].

Під час проведення дослідження було взято 20 Web-додатків з різною кількістю (від 31 до 77) тестованих елементів.

У результаті експериментів отримані значень часу тестування безпеки додатків для способів, які використовують алгоритм Пурдома і розробленої технології тестування безпеки. Результати тестування представлені в табл. 1.

Побудуємо інтервальний ряд розподілу часу тестування безпеки, для чого виберемо оптимальний інтервал k і встановимо розмах інтервалу h . Оптимальне число груп виберемо так, щоб в достатній мірі відбилося різноманітність значень ознаки в сукупності і в той же час закономірність розподілу, його форма не змінювалась випадковими коливаннями частот, при цьому скористаємося формулою Стержесса.

У нашому випадку оптимальний інтервал: $k = 1 + 3,322 \lg 20 = 5,32$. Оскільки число груп не може бути дробовим, то округляємо $k = 5,32$ до найближчого цілого числа по правилам округлень – 5.

Знаючи число груп, розраховують довжину (розмах) інтервалу за формулою:

$$h = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{k}$$

Виходячи із даних, які визначені вище,

$$h1 = (52 - 11,1)/5 = 8,18$$

$$h2 = (48,7 - 11)/5 = 7,54$$

Таким чином, інтервальний ряд розподілу часу тестування безпеки розібемо на 5 груп з інтервалом по 8,18 с. і 7,68 с.

Представимо інтервальний ряд розподілення тестування безпеки додатків у вигляді табл. 2.

Як видно з наведеної таблиці, навіть настільки невелика вибірка тестованих додатків показала переваги розробленої технології тестування безпеки. Так, максимальне значення інтервального ряду менше під час використання розробки в 1,07 рази, зменшилася кількість влучень у максимальний часовий інтервал, а також сумарний час тестування менший в 1,05 рази.

Слід зауважити, що на практиці найчастіше не використовується теоретично обґрунтований алгоритм Пурдома. При цьому тестування безпеки проводиться виходячи з досвіду тестуваль-

Таблиця 1

Результати тестування безпеки Web-додатків

N	Час тестування (алг. Пурдома), с.	Час тестування (розроблена технологія тестування), с.	N	Час тестування (алг. Пурдома), с.	Час тестування (розроблена технологія тестування), с.
1	23	22,4	11	14,7	14,5
2	15,3	14,5	12	29,2	28,2
3	44	41,1	13	45,6	44,1
4	23,5	22,1	14	11,1	11
5	43,7	41,0	15	19,3	18,6
6	24,1	22,7	16	12,4	12
7	33	31,6	17	31,6	30,2
8	52	48,7	18	20,1	19,6
9	17,8	17,4	19	33,1	31,4
10	20,1	19,3	20	24	22,9

Таблиця 2

Інтервальний ряд розподілу тестування безпеки Web-додатків

Час (алг. Пурдома) (с.)	Число попадань в інтервал	Час (розроблена технологія тестування), с.	Число попадань в інтервал
11,1-19,28	5	11-18,54	5
19,28-27,46	7	18,54-26,08	7
27,46-35,64	4	26,08-33,62	4
35,64-43,82	1	33,62-41,16	2
43,82-52	3	41,16-48,7	2

ників. У цьому випадку розроблена технологія тестування має істотну перевагу (до 1,5 рази).

Для обґрунтування достовірності отриманих в роботах [1–14] результатів проведено ряд експериментів, відповідно до умов:

1) група тестувальників складається з 3 чол, з них два тестувальника безпеки і один Person Non [16, с. 152];

2) основна методологія управління розробкою є SCRUM;

3) число експериментів $N^* = 20$.

За результатами експерименту, отримана гістограма часу тестування безпеки додатків [17, с. 306] представлена на рис. 1.

Висунута гіпотеза про нормальний розподіл цієї випадкової величини була перевірена за критерієм узгодженості Пірсона [16, с. 98]

$$\chi^2 = N^* \sum_{i=1}^k (P_i^* - P_i)^2 / P_i,$$

де k – число розрядів (інтервалів) статистичного ряду;

P_i^* і P_i – «статистична» та теоретична ймовірності «попадання» заданого показника в i -й розряд.

Проведена перевірка довела правдоподібність гіпотези про те, що величина часу тестування безпеки додатків розподілена за нормальним законом.

Отримані оцінки $\hat{t}_{\text{тест}}^{(i)}$ математичного очікування та $\hat{D}_{t_{\text{тест}}^{(i)}}$ дисперсії ($\hat{\sigma}_{t_{\text{тест}}^{(i)}}$ середньоквадратичного відхилення) випадкової величини $t_{\text{тест}}^{(i)}$ часу тестування безпеки додатків [17, с. 298].

$$\hat{t}_{\text{тест}}^{(i)} = \frac{\sum_{i=1}^k \hat{t}_{\text{тест}}^{(i)}}{N^*}; \hat{D}_{t_{\text{тест}}^{(i)}} = \frac{\sum_{i=1}^k (\hat{t}_{\text{тест}}^{(i)} - t_{\text{тест}}^{(i)})^2}{N^* - 1};$$

$$\hat{\sigma}_{t_{\text{тест}}^{(i)}} = \sqrt{\hat{D}_{t_{\text{тест}}^{(i)}}}.$$

Скориставшись відомим виразом для розрахунку довірчої ймовірності відхилення відносної частоти від постійної ймовірності в незалежних дослідженнях [16, с. 312], визначимо довірчу

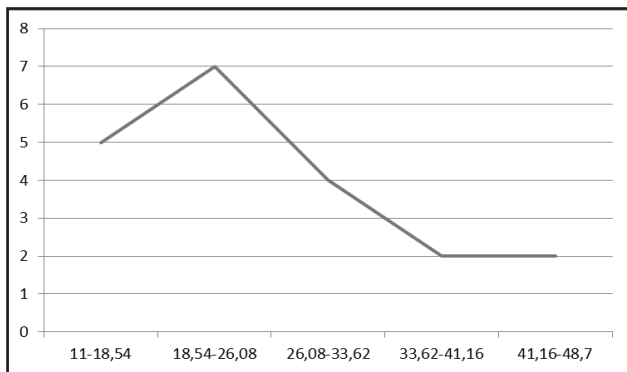


Рис. 1. Гістограма часу тестування безпеки додатків

ймовірність того, що отримане в результаті експерименту значення часу тестування безпеки додатків «не відхилено» від математичного очікування $\hat{t}_{\text{тест}}^{(i)}$ більш ніж на 1:

$$P(|\hat{t}_{\text{тест}}^{(i)} - t_{\text{тест}}^{(i)}| < 1) = 2\Phi(1/\hat{t}_{\text{тест}}^{(i)}),$$

де Φ – функція Лапласа виду $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-t^2/2} dt$ [16, с. 316].

Результати перевірених експериментів показали, що для всіх досліджуваних видів даних довірна ймовірність того, що значення сатистичної величини $t_{\text{тест}}^{(i)}$ «не відхилиться» від математичного очікування $\hat{t}_{\text{тест}}^{(i)}$ більш ніж на 1 дорівнює: $P \approx 0,92$.

За даними, отриманим в роботах [13; 14], в умовах, зазначених вище, проведено порівняльне дослідження результатів математичного моделювання і експерименту. Результати порівняння представлені на рис. 2. у вигляді графіка щільності розподілу ймовірностей часу тестування безпеки додатків і відповідних їм кордонів довірчого інтервалу:

$$I_\beta = [\hat{J} - \varepsilon_\beta, \hat{J} + \varepsilon_\beta],$$

в якій істинне значення попадає з довірчою ймовірністю $\beta = 0,94$ і оцінок його математичного очікування.

З графіка видно, що в ключовій тестовій ситуації «розрахункова» крива (суцільна крива), отримана відповідно до розробленої в роботах [1–12] математичної моделі, в більшості практичних випадків потрапляють в «усереднений» довірчий інтервал (заштрихована область).

Це підтверджує достовірність розробленої в роботах [1–12] математичної моделі і отриманого в результаті математичного моделювання аналітичного виразу.

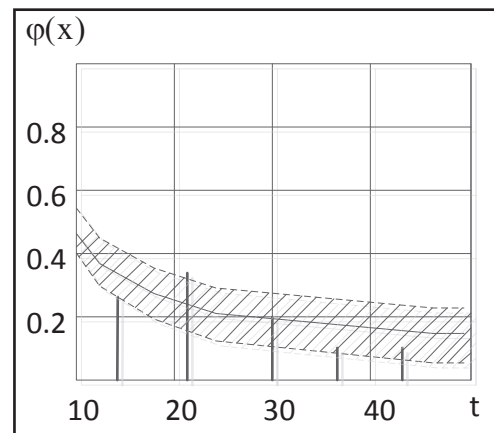


Рис. 2. Графік щільності розподілу ймовірностей часу $t_{\text{тест}}$ тестування системного ПЗ, відповідним їм межах довірчого інтервалу та оцінок його $\hat{t}_{\text{тест}}^{(i)}$ математичного очікування

Висновки. У роботі проведені дослідження ефективності розробленої технології тестування безпеки додатків і обґрунтування практичних рекомендацій щодо використання методів і засобів управління безпекою.

Визначено, що використання розробленої технології дозволить від 1,05 до 1,5 разів зменшити час тестування безпеки.

Під час оцінки достовірності отриманих у результаті математичного моделювання даних було проведено порівняння щільності розподілу ймовірностей часу тестування безпеки, відповідних їм кордонів довірчого інтервалу і оцінок його математичного очікування. Справжнє значення обраного показника потрапляє в довірчий інтервал із довірчою ймовірністю $\beta = 0,94$.

Список літератури:

1. Коваленко А.В. Технология тестирования DOM XSS уязвимости. Безопаска інформації. 2017. № 2(23). С. 73.
2. Коваленко А.В. Технология тестирования уязвимости к SQL инъекциям. Системы управління, навігації та зв'язку. 2017. № 5(45). С. 66.
3. Коваленко А.В., Смирнов А.А., Коваленко А.С., Смирнов С.А. Технология тестирования DOM XSS уязвимости. Научно-практический журнал кибербезопасности (SPCSJ). 2017. № 1. URL: <http://journal.scsa.ge/ru/issues/2017/09/484>.
4. Коваленко А.В., Смирнов А.А., Коваленко А.С. Алгоритм анализа DOM XSS уязвимости при управлении рисками разработки программного обеспечения. Комбінаторні конфігурації та їх застосування: праці міжнар. наук.-техн. семінару. (Кропивницький, 7-8 квітня 2017 р.). Кропивницький, 2017. С. 125.
5. Коваленко А.В., Смирнов А.А., Коваленко А.С. Алгоритм анализа уязвимости SQL Injection для управления рисками разработки программного обеспечения. Проблеми науково-технічного та правового забезпечення кібербезпеки у сучасному світі: праці міжнар. наук.-техн. конф. (ПНПЗК-2017) (Харків, 10-12 квітня 2017 р.). Харків, 2017. С. 27.
6. Коваленко А.В., Смирнов А.А., Коваленко А.С. Алгоритмы анализа DOM XSS уязвимости и уязвимости SQL Injection при управлении рисками разработки программного обеспечения. Проблеми і перспективи розвитку ІТ-індустрії: праці ІХ міжнар. наук.-практ. конф. (Харків, 20-21 квітня 2017 р.). Харків, 2017. С. 61.
7. Kovalenko O.V., Smirnov O.A., Kovalenko A.S., Smirnov S.A. Method of testing the dom XSS vulnerability. Information technologies, systems and networks ITS-2017: International Conference (Chisinau, Republic of Moldova. 17 – 18 October 2017). Chisinau, 2017. P. 7.
8. Коваленко О.В., Смирнов О.А., Коваленко А.С., Смирнов С.А. Метод тестування DOM XSS уразливості. Автоматика та комп'ютерно-інтегровані технології у промисловості, телекомунікаціях, енергетиці та транспорті: праці всеукр. наук.-практ. інтернет-конференції (Кропивницький, 16-17 листопада 2017 р.). Кропивницький, 2017. С. 198.
9. Коваленко О.В., Смирнов О.А., Коваленко А.С., Смирнов С.А. GERT-модель технології тестування DOM XSS уразливості. Актуальні питання забезпечення кібернетичної безпеки та захисту інформації: праці ІV міжнар. наук.-практ. конф. (Київ, 21-24 лютого 2018 р.). Київ, 2018. С. 65.
10. Коваленко О.В., Смирнов О.А., Коваленко А.С., Смирнов С.А. Технології тестування уразливостей Web-застосунків з використанням GERT-моделі. Комп'ютерні інтелектуальні системи та мережі (KICM-2018): праці всеукр. наук.-практ. конф. (Кривий Ріг, 21-23 березня 2018р.), Кривий Ріг, 2018. С. 5.
11. Коваленко А.В., Смирнов А.А., Коваленко А.С., Смирнов С.А. Тестирование уязвимости Web-приложений к атаке вида межсайтовый скриптинг. Securitea internationala 2018: Conferenta internationala (editia a XIV-a). (Chisinau, Moldova, 20-21 martie 2018). Chisinau, 2018. P. 54.
12. Коваленко А.В., Смирнов А.А., Коваленко А.С., Смирнов С.А. Комплекс математических моделей технологии тестирования WEB-приложений. Проблеми і перспективи розвитку ІТ-індустрії: праці X міжнар. наук.-практ. конф. (Харків, 19-20 квітня 2018 р.). Харків, 2018. С. 16
13. Коваленко А.В. Масштабирование имитационной модели технологии тестирования безопасности. Системы управління, навігації та зв'язку. 2017. № 6(46). С. 181.
14. Коваленко А.В. Имитационная модель технологии тестирования безопасности Web-приложений. Системы управління, навігації та зв'язку. 2018., № 1(47). С. 114–123.
15. Томас Х. Кормен, Чарльз И. Лейзерсон, Рональд Л. Ривест, Клиффорд Ш. Алгоритмы. Построение и анализ. Вильямс, 2016. 1328 с.
16. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. Москва, 2003. 479 с.
17. Канер С. Тестирование программного обеспечения. Фундаментальные концепции менеджмента бизнес-приложений. Киев, 2001. 544 с.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ТЕСТИРОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

В работе проведены исследования эффективности разработанной технологии тестирования безопасности приложений. Предложенная автором технология тестирования безопасности приложений включает в себя комплекс математических моделей технологии тестирования WEB-приложений. В основу математического моделирования положен подход GERT-сетевого синтеза. В результате разработаны математические модели технологии тестирования DOM XSS уязвимости и технологии тестирования уязвимости к SQL инъекциям. Кроме того, предложенная автором технология тестирования безопасности приложений включает в себя имитационную модель технологии тестирования безопасности на основе положений теории масштабирования имитационных моделей. Отличительной особенностью разработанной имитационной модели является адаптация выбора входных операторов управления и данных к повышению требований оперативности разработки и реализации модели, выраженная в реализации процедуры взаимодействия с реальным браузером с использованием средств автоматизации браузера и формирования данных для атаки на нескольких диалектах. В данной работе проведена оценка достоверности полученных результатов математического моделирования.

Ключевые слова: *тестирование безопасности, масштабирование имитационных моделей, атаки на Web-приложения, GERT-сети, технологии тестирования.*

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF SECURITY TESTING TECHNOLOGY

In this work, the studies were conducted on the effectiveness of the developed technology of application security testing. The technology offered by the author for application security testing includes a set of mathematical models of testing technology for WEB applications. The basis of mathematical modeling is the approach of GERT-network synthesis. As a result, mathematical models of testing technology for DOM XSS vulnerability and SQL injections have been developed. In addition, the application security testing technology proposed by the author includes a simulation model of security testing technology based on the theory of scaling of simulation models. A distinctive feature of the developed simulation model is the adaptation of the choice of input control operators and data to an increase in the requirements for the rapid development and implementation of the model, expressed in the implementation of the procedure for interacting with a real browser using browser automation tools and generating attack data in several dialects. In this work, the reliability of the results of mathematical modeling is estimated.

Key words: *security testing, scaling of simulation models, attacks on Web-applications, GERT-networks, technology testing.*

Корж Р.О.

Національний університет «Львівська політехніка»

ФОРМУВАННЯ КІЛЬКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТА ОЦІНЮВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ОБРАЗУ ЗАКЛАДУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

У статті визначено загальну оцінку інформаційного образу закладу вищої освіти та якості інформаційної діяльності закладу вищої освіти. Визначено продуктивність інформаційної діяльності. Визначено загальну ефективність інформаційної діяльності закладу вищої освіти, проведеної за період часу та уточнення прогнозованої ефективності. Визначено типові сценарії інформаційної діяльності закладу вищої освіти для стаціонарного випадку низької продуктивності.

Ключові слова: заклад вищої освіти (ЗВО), інформаційний образ (ІО), інформаційна діяльність (ІД), генератор.

Постановка проблеми. У попередніх дослідженнях [1; 2] визначено комплексні показники, що характеризують генератор інформаційного образу (ІО) закладу вищої освіти (ЗВО) з точки зору його можливості використання підрозділами в процесі активної інформаційної діяльності. Це показники комунікативної складності освітньої спільноти та комунікативної цінності.

Указані показники дозволяють оцінити генератори як середовище, в якому формується інформаційний образ. Проте указаних показників не достатньо для комплексного оцінювання отриманих результатів із формування образу, які б включали (загалом і для кожного генератора окремо):

- 1) загальну оцінку ІО ЗВО та оцінку за джерелами;
- 2) загальну оцінку трудомісткості та якості виконаних робіт;
- 3) оцінку складності та перспективності робіт із модифікації наявного образу.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Про необхідність формування генераторів інформаційного образу ЗВО розглянуто у наступних працях. У [3; 4] авторами досліджено віртуальні спільноти як один з елементів інформаційного образу закладу вищої освіти. Розроблено етапи та напрями формування студентських віртуальних спільнот ЗВО. Автори досліджують формування віртуальних представництв ЗВО, базуючись на моделях типових сайтів наукових установ [5], шляхи співпраці зі студентами на основі використання вікі-технології [6]. Проте недослідженим залишається оцінювання інформаційного образу

ЗВО та формування характеристики для оцінювання.

Постановка завдання. Підвищення ефективності процесів формування інформаційного образу ЗВО повинне стосуватися кількох аспектів, зокрема: покращення результатів роботи (власне самого інформаційного образу); підвищення ефективності процесу з точки зору ресурсів і часу; досягнення окремих якісних показників, важливих для проблематики інформаційного образу (зокрема, можливості захисту інформаційного образу від цілеспрямованих шкідливих впливів). Розглянемо далі: визначення загальної оцінки ІО ЗВО та якості інформаційної діяльності (ІД) ЗВО; визначення результативності виконаних робіт та продуктивності інформаційної діяльності; визначення загальної ефективності ІД ЗВО, проведеної за період часу та уточнення прогнозованої ефективності; прогнозування перспективності робіт із модифікації наявного інформаційного образу.

Виклад основного матеріалу.

Визначення загальної оцінки ІО ЗВО та якості ІД ЗВО

Визначення загальної позитивної композитної оцінки ІО ЗВО для генератора (компоненті ІО ЗВО) базується на визначенні оцінок елементів.

$$EOPP(Gen_i) = \sum_{Diss_j \in Img(Gen_i)} EOPP(Diss_j). \quad (1)$$

Тоді загальна позитивна композитна оцінка ІО ЗВО:

$$EOPP(University) = \sum_{Gen_i \in Gen} EOPP(Gen_i), \quad (2)$$

де Gen – множина усіх генераторів.

Аналогічно обчислюється загальна негативна композитна оцінка $EOPN$.

Важливим також є показник загальної позитивної композитної оцінки активного інформаційного образу ЗВО:

$$AEOPP(University) = \sum_{Gen_i \in SI} EOPP(Gen_i), \quad (3)$$

яка обчислюється по соціально-інформаційних інтерфейсах ЗВО та аналогічного йому показника загальної негативної композитної оцінки активного інформаційного образу ЗВО $AEOPN(University)$.

Співвідношення між загальними оцінками усього ІО ЗВО та його активної частини відображає ступінь покриття ЗВО соціальних середовищ Інтернету:

$$K_AEOPP(University) = \frac{AEOPP(University)}{EOPP(University)}, \quad (4)$$

Мінімальне з двох значень (позитивного $K_AEOPP(University)$ та негативного $K_AEOPN(University)$) і є цим показником:

$$KCover(University) = \min(K_AEOPP(University), K_AEOPN(University)). \quad (5)$$

Значення показника $KCover(University)$ лежать у діапазоні $[0,1]$ і відображають наскільки вдало вибрані генератори, у яких ЗВО здійснює свою активну інформаційну діяльність. Таким чином, $KCover(University)$ є важливим індикатором ефективності організації ІД ЗВО та, відповідно, може використовуватися у методах її підвищення. Значення показника $KCover(University) < 0,3$ свідчать про практично відсутність цілеспрямованої комплексної інформаційної діяльності, а значення в діапазоні $[0.3, 0.6]$ – про недостатню ефективність у визначенні пріоритетів та розподілі завдань.

Показник $KCover(University)$ доцільно застосувати лише як композитний, без розділення за джерелами, адже інформаційна діяльність ЗВО повинна проводитися у спільнотах, незалежно від того, з яких причин у них формується ІО ЗВО.

Проте серед загальних оцінок, з точки зору управління ІД ЗВО, найважливішими є такі оцінки:

- 1) $EOPPComm(University)$ – відображає позитивний ефект від комунікативних дій виконавців;
- 2) $EOPNComm(University)$ – відображає негативний ефект від комунікативних дій виконавців;
- 3) $EOPPInf(University)$ – відображає позитивний ефект від розміщення інформаційних матеріалів, їхню високу якість;
- 4) $EOPNInf(University)$ – відображає негативний ефект від розміщення інформаційних матеріалів, їхню низьку якість.

Показники відображають сумарний ефект від ІД ЗВО, проте її якість краще подавати у відносних величинах.

$$QualityComm(University) = \frac{EOPPComm(University)}{EOPPComm(University) + EOPNComm(University)}, \quad (6)$$

$$QualityInf(University) = \frac{EOPPInf(University)}{EOPPInf(University) + EOPNInf(University)}, \quad (7)$$

де $QualityComm(University)$, $QualityInf(University)$ – якість комунікативних та інформаційних дій ЗВО в діапазоні $[0,1]$.

Таким чином, ми отримуємо набір якісних показників, які в комплексі дозволяють визначити якість інформаційної діяльності ЗВО.

Інформаційну діяльність ЗВО будемо вважати якісною за умови, що:

$$\begin{cases} KCover(University) \geq KCover \\ QualityInf(University) \geq \underline{QualityInf} \\ QualityComm(University) \geq \underline{QualityComm} \end{cases}, \quad (8)$$

де $KCover$, $\underline{QualityInf}$, $\underline{QualityComm}$ – певні константи в діапазоні $[0,1]$, які відображають мінімально допустимі значення для рівня покриття спільнот та якості інформаційно-комунікаційної діяльності.

Значення цих констант можуть визначатися для певних категорій ЗВО окремо, в загальному випадку доцільним виглядає правило «чим більший ЗВО, тим нижчі константи», проте, очевидно, значення $\underline{QualityInf}$, $\underline{QualityComm}$ не може бути нижчим за 0,9 (тобто не більше 10% дій ЗВО викликає негативну реакцію спільнот). Для ЗВО комп'ютерно-інформаційного та гуманітарного профілів константа $\underline{QualityComm}$ може бути визначена і на рівні 0,99.

Побудований підхід до визначення якості інформаційної діяльності є застосовним і до оцінювання ефективності кожного з підрозділів зокрема, якщо в межах ЗВО запроваджено регламент, який:

- 1) обмежує, що кожен за кожним генератором може бути закріплено не більше одного підрозділа;
- 2) стверджує, що всі дискусії в межах генератора, що стосуються ЗВО, є зоною виключної відповідальності закріпленого підрозділа і повинні використовуватися для його оцінювання.

Такий регламент фактично переводить інформаційну діяльність підрозділів із категорії «бажаних» у категорію «обов'язкових до виконання» завдань, що є новим для переважної більшості ЗВО.

У випадку строгої відповідальності обчислення якості ІД підрозділів здійснюються за формулами

(1)-(8) з тою відмінністю, що обчислюються не загальні суми, а суми лише по генераторах, які закріплені за підрозділом.

Константи для перевірки якості (8) в такому разі формуються для певних категорій підрозділів окремо, хоча загальний хід міркувань залишається в силі.

У більшості випадків входження ЗВО відбувається в генератори, в яких уже є елементи ІО ЗВО. У такому разі для повноцінної оцінки якості ІД необхідно здійснити фільтрування старих повідомлень, взявши до розгляду лише ті повідомлення, що з'явилися із часу активної інформаційної діяльності.

Аналогічно, під час здійснення комплексної верифікації результатів доцільно до розгляду включати лише ті повідомлення, які з'явилися протягом одного загального циклу ІД [7].

Визначення результативності виконаних робіт та продуктивності інформаційної діяльності

Трудомісткість ІД ЗВО в соціальних середовищах визначається не лише обсягами і технічною складністю робіт, але і колективною соціальною оцінкою ЗВО, ставленням до нього в кожній зі спільнот. Очевидно, що саме колективний настрій спільноти визначає складність входження і подальшої діяльності представників ЗВО у спільноті. Причому співвідношення між трудовозатратами для позитивно і строго критично налаштованих спільнотами може складати десятки разів.

Стартовим показником для оцінки трудомісткості є показник комунікативної складності генератора $ComCost(Gen_i)$.

Іншим важливим фактором, що впливає на оцінку трудомісткості виконаних робіт, є показник інтегрованої достовірності. Динаміка зміни цього показника відображає реальний результат інформаційної діяльності підрозділа в межах однієї дискусії.

Нехай $ETP(Diss_j, T_0)$ – інтегрована позитивна достовірність j -ї дискусії на момент часу T_0 , аналогічно $ETN(Diss_j, T_0)$ тоді:

$$Result(Diss_j, T_0, T_1) = ComCost(Gen_i) * (ETP(Diss_j, T_1) - ETP(Diss_j, T_0)) - (1 - ComCost(Gen_i)) * (ETN(Diss_j, T_1) - ETN(Diss_j, T_0)) \quad (9)$$

– показник результативності виконаних робіт у межах j -ї дискусії.

Як слідує з визначення складових виразу, результативність для дискусії лежить у межах $[-1, 1]$, що можна трактувати як («повністю шкідливий результат», «повністю успішний результат»). Результат погіршується у випадку, коли негативні

наслідки зростають для спільнот із невисокою складністю спілкування (адже в такій ситуації невдача не в більшій мірі викликана невдалими діями комунікаторів), для спільнот з високою складністю ріст негативних наслідків є прогнозованим, тому на результат впливає мало [8].

Аналогічно, зростання позитивних наслідків має суттєве значення лише для спільнот, в яких висока складність спілкування. Для «дружніх» спільнот ріст позитивних відгуків не є важливим. Таким чином, із виразу (9) слідує такі стратегії щодо досягнення результатів у дискусіях, залежно від ставлення спільноти до ЗВО:

3) **антинегативна**: в «дружніх» спільнотах (із низькою складністю спілкування) основні зусилля спрямовуються на зменшення негативу;

4) **антинегативна**: у «ворожих» спільнотах (із низькою складністю спілкування) основні зусилля спрямовуються на збільшення позитиву;

5) **збалансована**: в «нейтральних» спільнотах зусилля спрямовуються збалансовано, як на збільшення позитивних суджень, так і на зменшення негативних.

Правильне використання стратегій дозволяє забезпечити зростання результативності ІД ЗВО як в окремих дискусіях, так і в цілому по генератору. При цьому дозволяє обчислити загальну результативність інформаційної діяльності за період часу в межах генератора обчислюватимемо на основі (9) таким чином:

$$Result(Gen_i, T_0, T_1) = \sum_{Diss_j \in Img(Gen_i)} Result(Diss_j, T_0, T_1). \quad (10)$$

Тоді продуктивність ІД ЗВО в межах генератора:

$$Prod(Gen_i, T_0, T_1) = \frac{Result(Gen_i, T_0, T_1)}{APostCount(Gen_i, T_0, T_1)} \quad (11)$$

де $APostCount(Gen_i)$ – кількість повідомлень, що створені ЗВО за період часу (T_0, T_1) в генераторі.

Окрім визначення показників за генератором, доцільним є також визначення їх і для ЗВО в цілому.

Загальна результативність та продуктивність ІД ЗВО обчислюється за формулами (12; 13).

Результативність ІД ЗВО:

$$Result(University, T_0, T_1) = \sum_{Diss_j \in AImg(University)} Result(Diss_j, T_0, T_1). \quad (12)$$

продуктивність ІД ЗВО:

$$Prod(T_0, T_1) = \frac{Result(University, T_0, T_1)}{APostCount(University, T_0, T_1)}, \quad (13)$$

де $APostCount(University)$ – кількість повідомлень, що створені ЗВО за період часу (T_0, T_1) у всіх соціальних середовищах.

Продуктивність ІД ЗВО у (13) носить усереднений по установі характер, тому її доцільно

використовувати для виявлення проблемних генераторів (для яких продуктивність є суттєво меншою за усереднену) та, відповідно, підрозділів, що допускають таку низьку продуктивність.

Показник продуктивності є важливим індикатором рівня підготовленості підрозділу до інформаційної діяльності в соціальних середовищах Інтернету. Формально діапазон значень показника лежить у межах $[0,1]$. Очевидно, що певні рамки для ужиткових на практиці значень показника виставити важко (вони визначаються об'єктивними обставинами, серед яких: загальний стан справ та настрої у суспільстві, сфера діяльності ЗВО, передісторія ЗВО та соціальних середовищ тощо). Проте негативне відхилення для підрозділу в порівнянні з іншими підрозділами або ж середньою (загальною) продуктивністю ІД ЗВО є ознакою необхідності:

- 1) підвищення комунікативної компетентності працівників;
- 2) підвищення якості інформаційних ресурсів;
- 3) реалізації спеціальних заходів з усунення інформаційних загроз.

У випадку, коли вказаних заходів недостатньо, доцільним є видалення генераторів, в яких понижені показники підрозділа, із зони відповідальності підрозділа або ж узагалі припинення активної діяльності в них.

Очевидно, що поява від'ємних значень для показника продуктивності є критично важливим індикатором помилкової діяльності в генераторі, адже це вказує на те, що ІД призводить не до покращення, а до погіршення образу ЗВО. На практиці виникнення таких ситуацій означає необхідність термінового вживання надзвичайних заходів [9].

Перевірка показників результативності та продуктивності здійснюється систематично, на етапі комплексної верифікації результатів ІД ЗВО.

Визначення загальної ефективності ІД ЗВО, проведеної за період часу та уточнення прогнозованої ефективності

У роботі було уведено показник прогнозованої ефективності діяльності підрозділа в генераторі $EffActivity(Dep_i, Gen_j)$ та показник продуктивності ІО ЗВО. Можна з пропонованих оцінок характеризує успішність окремих аспектів інформаційної діяльності, проте принципи формування оцінок суттєво відрізняються, тому безпосереднє співставлення їх є неможливим та недоцільним.

Показник прогнозованої ефективності відображає прогноз щодо того, наскільки повно буде

використано наявний на підрозділі інформаційний ресурс у вибраному генераторі. До початку активної фази інформаційної діяльності лише кількісні, комунікативні та тематичні характеристики підрозділу та генератора можуть бути вхідними даними для такого прогнозу.

Здійснення активної інформаційної діяльності призводить до зміни в самому ІО ЗВО, що дозволяє будувати оцінки на фактографічному матеріалі. Саме такою оцінкою для підрозділу є оцінка продуктивності діяльності його в генераторі $Prod(Gen_i, T_0, T_1)$ (оцінка продуктивності дається по всьому ЗВО для генератора, проте, як правило, кожен генератор має закріплені за ним єдиний підрозділ), яку можна трактувати як частку наявних ресурсів, яка використана успішно – на покращення ІО ЗВО.

Водночас формальна близькість показників дозволяє використати показник для реальної продуктивності як коефіцієнт для прогнозованої ефективності в задачі про призначення відповідальності підрозділа. Це дозволяє використати реальні дані для модифікації розподілу відповідальності на етапі формування структури соціально-інформаційних інтерфейсів, якщо цей етап здійснюється не вперше (враховуючи циклічність ІД ЗВО).

Таким чином, у задачі про призначення для визначення структури соціально-інформаційних інтерфейсів формула набуває такого вигляду:

$$EP(R_K^{(D,G)}) = \sum_{i=1}^{N(Dep)} \sum_{j=1}^{N(Gen)} Prod(Gen_i, T_0, T_1) * EffActivity(Dep_i, Gen_j) * R_K^{(D,G)}(Dep_i, Gen_j) * DepAs(Dep_i). \quad (14)$$

У випадку, коли $Prod(Gen_i, T_0, T_1)$ є невизначеною (ІД у генераторі не здійснювалася), вона приймається як усереднена по ЗВО продуктивність $Prod(T_0, T_1)$.

У випадку, коли ЗВО ще інформаційної діяльності не здійснювало взагалі, продуктивність доцільно прийняти рівною 1 для всіх генераторів.

Використання $Prod(Gen_i, T_0, T_1)$ на практиці означає, що продуктивність відображає реальну частку успішно використаного інформаційного ресурсу при ІД у межах генератора.

Якщо в якості $R_K^{(D,G)}$ вибирається актуальний на даний час розподіл зон відповідальності підрозділів (позначимо його $R_K^{(D,G)}(T_1)$), то ми отримуємо остаточний вираз для оцінювання загальної ефективності проведеної за період часу (T_0, T_1) інформаційної діяльності.

$$EP(R_K^{(D,G)}(T_1)) = \sum_{i=1}^{N(Dep)} \sum_{j=1}^{N(Gen)} Prod(Gen_i, T_0, T_1) * EffActivity(Dep_i, Gen_j) * R_K^{(D,G)}(T_1, Dep_i, Gen_j) * DepAs(Dep_i). \quad (15)$$

Прогнозування перспективності робіт з модифікації наявного інформаційного образу

Наявність фактичних даних щодо зміни інформаційного образу ЗВО в результаті цілеспрямованої активності його підрозділів дозволяє здійснювати певні прогнози щодо подальшої перспективності діяльності в тих чи інших генераторах.

Основним фактором перспективності (як уже зазначалося вище) є висока продуктивність ІД ЗВО в конкретному генераторі. Низька призводить до втрат для ЗВО в ресурсі виконавців (на отримання ефекту витрачається значні зусилля та час) та інформаційному ресурсі (для отримання ефекту витрачаються наявні тексти, які з ряду мережевих обмежень тиражувати між різними спільнотами є небажано) [10].

Продуктивність (як слідує з (9)-(11)) може бути низькою в таких випадках:

4) «**суб’єктивному**» – наявні низькі комунікативні якості або якість інформаційного ресурсу, що розміщується в генераторі;

5) «**агресивному**» – наявні агресивні дії учасників спільноти генератора або негативні суспільні процеси;

6) «**стаціонарному**» – наявні високі показники спільноти щодо оцінювання ЗВО на початок періоду.

Відповідно, для кожного з указаних випадків доцільно використовувати окремий сценарій подальших дій у спільноті. Ідентифікація кожного з випадків здійснюється експертом, з урахуванням динаміки зміни формальних показників та оцінювання діяльності працівників підрозділу.

У «суб’єктивному» випадку основою стратегії покращання ситуації є або підвищення кваліфікації та адміністративні заходи щодо підрозділу, або перерозподіл зон відповідальності.

В «агресивному» випадку необхідним є залучення спеціалістів із піару та соціальних комунікацій та виконання спеціальних процедур захисту ІО ЗВО від шкідливих дій.

«Стаціонарний» випадок породжується в ситуаціях, коли в генераторі уже сформована цілком позитивна думка про ЗВО, і подальша інформаційна діяльність не здатна суттєво її підвищити. У такому разі можливими є три сценарії (див. рис. 1):

1) «**Консервація ІО**» – діяльність у генераторі зводиться до мінімально необхідної для підтримання комунікації (найчастіше це періодичні короткі повідомлення та реакція на інформаційні заходи). Цей варіант доцільно використовувати для спільнот загально тематичного спрямування;

2) «**Насичення ІО**» – незважаючи на неможливість суттєвого покращення думки про ІО ЗВО, генератор використовується як площадка для розміщення інформаційних матеріалів про ЗВО, зокрема з метою підвищення цитування матеріалів ЗВО та його згадуваності. Цей варіант доцільно використовувати для авторитетних професійних спільнот;

3) «**Участь у розвитку**» – участь у трансформації генератора. Зокрема, збільшення його популярності завдяки матеріалам ЗВО, взаємодія з активними учасниками, встановлення поглиблених партнерських стосунків з адміністрацією спільноти, інші форми взаємодії, що змінюють саму спільноту. Цей варіант може використовуватися для професійних спільнот, що є достатньо молодими і демонструють гарну динаміку розвитку, проте ще не набули високої авторитетності. У цьому сценарії можливі не лише результати інформаційного характеру, але і суто адміністративного – наприклад, формування кадрового

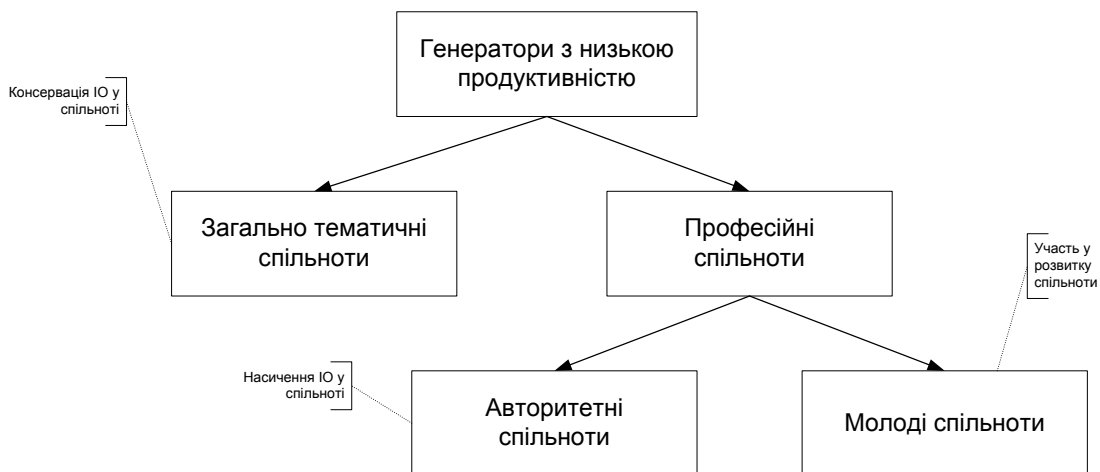


Рис. 1. Типові сценарії ІД ЗВО для стаціонарного випадку низької продуктивності

резерву ЗВО або афілійованої з ЗВО громадської організації.

Визначення бажаного сценарію розвитку вимагає поглибленого розуміння перспектив розвитку генератора, тому повинне здійснюватися підрозділом, що несе за нього відповідальність.

Висновки. Визначено найважливіші оцінки з точки зору управління інформаційною діяльністю ЗВО, а саме: оцінку, що відображає позитивний ефект від комунікативних дій виконавців; оцінку, що відображає негативний ефект від комунікативних дій виконавців; оцінку, що відображає позитивний ефект від розміщення інфор-

маційних матеріалів, їхню високу якість; оцінку, що відображає негативний ефект від розміщення інформаційних матеріалів, їхню низьку якість. Визначено стратегії щодо досягнення результатів у дискусіях, залежно від ставлення спільноти до ЗВО, що дозволяє забезпечити зростання результативності ІД ЗВО як в окремих дискусіях, так і в цілому по генератору. Визначено показник продуктивності, що є важливим індикатором рівня підготовленості підрозділу до інформаційної діяльності в соціальних середовищах Інтернету. Визначено типові сценарії ІД ЗВО для стаціонарного випадку низької продуктивності.

Список літератури:

1. Korzh R., Fedushko S., Peleschyshyn A. Methods for forming an informational image of a higher education institution. *Webology*, 12(2), Article 140. 2015. URL: <http://www.webology.org/2015/v12n2/a140.pdf>.
2. Korzh R., Peleshchyshyn A., Syerov Yu., Fedushko S. University's Information Image as a Result of University Web Communities' Activities. *Advances in Intelligent Systems and Computing: Selected Papers from the International Conference on Computer Science and Information Technologies, CSIT 2016, September 6-10 Lviv, Ukraine, Shakhovska N. (Ed.)*. – Springer International Publishing: 2017.– Series Volume 512. 115-127 p.
3. Пелещишин А., Трач О. Основні етапи життєвого циклу формування студентських спільнот ВНЗ. «Інформатизація вищого навчального закладу». Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Львів, 2015. 76-84 с.
4. Trach O., Peleshchyshyn A. Functional-network model of tasks performance of virtual communication life cycle directions. *Proceedings of the XIth International Scientific and Technical Conference (CSIT 2016)*. Lviv Polytechnic Publishing House, 2016. 108-110 p.
5. Задорожна Н., Кузнецова Т., Лупаренко Л. Проектування моделі типового сайту наукової установи. *Інформаційні технології і засоби навчання*. Т. 39, вип. 1, 2014. 275-296 с. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ITZN_2014_39_1_26
6. Морзе Н., Варченко-Троценко Л. Формування навичок ефективної співпраці студентів під час використання Вікі-порталу. *Інформаційні технології і засоби навчання*. Т. 40, вип. 2, 2014. 92-106 с. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ITZN_2014_40_2_11.
7. du Preez, M. Web-based learning solutions for communities of practice: developing virtual environments for social and pedagogical advancement. *Online Information Review*. Vol. 34, Issue 3, 2010. 511–512 p.
8. Лебедева, Н. Информационно-коммуникационные технологии в вузе [Монография]. LAP Lambert Academic Publishing, 2014 г. 156 с.
9. Syerov Yu., Fedushko S., Loboda Z. Determination of Development Scenarios of the Educational Web Forum. *Proceedings of the XIth International Scientific and Technical Conference (CSIT 2016)*. Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House, 2016. 73-76 p.
10. Федущко С., Лобода З. Популяризація послуг відділу академічної установи у соціальних медіа. *Сучасні наукові дослідження та розробки: теоретична цінність та практичні результати – 2016: матеріали міжнародної науково-практичної конференції (Братислава (Словаччина), 15-18 березня 2016 р.)*. К.: ТОВ «НВП «Інтерсервіс», 2016. Vol.1. 141 с.

ФОРМИРОВАНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И ОЦЕНКИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБРАЗА УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

В статье определена общая оценка информационного образа учреждения высшего образования и качества информационной деятельности учреждения высшего образования. Определена производительность информационной деятельности. Определена общая эффективность информационной деятельности учреждения высшего образования, проведенной за период, и уточнение прогнозируемой эффективности. Определены типовые сценарии информационной деятельности учреждения высшего образования для стационарного случая низкой производительности.

Ключевые слова: учреждение высшего образования (УВО), информационный образ (ИО), информационная деятельность (ИД), генератор.

FORMING QUANTITATIVE CHARACTERISTICS AND EVALUATION INFORMATION IMAGE OF HIGHER EDUCATION INSTITUTION

The article defines the general assessment of the information image of the institution of higher education and the quality of information activity of the institution of higher education. The productivity of information activity is determined. The general effectiveness of the information activity of the institution of higher education, carried out over the period of time and clarification of the predicted efficiency is determined. The typical scenarios of information activity of higher education institution for stationary case of low productivity are determined.

Key words: higher education institution (HEI), information image (II), information activity (IA), generator.

УДК 004.71

Котунов В.О.Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Сліпченко В.Г.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

РЕАЛІЗАЦІЯ ВИСОКОШВИДКІСНОГО МОСТУ МІЖ МЕРЕЖАМИ RS-485 ТА ETHERNET

У статті розглядається проблема підключення пристроїв під керуванням операційних систем сімейства Windows та Linux до високошвидкісних мереж RS-485. Запропоновано вирішення даної проблеми шляхом створення мосту та підключення через мережу Ethernet. Описано програмно-апаратні засоби перетворювача інтерфейсів RS-485/Ethernet та способи оптимізації для досягнення максимальної швидкодії. Наведено особливості реалізації для різних застосувань та прикладних протоколів.

Ключові слова: RS-485, Ethernet, міжмережевий міст, перетворення інтерфейсів, вбудовані системи, Embedded-системи, STM32.

Постановка проблеми. На сьогодні мережі стандарту RS-485 отримали широке застосування в промисловості, на транспортних засобах, контрольно-вимірювальній апаратурі та в інших галузях. Такі мережі не потребують дорогої інфраструктури та при цьому забезпечують відносно високий рівень стійкості до електромагнітних завад та високу швидкість передачі даних. Для роботи з такими мережами існує велика кількість стандартизованого обладнання, драйвери, трансивери і т.п. Сьогодні значна кількість обладнання підтримують роботу в мережах RS-485 зі швидкістю 3Мб/с. Простота та надійність таких мереж роблять їх зручними для високошвидкісного збору даних та керування віддаленими пристроями. Часто виникає потреба під'єднати до мережі RS-485 персональний комп'ютер, або інший пристрій що працює з операційною системою сімейства Windows або UNIX/Linux. Для вирішення цієї задачі існує велика кількість стандартизованого обладнання та програмного забезпечення, що, як правило, використовує драйвери послідовного порту. У той же час розповсюдженні операційні системи мають обмеження швидкості передачі через стандартний послідовний порт (фізичний чи віртуальний). У даній роботі описано засоби забезпечення зв'язку персональних комп'ютерів та високошвидкісних мереж RS-485 і створення гнучких міжмережевих мостів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Подібна задача розглядалася в роботі [1, с. 551]. Але автори розглядають для цієї мети систему під керуванням операційної системи Linux, що вимагає відносно потужного комп'ютера чи мікроконтролера. У деяких роботах [2, с. 14] дана задача вирішується за допомогою персонального комп'ютера та програмного комплексу LabVIEW. У попередній роботі та у [3, с. 84] задача перетворення інтерфейсів є одним із компонентів більш великої системи. Окремого компактного та дешевого рішення для високошвидкісного перетворення інтерфейсів RS-485 та Ethernet не знайдено, тому його розробка є актуальною.

Постановка задачі. Для досягнення вище наведених цілей необхідно розробити апаратно-програмні засоби перетворення мережеских інтерфейсів RS-485 з можливістю приєднання до як можна більшої кількості моделей сучасних персональних, одноплатних та інших комп'ютерів під керування операційних систем сімейства Windows та Linux. Також розроблювана система має забезпечувати масштабованість шляхом приєднання RS-485 до існуючих локальних (LAN – англ. Local Area Network) чи мережі Інтернет, забезпечуючи віддалене керування.

Розглянемо доступні способи передачі даних на комп'ютер зі швидкостями 2-3Мб/с. В більшості випадків – це інтерфейси USB та Ethernet.

USB (від англ. Universal Serial Bus – універсальна послідовна шина) має швидкість передачі даних до 480Мб/с для версії 2.0. З точки зору користувача, найзручніший спосіб передачі даних через USB – через створення віртуального COM-порту (англ. VCP-virtual COM-port). Такий спосіб робить USB-канал «прозорим» для користувача, на прикладному рівні робота з віртуальним COM-портом не відрізняється від роботи з реальним. Проте, як було сказано раніше, операційні системи можуть мати обмеження швидкості послідовних портів, це стосується і VCP, отже, для описаних мереж зі швидкостями передачі даних у 2-3Мб/с таке рішення буде не придатним. Використання режимів роботи USB, які б забезпечили необхідну швидкість передачі даних, потребує спеціалізованих програм-драйверів та суттєво відрізняється від послідовних інтерфейсів прикладним рівнем. Одна з основних архітектурних відмінностей – використання в USB топології «активне дерево» з одним головним пристроєм, у той час як у RS-485 використовується однорангова топологія «спільна шина».

Альтернативний варіант – використання Ethernet. Таке підключення забезпечує швидкість до 100Мб/с при використанні кабелів із двома диференційними парами (стандарт 100BaseT). Як і RS-485, в Ethernet використовується однорангова архітектура мережі, це забезпечує можливість додавання та видалення будь якого з пристроїв без переконфігурування решти пристроїв у мережі. Робота на прикладному рівні реалізована через технологію сокетів, що подібна до роботи з послідовним портом – це додає зручності використання. Для мереж Ethernet випускається велика кількість мережевого обладнання, як для створення локальних мереж, так і для приєднання до глобальної мережі Інтернет. Можливість віддаленого керування по RS-485 з використання наявних локальних комп’ютерних мереж Ethernet чи Інтер-

нет буде суттєвою перевагою даного рішення. Таким чином, використання Ethernet-інтерфейсу є доцільним для підключення персонального комп’ютера до високошвидкісної мережі RS-485.

Постановка завдання. Мережі RS-485 та Ethernet мають суттєві відмінності на фізичному та каналному рівнях, тому для їх узгодження необхідний спеціалізований перетворювач інтерфейсів. На ринку доступні різні моделі подібних пристроїв, але більшість із них не забезпечують швидкість передачі даних у RS-485 більшу за 115,2кб/с. Тому для вирішення цієї задачі необхідно розробити апаратно-програмний комплекс перетворювача інтерфейсів Ethernet/RS-485, що підтримує передачу даних на швидкостях до 4.5Мб/с. При цьому рішення має бути компактним, гнучким в налаштуваннях та придатним для вбудовуваних застосувань.

Виклад основного матеріалу. Структура перетворювача подана нижче (рис. 1).

Розглянемо основні складові частини перетворювача інтерфейсів більш детально. Основним вузлом є мікроконтролер, на схемі позначений MCU. Повідомлення, що надходять з мережі RS-485, запаковуються в пакети UDP та IP і через вбудований апаратний контролер MAC (англ. Media Access Control – контроль доступу до середовища) каналного рівня передаються до контролера фізичного рівня (позначений PHY). Для підключення контролера фізичного рівня використовується інтерфейс RMI (Reduced Media Independent Interface – незалежний від середовища передачі скорочений інтерфейс).

Приєднання до мережі Ethernet здійснюється через трансивер фізичного рівня (позначений PHY) та пристрій гальванічної розв’язки (позначений MAG).

Трансивер фізичного рівня забезпечує встановлення зв’язку, визначення можливих режимів роботи мережі (англ. Auto Negotiation), моніто-

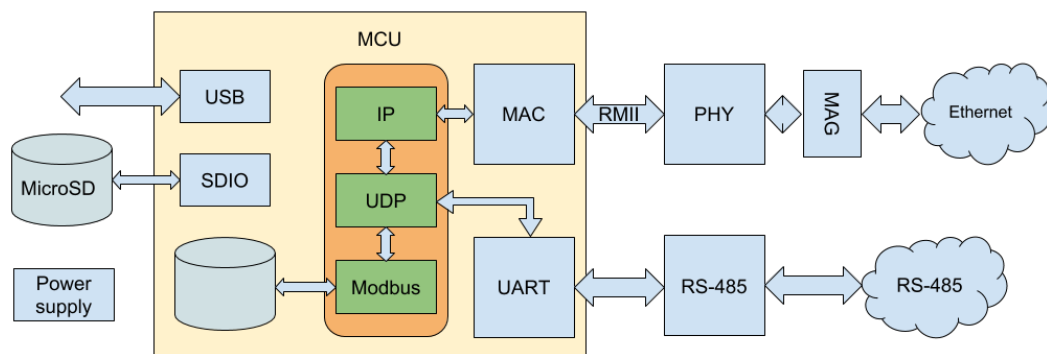


Рис. 1. Перетворювач інтерфейсів

ринг стану приєднаної ланки мережі, виявлення колізій та передачу даних фізичним рівнем.

Для доступу до мережі RS-485 мікроконтролер використовує апаратний інтерфейс UART та зовнішній трансивер.

Для забезпечення максимальної сумісності з існуючими рішеннями та мережами було прийнято рішення використовувати стандартний стек протоколів TCP/IP. Дані запаковуються в датаграми протоколу UDP. Використання UDP замість TCP не потребує процедур встановлення з'єднання та підтвердження прийому і, як результат, забезпечує пряму трансляцію повідомлень з мережі RS-485 і навпаки.

Існують відриті кросплатформенні реалізації стеку TCP/IP, наприклад, lwIP, uIP та ін. Проте дані рішення орієнтовані на створення Web-серверів та користувацьких Web-інтерфейсів. Ці системи не потребують малого часу затримки та виконання в реальному часі. Як правило, вони реалізовані на так званих операційних системах реального часу, наприклад FreeRTOS, але таке рішення не може забезпечити тої ж швидкодії, якої можна досягти використовуючи апаратні можливості процесора – прямий доступ до пам'яті (англ. DMA – Direct Memory Access) та переривання.

Враховуючи вищесказане, було прийнято рішення реалізувати власний стек протоколів TCP/IP зі значним використанням апаратних особливостей мікроконтролера та периферії для забезпечення максимальної швидкодії. Детально реалізацію стеку TCP/IP описано в [4, с. 64].

Мінімально необхідний набір протоколів та функцій стеку TCP/IP для забезпечення передачі датаграм UDP наведено на схемі (рисунок 2).

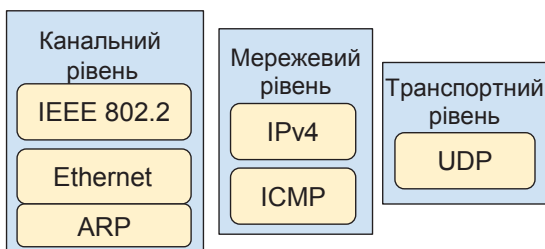


Рис. 2. Мінімально необхідні протоколи стеку TCP/IP

IEEE 802.2 Ethernet забезпечують формування пакетів і додавання до них службової інформації, такої як преамбула та контрольні суми, для передачі фізичним рівнем. У розробленому рішенні дані протоколи реалізовані апаратно і детально не розглядаються.

ARP (Address Resolution Protocol) – протокол визначення адреси, дає можливість встановити

MAC-адресу будь-якого вузла мережі за відомою IP-адресою. Оскільки на каналному рівні адресація пакетів відбувається за MAC-адресами, використання ARP необхідне для визначення MAC-адреси вузла-приймача. Якщо описана система сама не ініціює передачу пакетів, а лише надсилає відповіді на запити (наприклад, застосування для Poll-протоколів типу Modbus коли головний пристрій знаходиться з боку Ethernet, а підлегли з боку RS-485) – достатньо реалізувати лише генерацію ARP-відповідей. Також, у найпростішому випадку, необхідно запам'ятовувати MAC-та IP-адресу вузла, який надіслав запит, для того щоб мати можливість надіслати йому запит-відповідь [5].

У випадку якщо описана система, або вузли приєднаної мережі RS-485 можуть самі ініціювати передачу, необхідно реалізувати можливість генерувати ARP-запити для встановлення MAC-адреси пристроя-приймача. Знайдені адреси мають зберігатися в ARP-таблиці, кожен рядок якої містить MAC- та IP-адресу віддаленого вузла а також термін дії даного запису. Після кожного звернення до відповідного вузла термін дії запису продовжується на деякий сталий проміжок часу. Якщо до вузла не було звернень і його термін дії запису спливає – запис видаляється. Цей механізм необхідний для актуалізації даних по вузлам мережі при їх приєднанні та від'єднанні. Як альтернативу можна застосовувати широко-мовні пакети з MAC-адресою ff:ff:ff:ff:ff:ff, але це є неефективним із точки зору використання ресурсів мережі.

IPv4 (англ. Internet Protocol version 4) – інтернет-протокол. Призначений для передачі даних на мережевому рівні. Описана ситема використовує повністю стандартний спосіб упаковки даних в пакети IPv4, що детально описаний в стандарті [6] та літературі, наприклад [4, с. 66], [7], тому детального опису не потребує.

ICMP (англ. Internet Control Message Protocol) – протокол міжмережєвих керуючих повідомлень. Даний протокол передбачає значну кількість типів пакетів, але їх реалізація не є обов'язковою для функціонування мережі. Для зручності роботи користувача із системою бажаною є реалізація пакетів типу 0 та 8 – ехо відповідь та ехо запит, відповідно. Ці пакети необхідні для функціонування утиліти Ping, що використовується для перевірки цілісності мережі та якості зв'язку. Даний протокол визначений у стандарті [8].

UDP – (англ. User Datagram Protocol) – протокол дейтаграм користувача. Даний протокол є

одним із двох основних способів передачі даних з використанням TCP/IP. Інший спосіб передачі – протокол TCP – має механізм встановлення з'єднання і гарантування доставки пакетів. Під час використання описаної системи в якості моста між мережами Ethernet та RS-485 доцільним є використання UDP, оскільки цей механізм подібний до передачі пакетів у RS-485, зокрема не потребує процедури встановлення з'єднання (англ. Handshaking). UDP дозволяє без додаткових перетворень запаковувати пакети мережі RS-485.

Якщо всі пакети стеку TCP/IP можна чітко відокремити одне від одного та визначити для кожного початок і кінець, то для протоколів типу RS-232, RS-485 і подібних необхідно звернути увагу на спосіб визначення кінця пакету. У деяких протоколах (наприклад, Modbus-RTU) кінець пакета визначається інтервалом тиші, під час якого не відбувається передача даних, окрім цього, пакет може містити інформацію про власну довжину. Інший спосіб – використання спеціального символу кінця повідомлення, використовується в Modbus-ASCII.

Особливістю UDP є використання портів, тобто на одному пристрої можна забезпечити декілька режимів роботи або протоколів передачі, які реалізовані на різних портах одночасно, такий підхід забезпечить всю необхідну функціональність, що доступна одночасно. Окрім цього, окремі порти можуть бути виділені для конфігурування та налаштування даної системи. Згенеровані описаною системою UDP-пакети мають містити порт приймач віддаленого вузла мережі. У випадку якщо з боку даної системи або мережі RS-485 не ініціюється передача даних, а передаються лише відповіді на запити, то, як правило, номер порту від-

даленого вузла міститься в пакеті-запиті. В інших випадках номер порту приймача має бути сконфігурований у налаштуваннях системи, аналогічно має бути вказана і IP-адреса віддаленого вузла.

Для прийому та передачі даних доцільно застосувати DMA-контролер, що не потребує використання процесорного часу.

Враховуючи вищесказане, була побудована система (рисунок 3), що складається з мікроконтролера STM32F107, трансивера фізичного рівня для Ethernet DP8348 та трансивера RS485 – SN65HVD10D.

Така конфігурація забезпечує передачу даних в мережах RS485 до 4.5Мбіт/сек [10] та до 100Мбіт/сек в Ethernet [11]. Зважаючи на те, що мікроконтролер STM32F107 має вбудовану підтримку інтерфейсу USB [10], розроблена система дає можливість на практиці порівняти Ethernet та USB, або і організувати взаємодію цих інтерфейсів, наприклад, реалізувавши USB-Ethernet адаптер.

Програмне забезпечення даної системи складається зі стеку TCP/IP та модуля роботи з Modbus-RTU, що обробляє та формує таймінги (інтервали тиші) протоколу. Для прийому та передачі даних використовується DMA. Окрім цього, на окремому UDP порту реалізовано клієнт Modbus-TCP для налаштування самої системи.

Висновки. У ході даної роботи було розроблено та реалізовано програмно-апаратний комплекс перетворювача інтерфейсів RS-485 / Ethernet. Дана система застосовувалась на практиці для зчитування даних із декількох тензOMETричних сенсорів поєднаних в мережу RS-485, швидкість передачі даних становила 2Мб/с. Окрім цього, розроблена система може бути використана для

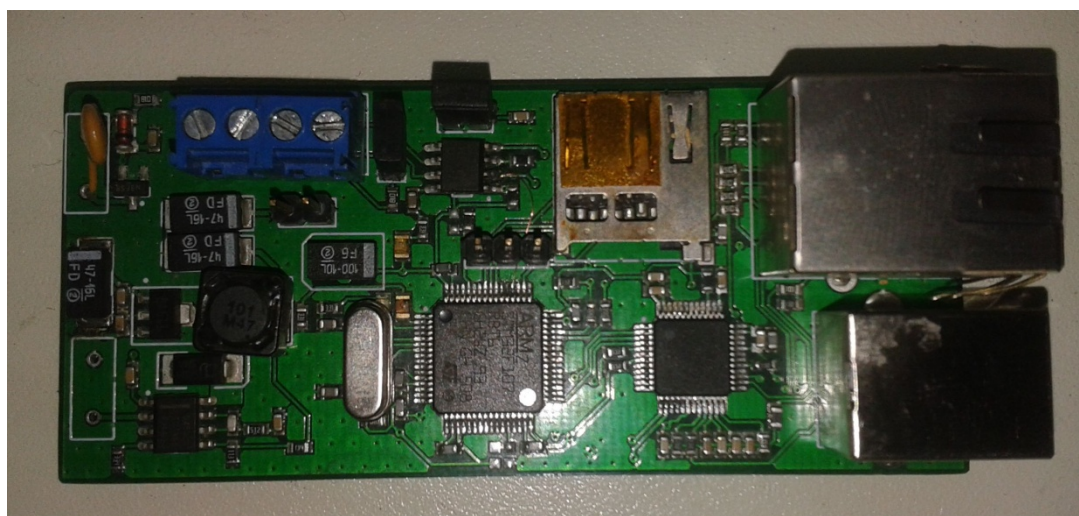


Рис. 3. Розроблена система

поєднання декількох віддалених пристроїв з інтерфейсом RS-485 чи їх мереж із застосуванням локальної мережі Ethernet або через Інтернет. Наявність USB-порту та роз'єму для карт пам'яті надають широкі можливості для відпрацювання різноманітного програмного забезпечення та поєднання інтерфейсів передачі даних. Основні напрямки подальшого розвитку розробленої системи полягають, у першу чергу, в покращенні програмного забезпечення та збільшенні його функ-

ціоналу. Зокрема, основні можливості, які можуть бути впроваджені програмним шляхом (без змін апаратної частини): додавання користувацького web-інтерфейсу для налаштування та керування системою, система автоматичного оновлення програмного забезпечення, що не потребуватиме від користувача додаткового обладнання (наприклад, програматора), а також покращення системою підтримки прикладних протоколів та збільшення кількості підтримуваних протоколів.

Список літератури:

1. Manivannan M., Kumaresan N. Design of on-line interactive data acquisition and control system for embedded real time applications. Emerging Trends in Electrical and Computer Technology (ICETECT), 2011 International Conference on. IEEE. 2011. P. 551-556.
2. Jignesh G., Verma H. K. RS-485/MODBUS based intelligent building automation system using LabVIEW. 4th International Conference on Computer Applications in Electrical Engineering-Recent Advances (CERA-09). IT Roorkee. 2010. P. 14-18.
3. Jinsoo H. Smart home energy management system including renewable energy based on ZigBee and PLC. IEEE Transactions on Consumer Electronics. 2014. P. 84-88.
4. Котунов В.О. Мінімальний TCP/IP стек для Embedded застосувань. Молодий вчений. 2017. № 10(50). С. 64.
5. Plummer D. An Ethernet Address Resolution Protocol or Converting Network Protocol Addresses to 48 bit Ethernet Address for Transmission on Ethernet Hardware. Network Working Group. 1982.
6. RFC 791. Internet protocol. Internet standard. 1981.
7. Clark M.P. Data Networks IP and the Internet, 1st ed. West Sussex, England: John Wiley & Sons Ltd. 2003. 484 p.
8. Postel J. RFC 792. Internet Control Message Protocol. Internet standard. 1981.
9. Postel J. RFC 768: User Datagram Protocol. Internet Engineering Task Force. 1980.
10. STM32F4 Series URL: <http://www.st.com/en/microcontrollers/stm32f4-series.html> (дата звернення 04.04.2018).
11. DP83848-HT URL: <http://www.ti.com/product/DP83848-HT> (дата звернення 04.04.2018).

РЕАЛИЗАЦИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО МОСТА МЕЖДУ СЕТЯМИ RS-485 И ETHERNET

В статье рассматривается проблема подключения устройств под управлением операционных систем семейства Windows и Linux к высокоскоростным сетям RS-485. Предложено решение данной проблемы путем создания моста и подключения через сеть Ethernet. Описаны программно-аппаратные средства преобразователя интерфейсов RS-485 / Ethernet и способы оптимизации для достижения максимального быстродействия. Приведены особенности реализации для различных применений и прикладных протоколов.

Ключевые слова: RS-485, Ethernet, межсетевой мост, преобразование интерфейсов, встраиваемые системы, Embedded-системы, STM32.

IMPLEMENTATION OF HIGH-SPEED NETWORK BRIDGE BETWEEN RS-485 AND ETHERNET

The article examines the problem of connecting devices running Windows and Linux operating systems to high-speed RS-485 networks. The solution of this problem is proposed by creating a bridge and connecting via Ethernet network. The software-hardware of RS-485 / Ethernet interfaces converter and methods of optimization for reaching maximum speed are described. The peculiarities of implementation for various applications and application protocols are described.

Key words: RS-485, Ethernet, interconnect bridge.

Лобов В.Й.

ДВНЗ «Криворізький національний університет»

Куменко С.О.

ДВНЗ «Криворізький національний університет»

ГАЗОПОВІТРЯНА ЕНЕРГЕТИЧНА УСТАНОВКА

Створено газоповітряну енергетичну установку, яка дозволяє отримувати електроенергію від кінетичної енергії газоповітряного потоку, що видувається робочим механізмом. За допомогою лабораторної установки показано реальну можливість перетворювати газоповітряний потік енергії в електричну, накопичувати її та використовувати для споживання.

Ключові слова: енергоефективність, автоматизація, робочий механізм, альтернативна енергія, газоповітряна енергетична установка.

Постановка проблеми. В умовах постійного зростання дефіциту та постійного підняття вартості на електроенергію використання альтернативних видів енергії є одним із напрямків забезпечення екологічної та енергетичної безпеки. В останні роки у світі спостерігається стійке зацікавлення проблемами використання альтернативних видів енергії, в тому числі електричної. Енергетика знаходиться на важливому місці у використанні на підприємствах. Від неї в рішучій мірі залежать економічні показники підприємства: приводить до зниження собівартості продукції, що виробляється на підприємстві.

Очевидно, що темпи використання енергії в майбутньому не зупиняться, а навіть збільшуються. А ціни на електроенергію постійно зростають. У зв'язку із цим багато фахівців вважають не вигідність використання «старих» енергетичних систем. Зараз особливо важливим є питання створення на підприємствах нових джерел енергії. Одним із варіантів економії електроенергії є використання кінетичної енергії відпрацьованих, вивільнених або видуваних газоповітряних потоків технологічного тракту промислових механізмів. Ці потоки перетворюються в електричну енергію за допомогою газоповітряної енергетичної установки (ГПЕУ), яка дозволяє її накопичувати і подальше використовувати електричну енергію підприємством у власних потребах. До таких робочих механізмів відносяться вентилятори, димососи, повітронаддувки та інші, які входять до складу систем кондиціонування, вентиляції тощо. Принцип роботи ГПЕУ полягає в наступному: повітряний потік вентилятора подається на лопаті

гвинта, який механічно пов'язаний з генератором, що, обертаючись, виробляє електричну енергію у вигляді постійного або змінного струму.

Сучасні ГПЕУ, як показують результати дослідження, потребують удосконалення відповідно з науковими і практичними задачами та обґрунтування необхідності реалізації на сучасній елементній базі з використанням силових напівпровідникових елементів, мікроконтролерів, мікросхем середньої ступені інтеграції та великих інтегральних схем. Розробка сучасних ГПЕУ відповідає енергетичній стратегії України на період до 2035 року [1; 2], тому тема статті є актуальною і має наукове і практичне значення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Як показує аналіз науково-технічної і патентної літератури, кількість досліджень, присвячених використанню енергії вітру, збільшується [3; 4]. Інші дослідження спрямовані на зниження непродуктивних витрат електроенергії побутовими і виробничими споживачами [5; 6]. На підприємствах для зниження собівартості продукту на виробництві та зменшення витрат на електроенергію використовують альтернативні способи виробництва електроенергії [7; 8]. Вітроенергетичні пристрої (ВЕП) випускають не тільки в США і Данії, але і Великій Британії, Канаді, Японії і деяких інших країнах [9]. Відомі вітроенергетичні пристрої з використанням генетичних алгоритмів [10]. Як показують результати досліджень, енергії вітру змінюється протягом доби, так і впродовж місяця і сезону року [11; 12], тому вона має низку ефективність для використання у ВЕП, проте промислові механізми мають на виході

технологічного тракту стабільний достатньо ефективний газоповітряний потік, який можливо використовувати для отримання електроенергії [13; 14]. Деякі дослідження спрямовані на підвищення ефективності [15] і вдосконалення конструкцій та систем управління ВЕП [15].

Постановка завдання. Розробка та дослідження роботи загальнопромислової ГПЕУ, що працює від газоповітряного потоку, що вивільнюється або видувається з технологічного тракту під час роботи технологічного механізму з отриманням максимальної виробленої електричної енергії. Для досягнення мети вирішувалися такі задачі:

- визначити шляхи досягнення максимальної енергоефективності газоповітряних потоків під час виходу з технологічного тракту і сформулювати основні технічні вимоги, що пред'являються до ГПЕУ;

- розробити ГПЕУ з контролером і перевірити її роботу, використовуючи лабораторну установку.

Викладення матеріалу та результати досліджень. Спосіб отримання електроенергії включає: формування потоку газоповітряного потоку за рахунок роботи вентилятора робочого механізму, який живиться напругою від електричної мережі, вплив потоку на гвинт, кінематично пов'язаний із ротором генератора, перетворення механічної енергії обертання гвинта вентилятора в електричну енергію.

Для формування газоповітряного потоку використовують технологічний тракт робочого механізму, всередині якого розміщений гвинт вентилятора. На виході технологічного тракту встановлено гвинт генератора, який здійснює вироблення електричної енергії за умови досягнення в технологічному тракті оптимального тиску потоку.

Реалізація способу отримання електроенергії виконується за допомогою ГПЕУ. Принцип роботи запропонованої ГПЕУ пояснюється кресленням, яке ілюструє запропонований спосіб. На рис. 1 зображено наступне: 1 – технологічний тракт, 2 – ГПЕУ.

Технологічний тракт 1 може мати газовий котел, шахтний або іншого типу вентилятор, димосос, котлоагрегат тощо. Через технологічний тракт 1 відсмоктуються димові гази та повітря із топок – продукти згоряння палива, або видувається по повітроводу стисле повітря, призначене для застосування в теплоенергетиці, промисловості або для протипожежних заходів, а також різних галузей народного господарства для переміщення чистого або газонасиченого повітря.

У технологічному тракті 1 використовуються: 3 – електродвигун, 4 – вентилятор і 5 – газоповітряний потік. Швидкість обертання вентилятора 4 контролюється датчиком 6, а температура нагріву електродвигуна 3 датчиком 7. Електро-

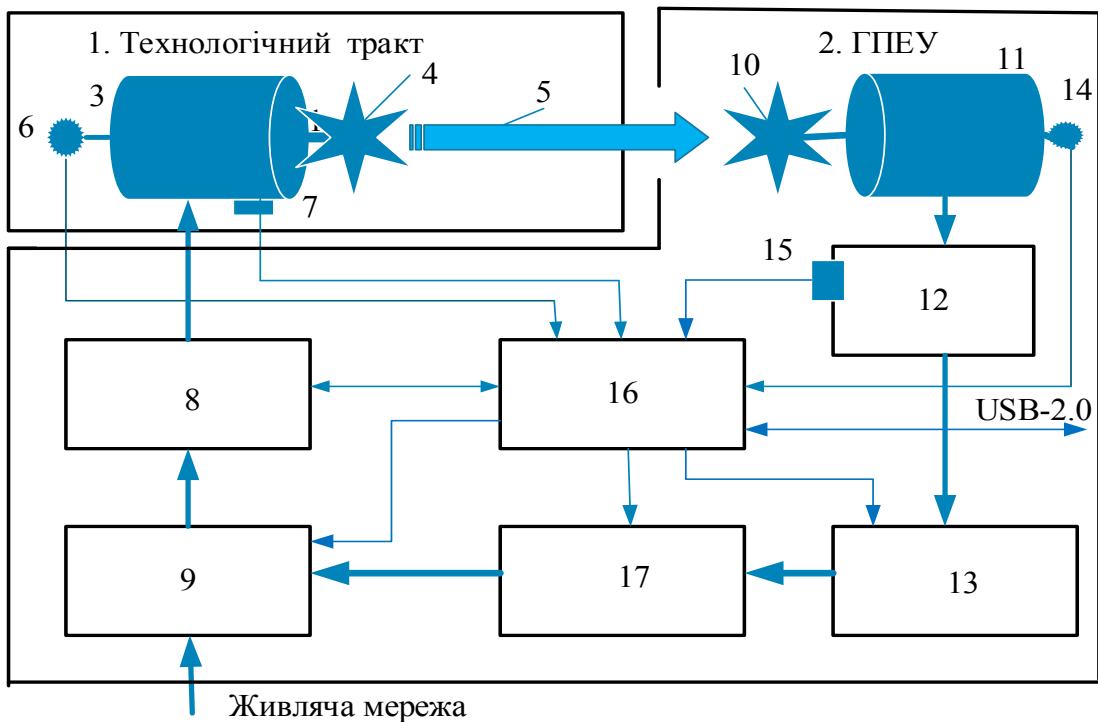


Рис. 1. Блок-схема технологічний тракт і ГПЕУ

двигуном 3 керує перетворювач частоти 8, який живиться від мережі. До складу ГПЕУ входять гвинт 10 із пристроєм для зміни кута атаки лопатей, що сам встановлюється під дією газоповітряного потоку. Гвинт 10 кінематичне з'єднаний з валом ротора генератора 11. Під дією кінетичної енергії обертається ротор генератора 11, на виході якого з'являється електроенергія. Отримана електроенергія генератора заряджає акумулятор 12, постійна напруга якого за допомогою інвертора 13 перетворюється на змінну з частотою живлячої мережі. Швидкість обертання гвинта 10 генератора 11 контролюється датчиком 14, а величина напруги на виводах акумулятора 12 датчиком 15. На контролер 16 подається інформація з датчиків: швидкості обертання 6 вентилятора 4, температури 7 нагріву електродвигуна 3 і швидкості 14 обертання гвинта 10 і контролю напруги 15 на акумуляторі 12, а також інформація з перетворювача частоти 8. Змінна напруга з виходу інвертора 13 через перший комутатор 17 повертається у живлячу мережу, використовуючи другий комутатор 9 при наявності на його вході управляючого сигналу від контролера 16.

Інформацію від датчиків 3 і 4 дозволяє контролеру 16 формувати сигнали управління для перетворювача частоти 8 для забезпечення:

1) пуску та регулювання швидкості в широких межах роботи електродвигуна 3 вентилятора 4 технологічного тракту 1;

2) ненаголошеного пуску електродвигуна 3 вентилятора 4 для зменшення зносу механічних частин механізмів технологічного тракту 1;

3) номінального моменту електродвигуна 3 вентилятора 4 вже при низьких швидкостях;

4) управління комутатором 16.

Комутатори 9 і 17 можуть бути виконаними на релейно-контактних або безконтактних елементах, наприклад на тиристорних ключах. Кожний із них призначений для безпосередньої подачі напруги із живлячої мережі на перетворювач частоти 8 і повернення, виробленої генератором 11, накопиченої в акумуляторі 12 і перетвореної в змінну напругу інвертором 13 у живлячу мережу. Гвинт 10 генератора 11 має пристрій для зміни кута атаки лопатей, що самі встановлюються, побудований на основі використання до напрямку потоку середовища, що набігає. Під кутом атаки лопатей гвинта 10 маємо на увазі кут між напрямком швидкості набігаючого на лопатку газоповітряного потоку і характерним поздовжнім напрямком, обраним на тілі лопатки. Лопать (крило) змінює кут атаки під дією напрямку набігаючого потоку

середовища. Воно встановлене на рухомій конструкції з можливістю обертання навколо власної осі, що містить пристрій зміни кута атаки крила шляхом повороту його осі за допомогою впливу на нього через кінематичний зв'язок закрилка. Такий закрилок встановлений на задній кромці крила з можливістю повороту, відмінне тим, що пристрій зміни кута атаки являє собою вісь, один кінець якої розташований всередині закрилка між двома пластинами і загнутий під кутом 120-135° із можливістю переміщення між даними пластинами. Вісь виконана такою, що обертається, а її другий кінець розташований всередині крила і кінематичне пов'язаний із рухомою конструкцією з можливістю напружено-пружного поворотного повороту при перевищенні робочого моменту обертання осі.

Генератор 11 -1) запускається робочий механізм, наприклад, газовий котел;

2) згорає пальне, нагрівається вода та з'являються залишки пального, що не згоріло, повітря, чадний газ, водень, сажа, тощо видаляються з камери згорання через технологічний тракт 1;

3) включається вентилятор 3, що встановлений у технологічному тракту 1 і залишки пального, що не згоріло, повітря, чадний газ, водень, сажа, тощо направляються в технологічний тракт 1 для видалення газоповітряного потоку;

4) сформований потік попадає на лопатки, які обертаються і приводить у дію гвинт 10 генератора 11, в якому пристрій автоматично встановлює кут атаки лопатей, на основі використання до напрямку потоку середовища, що набігає.

5) обертаючись гвинт 10 одночасно обертає ротор генератора 11;

6) генератор 11 виробляє електроенергію, наприклад, постійного струму;

7) отримана електроенергія заряджає акумулятор 12 до номінального значення, величина якої контролюється датчиком напруги 15;

8) швидкість вентилятора 4 і обертання гвинта 10 генератора 11 контролюють відповідно датчики 6 і 14;

9) виміряні дані датчиків 6, 7, 14 і 15 зрівнюються у контролері 16 із раніше заданими параметрами та при досягненні потрібної величини постійної напруги на виводах акумулятора 12 контролер 16 подає імпульсні сигнали на комутатори 9 і 17, які включають ГПЕУ до живлячої мережі або її відключають при відхиленнях від заданих параметрів.

Перевірка працездатності розроблених алгоритмів управління ГПЕУ і програмного забез-

печення на їх основі виконано на лабораторній установці з використанням технології SCADA системи. Для реалізації цієї технології використано програмне середовище LabVIEW і розроблено спеціальне програмне забезпечення, яке встановлено на ЕОМ. Як видно з рис. 1, підключення ГПЕУ до ЕОМ здійснюється за допомогою контролера 16 через порт USB 2.0, який визначається як COM-порт у середовищі LabVIEW.

У технологічному тракті 1 лабораторної установки використаний вентилятор 4 типу DeepCool GS120 з електродвигуном 3 постійного струму, що має: постійні магніти типу RK-370ca-11490, напругу живлення 24 В, струм живлення 350 мА і швидкість обертання валу 4000 об/хв. Повітряний потік 5 нагнітається вентилятором 4 у технологічний тракт 1 діаметром 110 мм. Гвинт 10 генератора 11 встановлений на виході технологічного тракту 1 у полі дії найбільшого повітряного потоку 5, який видувається вентилятором 4. Вироблення електричної енергії виконується генератором 11 постійного струму з постійними магнітами типу RS-545ph із робочим діапазоном від 32 до 42 В, струмом 0,04 А і швидкістю 3940 рад/ хв.

У процесі роботи вентилятора 4 зарядження акумулятора 12 від генератора 11 виконується до рівня напруги, яка визначається датчиком 15. Контролер 16 керує роботою комутаторів 9 і 17, які реалізовані на MOSFET транзисторах типу FQP50N06. Навантаженням на акумулятор 12, при достатньому рівні напруги на його виводах, є інвертор 13, який перетворює постійну напругу в змінну з частотою живлячої мережі. Отримана змінна напруга інвертора 13 через комутатори 9 і 17 повертається у живлячу мережу.

Працездатність ГПЕУ підтверджується експериментальними осцилограмами, отриманих за допомогою SCADA системи. Отримані осцилограми наведені на рис. 2. На них надано напруги на генераторі 11 і акумуляторі 12, швидкість ротора вентилятора 3 і гвинта 10 генератора 11, а також додатково зняті параметри напруги і струму електродвигуна 3. Осцилограми отримані в реальному часі в діапазоні від 160 до 2240 с.

Висновки. Використання енергії відпрацьованих робочим механізмом вентиляційних газоповітряних потоків із перетворенням цих потоків у електроенергію є реальна можливість генерувати

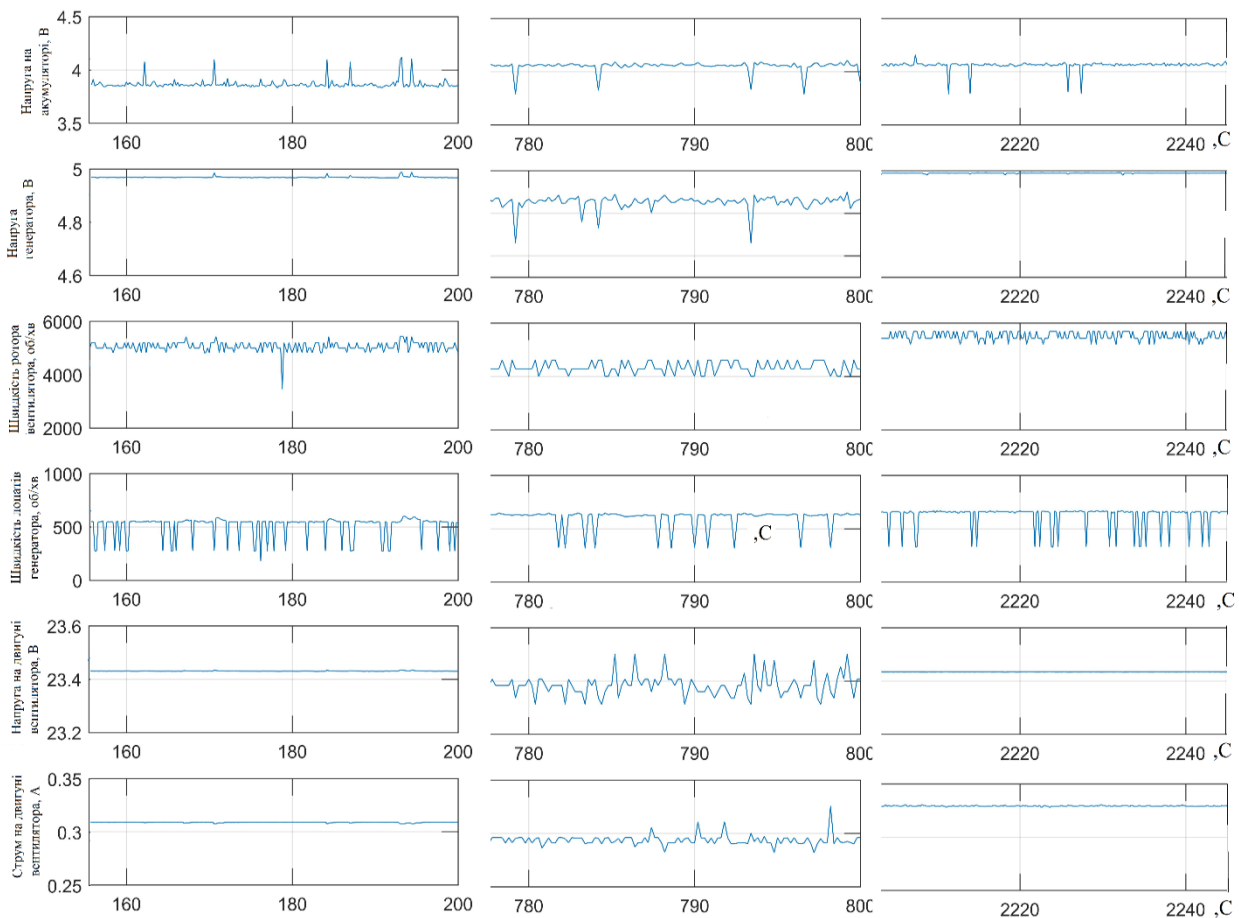


Рис. 2. Осцилограми роботи ГПЕУ

і використовувати додаткову електричну енергію для власних потреб підприємства. У результаті проведених експериментальних досліджень встановлено, що запропонований спосіб, який реалізований за допомогою ГПЕУ, дозволяє зменшити споживання з живлячої мережі до 20% кількості електроенергії, витраченої робочим механізмом (вентилятором) (рис. 2).

Це здійснюється за рахунок повернутої в живлячу мережу виробленої електроенергії генератором, який використав кінетичну енергію потоку відпрацьованої робочим механізмом маси газ/повітря.

Розроблений спосіб управління вихідною напругою генератора з постійними магнітами в складі ГПЕУ за рахунок постійно діючого газоповітряного потоку додатково підвищує продуктивність роботи ГПЕУ. Проте залежить від розташування гвинта генератора в полі дії газоповітряного потоку. При цьому плавне регулювання значень вихідної напруги та її частоти автоматизо-

вана система керування буде відчувати у випадку найменших змін швидкості потоків або величини навантаження.

Встановлено, що кінетична енергія постійно діючого відпрацьованого газоповітряного потоку і величина вихідної напруги прямо пропорційно залежить від швидкості обертання вентилятора, який працює на технологічний тракт. У ході досліджень, які проводилися на лабораторній установці виявили, що втрати повітряного потоку складають від 0.8 до 1.0 м/с у залежності від статичного тиску в робочій зоні. На продуктивність газоповітряної енергетичної установки також впливають конструктивні особливості лопатей гвинта генератора

Розробка і створення газоповітряної енергетичної установки дозволить здійснювати автономне живлення низки електроспоживачів, які знаходяться на підприємстві, зменшити витрати електроенергії, що дозволить підвищити ККД робочого механізму і зменшити собівартість виробленої продукції.

Список літератури:

1. Енергетична стратегія України на період до 2035 року. зб. / Енергетична стратегія України як інструмент політики енергетичної безпеки. Київ, 2014. С. 89–167.
2. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність», схвалена розпорядженням Уряду від 18 серпня 2017 р. № 605-р. URL: <http://195.78.68.67/minugol/doccatalog/document?id=245234103> (дата звернення: 09.02.2018).
3. Горелов Д.Н. Аэродинамика ветроколес с вертикальной осью вращения. Омск, 2012. 68 с.
4. Щур І.З. Енергетична ефективність різних способів відбору потужності від синхронного генератора з постійними магнітами у вітроенергоустановці. Львів, 2009. С. 272–277.
5. Климко В. Алгоритм роботи комбінованої автономно-мережевої системи електроживлення окремого об'єкта. Львів, 2013. 86 с.
6. Твайделл Д., Уэйр А., Пер С. Возобновляемые источники энергии Москва, 1990. 392 с.
7. Сінчук О.М., Бойко С.М. Автономна вітроенергетичної установки для підземних гірничих виробок залізорудних. Вінниця, 2014. 72 с.
8. Лобов В.Й., Лобова К.В., Даць А.В. Управление газоповітряною енергетичною установкою промислового підприємства. 2018. № 2 (2017). С. 84-95. DOI: 10.15588/1607-6761-2017-2-9.
9. Rodrigo, T.P., Silvio, F.R., Edwin, W., Ricardo, S., Pavol, B., Jan, P. Operation and Power Flow Control of Multi-Terminal DC Networks for Grid Integration of Offshore Wind Farms Using Genetic Algorithms. *Energies*, 6, 1–26. DOI: 10.3390/en6010001/.
10. EU Directive 2001/77/EC on the promotion of the electricity produced from renewable energy source in the internal electricity market. URL: http://europa.eu.int/comm/energy/res/legislation/electricity_en.htm. (дата звернення: 10.02.18).
11. Мацкевич П. Використання енергії вітру. ЕКОінформ. 2011. № 5. С. 36.
12. Соколовський Ю.Б., Соколовський А.Ю., Лимонов Л.Г. Повышение эффективности ветровых энергетических установок. Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. 2014. № 9. С. 28–37.
13. Спосіб отримання електроенергії: пат. 01891 Україна: МПК (2017.01), F03B 13/00. № 119020. заявл. 27.02.17 опубл. 11.09.17, Бюл. № 17.
14. Сінчук О. М., Бойко С.М. Автономна вітроенергетичної установки для підземних гірничих виробок залізорудних шахт. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2014. № 1. С. 70.
15. Кузьо І.В., Корендій В.М. Обґрунтування розвитку вітроенергетичних установок малої та надмалої потужності. Вісник Нац. ун-ту «Львів. Політехніка». Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль в машинобудуванні та приладобудуванні. 2010. № 679. С. 61–67.

ГАЗОВОЗДУШНАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА

Создана газозвоздушная энергетическая установка, которая позволяет получать электроэнергию от кинетической энергии газозвоздушной потока, выдуваемой рабочим механизмом. С помощью лабораторной установки показана реальная возможность преобразования газозвоздушного потока в электрическую энергию, накопления ее и использования для потребления.

Ключевые слова: энергоэффективность, автоматизация, рабочий механизм, альтернативная энергия, газозвоздушная энергетическая установка.

GAS SUPPLY ENERGY INSTALLATION

A gas-air power plant been created that allows receiving electricity from the kinetic energy of the gas-air flow blown by the working mechanism. With the help of a laboratory facility, a real opportunity is shown for converting gas-air flow into electric energy, accumulate it and use it for consumption.

Key words: energy efficiency, automation, working mechanism, alternative energy, gas-air power plant.

Медушевський С.В.

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

ПРАКТИЧНИЙ ПРИКЛАД ПІДХОДУ ДО ВАЛІДАЦІЇ АВТОМАТИЗОВАНИХ ЛАБОРАТОРНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

У статті проведено критичний аналіз існуючих науково-практичних публікацій із розроблення і впровадження автоматизованих лабораторних інформаційних систем (LIMS). Розглянуто фізичний макет і архітектуру потоку даних LIMS, проаналізовано функціональні можливості системи. Визначено фази валідації і відповідна їм проектна діяльність. Наведено приклади змісту протоколів тестування стадії кваліфікації інсталяції та стадії функціонування. Визначено особливості протоколу стадії експлуатації. Зроблено висновок, що запропонований уніфікований підхід можна застосувати до валідації LIMS, яка буде відповідати очікуванням регулюючих органів.

Ключові слова: валідація, інформаційна система, проект, тестування, якість, GMP, LIMS.

Постановка проблеми. Для розроблення і реалізації обґрунтованих конструкторсько-технологічних рішень щодо забезпечення якості продукції на всіх етапах її життєвого циклу (далі – ЖЦ) необхідно мати щоденну актуальну інформацію з усіх технологічних параметрів [1]. Повинна бути забезпечена можливість оперативного аналізу всієї зібраної інформації. Таке завдання може бути вирішене тільки за наявності на підприємстві інтегрованої автоматизованої системи збирання та аналізу інформації про якість процесів і продукції на всіх етапах її ЖЦ. Оскільки система управління якістю (далі – СУЯ) тісно пов'язана з усією управлінською інфраструктурою підприємства, то для інформаційного забезпечення слід використовувати автоматизовані інформаційні системи. СУЯ повинна базуватися на інформаційній системі, що підтримує автоматизоване оброблення даних, документування процесів забезпечення якості на всіх стадіях ЖЦ виробу і автоматизованого управління цими процесами, даними і документацією. У цьому сенсі СУЯ стає невід'ємною частиною інтегрованої автоматизованої інформаційної системи (ІАСУ) [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для більшості виробничих компаній актуальні проблеми забезпечення випуску продукції стабільної якості й зниження відсотка браку і забезпечення відповідності виробництва міжнародним нормам належної виробничої практики Good Manufacturing Practice (далі – GMP) [3].

Для автоматизації лабораторної практики розробляються лабораторні інформаційні системи

LIMS (англ. Laboratory information management systems). Ці системи охоплюють весь спектр потреб лабораторно-дослідних комплексів і забезпечують інтеграцію даних і процесів лабораторії в загальне інформаційне середовище підприємства [4].

Науковцями [5; 6] представлено результати розроблення і впровадження лабораторної інформаційної системи контролю якості. Автор роботи [7] розкриває можливості інформаційних технологій, які спрямовані не тільки на рішення лабораторних й організаційно-методичних завдань діяльності сучасних лабораторій фармацевтичних виробництв, але і представляє розроблену інформаційну систему адміністратора, яка забезпечує управління окремими виробничими блоками. У роботах [8; 9; 10] авторами практично доведено, що інтеграція LIMS і інших зовнішніх інформаційних систем забезпечує значні переваги в бізнесі для будь-яких сучасних фармацевтичних виробництв.

Постановка завдання. Мета статті полягає у формуванні уніфікованого підходу до валідації автоматизованих лабораторних інформаційних систем, для забезпечення виконання вимог регуляторних органів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Системи управління лабораторною інформацією (LIMS) широко використовуються в лабораторіях фармацевтичних і суміжних галузей. LIMS зазвичай ґрунтується на технології клієнт-сервер, що підтримується реляційною системою управління базами даних (RDBMS) (Рис. 1). Вони можуть

використовуватися для управління і оброблення великої кількості електронних аналітичних даних у межах лабораторії або всієї компанії в цілому.

Упровадження LIMS у лабораторію заохочується керівниками лабораторій забезпечення якості (QA)/контролю якості (QC). Система забезпечує автоматизований, ефективний і нормативно-сумісний засіб оброблення електронних даних, отриманих у лабораторії. Потік даних у систему LIMS показаний на рис. 2.

Експериментальним шляхом доведено, що впровадження LIMS сприяє зменшенню ймовірності помилок через проблеми, що виникають у персоналу, що виконує повторювані заплановані завдання. У зв'язку із зростанням потреби в забезпеченні цілісності даних, забезпечення безпеки даних і перевірки LIMS на відповідність чинним

положенням і керівним принципами, LIMS стає предметом інтересу для багатьох фармацевтичних регуляторних органів.

Сучасний пакет LIMS може бути налаштований для задоволення потреб більшості лабораторних аналізів і обробки даних. Ця конфігурація складається з програмних модулів, призначених для забезпечення стандартних функцій (наприклад, вхід у систему, управління тестуванням, розподіл роботи, введення результатів, оброблення даних і звітність).

Успіх повної інтеграції LIMS у лабораторії частково залежить від надійності інтерфейсів між основним елементом LIMS і широким спектром аналітичних інструментів і системних інтерфейсів (наприклад, прості інструменти, зокрема пристрої, які створюють єдину точку даних, складні

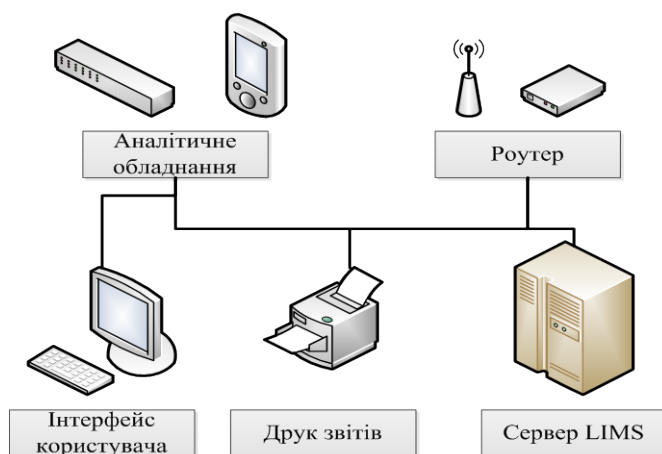


Рис. 1. Фізичний макет LIMS

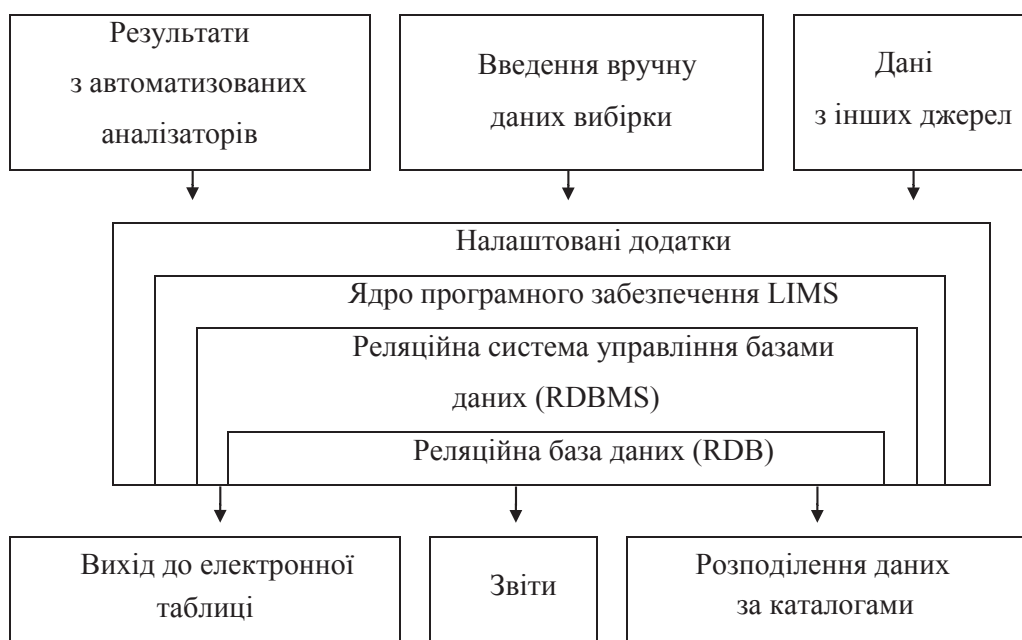


Рис. 2. База даних і потік даних LIMS

інструменти, що виробляють спектри або файли результатів, комп'ютерні системи, зокрема системи даних хроматографії і системи планування виробничих ресурсів MRP-II).

Валідація реалізації процесів і управління інформацією в лабораторії повинна управлятися згуртовано цілим, щоб гарантувати, що всі частини LIMS розроблені і підтверджені відповідними стандартами.

Типова LIMS має такі функціональні можливості, пов'язані з управлінням життєвим циклом проміжного/готового продукту:

- реєстрація зразків і відстеження надходження;
- призначення тестів для зразків;
- формування таблиць і графіків аналітиків;
- введення даних у режимі реального часу;
- взаємодія з аналітичним обладнанням;
- виконання визначених користувачем складних розрахунків;
- моніторинг результатів зі специфікації (OOS) з використанням запрограмованих користувачем граничних значень;
- огляд і звітність аналітичних результатів;
- порівняння результатів аналізу зі специфікацією;
- підтримання статусу зразка;
- аудиторський слід подій, пов'язаних із результатами.

Більшість сучасних LIMS – це налаштовані додатки, створені на основі стандартних модулів. На ранніх етапах валідації важливо визначити, що всі прикладні модулі були розроблені відповідно до нормативних стандартів якості. Якщо модулі не входять до стандартного продукту постачальника, необхідно підтвердити, що вони були розроблені з використанням стандартів якості постачальника. Якщо аналіз коду або аналіз проекту не були виконані, клієнту необхідно буде винести рішення щодо потенційного ризику (з урахуванням результатів оцінки GxP) і, за необхідності, задокументувати огляд коду.

Ускладнюючим фактором при валідації LIMS є широке розмаїття масштабів реалізації системи. LIMS може варіюватися від програми на базі персонального комп'ютера (ПК) в одній лабораторії до системи на основі клієнт-сервер, що працює на декількох серверах у корпоративній мережі із загальним доступом до серверів і декількома інтерфейсами для інших бізнес-систем.

Життєвий цикл валідації зазвичай ділиться на 11 основних етапів кваліфікації (табл. 1), вони виконуються під контролем валідаційного

майстер-плану [11]. Необхідно чітко продемонструвати, що функція забезпечення якості (QA) фармацевтичного виробника підтверджує підхід до валідації для впровадженої LIMS, як описано в плані валідації.

LIMS вважається формою автоматизованої системи, і тому визнається, що розроблення і впровадження LIMS має проводитися відповідно до певного життєвого циклу [12].

У таблиці 1 показаний взаємозв'язок між проектною діяльністю і процесом атестації, яка буде знаходитися під контролем плану валідації.

Через критичний характер даних, що зберігаються в базі LIMS, необхідно забезпечити цілісність. Сучасні технології дозволяють створювати дзеркала дисків для забезпечення того, щоб будь-які додавання і зміни бази даних (і отже, зміни в електронних записках) копіювалися в додаткові і, можливо, віддалені сховища.

Типові критичні елементи даних GxP містять: номер серії; номер предмета; термін придатності; ідентифікацію тестера; специфікацію матеріалу; номер зразка; приклад дати; час вибірки; стан зразка; методологію тестування; дні повторного тестування; результати тесту.

Специфікація вимог користувача (URS) – мета, яка полягає в зіставленні вимог клієнтів про те, як LIMS повинна працювати як в лабораторії, так і в корпоративному та виробничому середовищі.

Проектна документація складається з специфікації функціонального проектування (DS), щоб забезпечити огляд запропонованої LIMS із більш докладними специфікаціями для апаратного забезпечення, програмного забезпечення і конфігурації.

Увесь сенс застосування підходу життєвого циклу, як визначено в GAMP, полягає в забезпеченні структурованого підходу до розроблення і перевірки інтерфейсів LIMS і пов'язаних аналітичних пристроїв. Мета всіх заходів до впровадження LIMS полягає в тому, щоб точно оцінити й перевірити те, що система буде відповідати вимогам клієнтів, а також очікуванням регуляторних органів. У результаті цього процесу ретельне тестування може бути сфокусовано там, де це необхідно, тим самим зменшуючи загальний обсяг необхідного тестування.

Стратегія тестування. Тестування LIMS – це інтенсивна діяльність, яка виконується до випуску LIMS у виробниче середовище. Стратегія тестування показує те, які випробування необхідні для пом'якшення потенційного ризику збою LIMS, що впливає на пацієнта і/або бізнес, і для забезпечення

високого ступеня впевненості в тому, що LIMS буде постійно працювати відповідно до проекту.

Тестування зазвичай охоплює два основні аспекти:

– функціональність модуля і стрес-тестування, щоб продемонструвати те, що необхідна конфігурація LIMS була успішно реалізована для задоволення очікуваних результатів проектування;

Таблиця 1

Фази валідації і проектна діяльність

№	Фаза валідації	Проектна діяльність
1	Визначення вимог	Бізнес-вимоги і розроблення бізнес-кейсів
		Розроблення вимог користувачів (початкова)
		Планування проекту (планування якості постачальника)
		Оцінка GxP
2	Планування валідації	Визначення меж об'єкта валідації
		Розроблення специфікації вимог користувача (версія 1)
		Оцінка постачальників і вибір системи/інтегратора
		Оцінка електронних записів і електронного підпису
3	Розроблення й налаштування пакета LIMS	Розроблення функціональної специфікації
		Детальне проектування (специфікація проекту)
		Налаштування пакета LIMS
		Огляд конфігурації
4	Дизайн і код/ Індивідуальне програмне забезпечення	Огляд дизайну
		Розроблення функціональної специфікації
		Технічні характеристики програми
		Розроблення індивідуального програмного забезпечення
5	Передкваліфікаційна діяльність	Огляд вихідного коду
		Тестування користувачем
		Установлення апаратних засобів для виробничої системи (сервери, клієнтські ПК, периферійне обладнання)
		Установлення програмного забезпечення (операційної системи, стандартних програмних модулів й індивідуального програмного забезпечення)
6	Кваліфікація інсталяції	Впровадження інфраструктури (наприклад, мереж і зв'язку)
		Розроблення наборів тестових сценаріїв
		Перевірка правильності встановлення обладнання
		Перевірка установки програмного забезпечення
		Перевірка правильної установки мережевої інфраструктури
		Перевірка імпорту тестових даних
7	Кваліфікація функціонування	Перевірити наявність документації постачальника підтримки
		Перевірка середовища обладнання підходить із точки зору температури, вологості і електричних/магнітних перешкод
		Функціональне тестування
		Безпека
8	Випуск для експлуатації	Створення резервних копій та відновлення
		Перевірка безперервності роботи
		Перевірка перенесення статичних даних
9	Кваліфікація експлуатації	Перевірка системи підтримки (наприклад, довідкова служачи, управління інцидентами)
		Підтвердження для використання LIMS у виробничому середовищі
		Поточна перевірка функціональності
10	Звітність	Перевірка відповідності та ідентичності даних
		Моніторинг продуктивності
11	Використання	Звіт про валідацію
		Технічне обслуговування
		Моніторинг продуктивності
		Контроль змін
		Періодичний огляд

– інтеграційне тестування для перевірки успішності інтеграції/взаємодії LIMS з іншими системами.

У процесі тестування оформлюються відповідні документи (протоколи). Протокол кваліфікації інсталяції (IQ) охоплює все поєднане апаратне і програмне забезпечення в межах LIMS, а також середовище, в якому встановлені обладнання LIMS й інтерфейси, які, можливо, необхідно

контролювати з точки зору температури/вологості, електричних перешкод і т.д. Типовий вміст протоколу IQ показано в таблиці 2.

Тестування функціонування (OQ) є засобом для надання документальних доказів працездатності заявленої функціональності LIMS для незалежних частин LIMS до повної інтеграції. Рекомендується, щоб структура протоколу OQ відповідала структурі функціональної специ-

Таблиця 2

Приклад вмісту протоколу IQ

Об'єкт	Апаратні засоби	Програмне забезпечення
Версії програмного забезпечення для операційних систем, службового програмного забезпечення, прикладного програмного забезпечення	-	✓
Ліцензії на основне програмне забезпечення і багаторівневі програмні продукти	-	✓
Збирання операційної системи сервера	✓	-
Деталі апаратної платформи з унікальною ідентифікацією	✓	-
Маркування обладнання апаратної платформи	✓	-
Діагностика інтерфейсів аналітичного обладнання	✓	-
Мережева сумісність периферійних пристроїв	✓	✓
Тести Power-Up/Power-Down	✓	✓
Установлення служб (наприклад, блоки живлення)	✓	-
Установлення внутрішньої проводки і маркування кабелів для обслуговування	✓	-
Тестування середовища в приміщенні (температура, вологість, радіочастота, інтерференція, електромагнітні перешкоди)	✓	-
Мережеві підключення до LAN/WAN	✓	✓
Тестування доступу і безпеки	✓	✓

Таблиця 3

Приклад протоколу OQ

Об'єкт	Ядро LIMS	Індивідуальний код
Спеціальні функції конфігурації	✓	✓
Тестування розробленого на замовлення/конфігурованого ПЗ	✓	✓
Діагностика сигналів з інтерфейсу пов'язаного аналітичного обладнання	✓	✓
Спеціальні обчислення й алгоритми	✓	✓
Перевірка керівництва з експлуатації	✓	✓
Перевірка даних зразка і параметрів системи, тобто перевірка на відповідність вихідних записів для забезпечення точності даних	✓	✓
Створення резервних копій та відновлення даних	✓	✓
Навчання користувачів	✓	✓
Звичайні процедури обслуговування/калібрування	✓	✓
Надання угод про рівень обслуговування (SLA)	✓	✓
Перевірка міграції й даних	✓	✓
Перевірка цілісності даних (наприклад, перевірка діапазону, входів)	✓	✓
Тести драйверів зв'язку	✓	-
Структура бази даних	✓	-
Архівування та отримання документів і записів	✓	-
Призначені для користувача результати введення і відображення	✓	-
Генерація аналітичного звіту	✓	-
Перевірка аудиторського сліду	✓	-
Демонстрація функцій, що підтримують використання електронних записів і підписів	✓	-

фікації, щоб забезпечити принцип простежуваності. Типовий вміст протоколу OQ показано в таблиці 3.

На стадії кваліфікації експлуатації (PQ) документується, що інтегрована система й інтерфейси LIMS ефективно й відтворено використовують живі дані і взаємодіють із користувачем у виробничому середовищі.

Відповідно до нормативних вимог вважається, що при впровадженні LIMS, ручна система повинна працювати паралельно протягом певного періоду часу. Очікується, що цей період буде досить тривалим, щоб підтвердити те, що LIMS підходить для використання в автоматичному режимі.

Після завершення стадії PQ буде підготовлено звіт, у якому підсумовується безперервна робота LIMS на початковому періоді після запуску у виробничому середовищі. Очікується те, що протягом періоду PQ LIMS стабілізується з точки зору запитів користувачів, продуктивності системи і змін, реалізованих унаслідок процесу валідації.

Висновки. У результаті виконання критичного аналізу специфіки автоматизованої лабораторної інформаційної системи, розробленої та впровадженої на реальному фармацевтичному виробництві, сформовано єдиний уніфікований підхід до валідації LIMS із метою забезпечення виконання вимог регуляторних органів та забезпечення якості випущеної продукції.

Список літератури:

1. Соболев А.С., Вайтекунене Е.Л. Актуальность создания интегрированных систем управления на предприятии. Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2010. № 6. С. 441-442.
2. Сопов Р.А., Вайтекунене Е.Л. САПР (Системы автоматизации управления). Актуальные проблемы авиации и космонавтики. Информационные технологии. 2010. № 6. С. 442-443.
3. Буценин М.А., Козлов А.И., Матасов А.В. Способ автоматизации процесса контроля качества продукции химико-фармацевтических предприятий на примере производства твёрдых лекарственных форм. Успехи в химии и химической технологии. 2010. № 1 (106). С. 11-14.
4. Фролов А.П. Характеристики АСУ, влияющие на степень автоматизации. Вестник МГУП. 2011. № 1. С. 206-212.
5. Бутылин Е.В., Михайлова П.Г. Разработка лабораторной информационной системы контроля качества нефтепродуктов. Успехи в химии и химической технологии. 2011. № 1 (117). С. 61-66.
6. Андрюков Б.Г., Андрюков И.Б., Гельман Е.А., Ларичев В.Г., Логинова Т.В., Федосеева И.Н. Опыт создания и внедрения лабораторной информационной системы в практику клинико-диагностической лаборатории многопрофильного ведомственного лечебного учреждения. Здоровье. Медицинская экология. Наука. 2015. № 5. С. 62-68.
7. Золотарев П.Н. Информационные менеджмент-системы в лабораторной медицине. Информационный менеджмент. 2016. № 5. С. 47-54.
8. Софиев А. Э., Рылов М. А. Интеграция pi System и LabVIEW. Известия МГТУ. 2013. № 1(15). С. 155-160.
9. Хакимова А.К. Современные системы управления промышленным предприятием. Символ науки. 2016. № 5-1. С. 234-237.
10. Егорова О.С. Управление внедрением корпоративных информационных систем в организациях. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2010. № 4. С. 22-23.
11. Медушевський С. В., Єфіменко Н. А. Ключові елементи методики планування валідації, для забезпечення та контролю якості проекту розробки та впровадження автоматизованої інформаційної системи. Nauka i Studia. Технічні науки. 2017. № 19. С. 6-12.
12. Медушевський С. В., Єфіменко Н. А. Аналіз фаз життєвого циклу автоматизованої інформаційної системи в межах виконання валідаційних робіт. Вісник Черкаського державного технологічного університету. Технічні науки. 2016. № 3. С. 50-56.

ПРАКТИЧЕСКИЙ ПРИМЕР ПОДХОДА К ВАЛИДАЦИИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В статье проведен критический анализ существующих научно-практических публикаций по теме разработки и внедрения автоматизированных лабораторных информационных систем (LIMS). Рассмотрено физический макет и архитектуру потока данных LIMS, проанализированы функциональные возможности системы. Определены фазы валидации и соответствующая им проектная деятельность. Приведены примеры содержания протоколов тестирования стадии квалификации установки и стадии функционирования. Определено особенность протокола стадии эксплуатации. Сделан вывод, что предложенный унифицированный подход можно применить к валидации LIMS, которая будет соответствовать ожиданиям регулирующих органов.

Ключевые слова: валидация, информационная система, проект, тестирование, качество, GMP, LIMS.

PRACTICAL EXAMPLE OF THE APPROACH TO THE VALIDATION OF AUTOMATED LABORATORY INFORMATION SYSTEMS

The article analyzes the existing scientific and practical publications on the development and implementation of automated laboratory information systems (LIMS). The physical layout and architecture of the LIMS data flow are considered, and the functional capabilities of the system are analyzed. The phases of validation and the corresponding project activity are determined. The resulted examples of the contents of test protocols of the stage of qualification of the installation and the stage of functioning. The peculiarity of the operation stage protocol is determined. It is concluded that the proposed unified approach can be applied to LIMS validation, which will correspond to the expectations of regulatory bodies.

Key words: validation, information system, project, testing, quality, GMP, LIMS.

УДК 004.056.5

Миронець І.В.

Черкаський державний технологічний університет

Шкробтій А.В.

Черкаський державний технологічний університет

Борисенко В.А.

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

ТЕХНОЛОГІЯ БЛОКЧЕЙН: АНАЛІЗ ЗАГРОЗ ДЛЯ БЛОКЧЕЙН-СИСТЕМ ІЗ МЕХАНІЗМОМ ДОСЯГНЕННЯ КОНСЕНСУСУ

У статті аналізуються та досліджуються поняття криптовалюти та технології, на якій вона будується. Обґрунтовано важливість існування цієї валюти та описано можливості й переваги розглянутих технологій для подальших розвідок у цій галузі. Проаналізовано та висвітлено основні загрози для систем, побудованих на механізмі досягнення консенсусу. Отримано результати, покладені в основу розроблення методу покращення захисту криптовалютних транзакцій на основі вдосконалених блокчейнів.

Ключові слова: блокчейн, біткоїн, криптовалюта, транзакції, майнінг, атака 51%, атака Сібілли, «double-spending» (подвійні витрати).

Постановка проблеми. 2017 рік став переломним для технологій блокчейн і біткоїн. Спираючись на суху статистику, можна сказати, що динаміка зростання ціни на валюту за рік зросла у понад 10 разів. Грунтуючись на даних сайту *Coinspot*, можна побачити, що світова спільнота готова до переходу на нову сходинку валютних операцій в Інтернеті.

Проте за умов широкого використання новітніх технологій, основною проблемою пересічних користувачів Інтернету залишається неосвіченість у цьому питанні, а також недовіра до технології.

Блокчейн впроваджується не лише в економічному руслі, а й може стати плацдармом для формування «розумних» контрактів у будь-якій сфері діяльності. Як і всі технології, блокчейн не є досконалою на 100%, тому на неї можуть здійснюватися атаки, про які повинні знати користувачі.

Аналіз публікацій і досліджень. Щоб розібратися в поставленому питанні, потрібно визначити поняття, що стоїть за словом «блокчейн», «біткоїн» і «криптовалюта» загалом. У цих термінах легко заплутатися, тому що слова «біткоїн» і «блокчейн» можуть позначати будь-яку з трьох частин концепції: базову блокчейн-технологію,

протокол і клієнта. Крім того, ці терміни можуть застосовуватися для позначення концепції криптовалюти.

Біткоїн – це цифрова готівка. Це одночасно і цифрова валюта, і онлайн платіжна система, у якій технології шифрування забезпечують управління генерацією грошових одиниць і підтвердження переказу коштів, яка працює незалежно від державних центробанків [1, с.20].

Криптовалюта – це цифрова валюта, захищена за допомогою криптографічних технологій. Фізичного аналога у цих грошових одиниць немає, вони існують тільки у віртуальному просторі [2, с.4].

Блокчейн – це технологія надійного розподіленого зберігання записів про всі зроблені біткоїн-транзакції. Блокчейн є ланцюжком блоків даних, обсяг якого постійно зростає в міру додавання майнерами нових блоків із записами найостанніших транзакцій, які відбуваються кожні 10 хвилин.

Блоки записуються в блокчейн у лінійному послідовно-хронологічному порядку. На кожному повному вузлі (комп'ютері), підключеному до мережі біткоїнів за допомогою клієнта, який виконує перевірку і передання транзакцій, зберігається

копія блокчейна, яка автоматично завантажується, коли майнер приєднується до біткоїн-мережі.

У реєстрі зберігається повна інформація про всі адреси і баланси, починаючи з генезис-блоку, тобто найпершого блоку транзакцій, до останнього [3, с.33].

На рис. 1 можна побачити схему транзакції за участю технології блокчейн.

Блокчейн-технологія вважається головною інновацією біткоіну, тому що саме нею послуговуються тим, «що не вимагає довіри» (*trustless*) механізмом верифікації всіх транзакцій у мережі. Принципове нововведення блокчейна полягає в його архітектурі, що забезпечує можливості децентралізованих транзакцій, які не потребують довіри. Замість того, щоб встановлювати і підтримувати відносини довіри з партнером по транзакції (іншою людиною) або стороннім учасником-посередником (наприклад, банком), користувачі покладаються на загальнодоступну розподілену базу даних, яка зберігається на багатьох децентралізованих вузлах і підтримується «майнерами-бухгалтерами».

Блокчейн дозволяє позбутися від «довірих посередників» і повністю децентралізувати транзакції довільних типів між будь-якими учасниками в глобальному масштабі.

Технічно блокчейн-технологія є ще одним прикладним рівнем, вона постачає в Інтернет

абсолютно нову ланку підтримки економічних транзакцій: як моментальних грошових платежів в універсальній криптовалюти, так і більш складних і довготривалих фінансових контрактів.

У системі, схожій на блокчейн, можуть відбуватися транзакції з будь-якими валютами, фінансовими контрактами, матеріальними і нематеріальними активами. Більш того, блокчейн може застосовуватися не тільки для транзакцій, а й для фіксації, відстеження, моніторингу та здійснення операцій із будь-якими активами. Це величезна електронна таблиця для реєстрації всіх активів обліковою системою для виконання операцій із ними в глобальному масштабі без обмежень за формою активів, типом учасників або географічним положенням.

Постановка завдання. Основним завданням для проведення цього дослідження є аналіз технології блокчейнів і можливих атак на системи, побудовані на її основі.

Виклад основного матеріалу. Атака 51%. Щоб закріпити блок у ланцюжку, майнери вирішують обчислювально складне завдання. Той, хто знаходить відповідь першим, отримує право додати інформацію про транзакції користувачів у блокчейн. Розв'язувана обчислювальна задача не просто складна, а її відповідь повинна задовольняти певні умови. Тому малоімовірним є те, що два майнери знайдуть рішення блоку

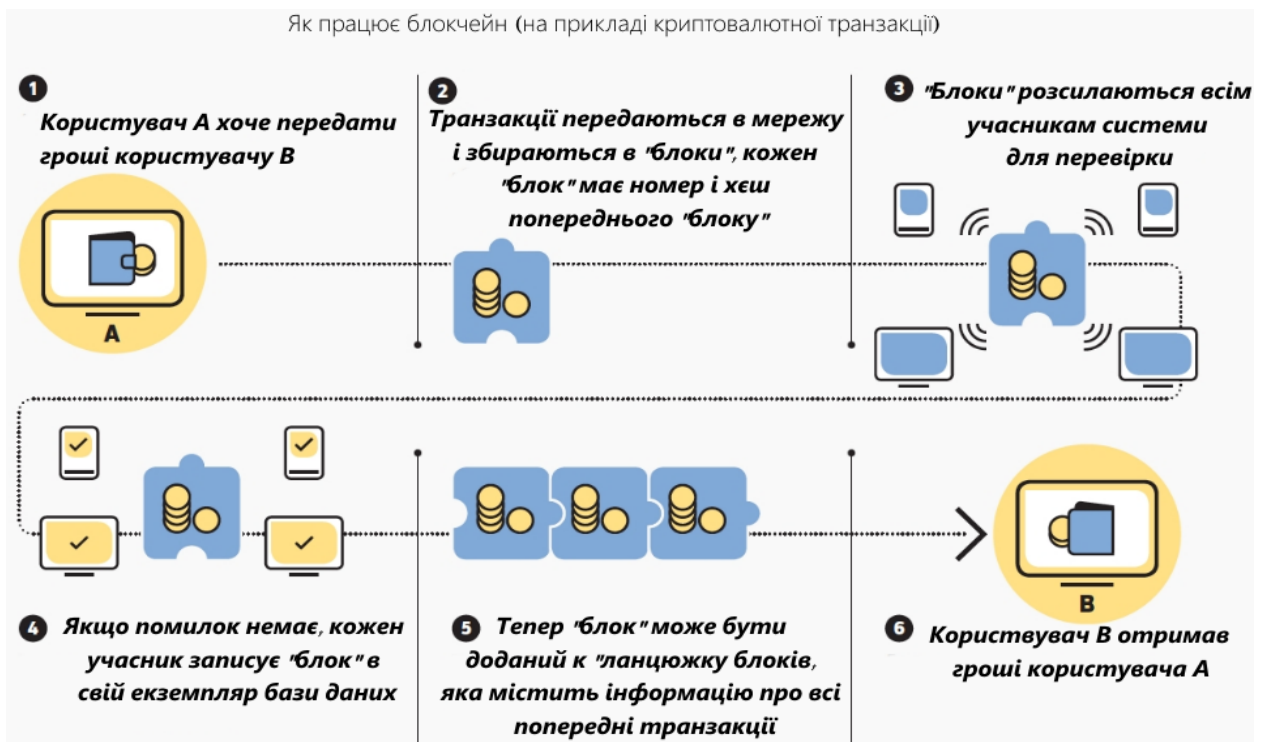


Рис. 1. Схема транзакції за участю технології блокчейн

одночасно. Але така ситуація можлива. У цьому випадку обидва учасники мережі засилають свої блоки в блокчейн, ланцюжок роздвоюється і тому виникає форк. Далі, товариство продовжує майнити і додавати нову інформацію до блокчейну. Кожен наступний майнер пов'язує блок із тим ланцюжком, який, на його думку, буде вважатися основним. Згодом стає зрозуміло, який ланцюг співтовариство визнало валідним – він обирається консенсусом.

Надалі дрібні форки забуваються й ігноруються, а будь-яка інформація, що додається до них підлягає повторному обробленню. Якщо один (або декілька) учасників мережі отримає більшу частину «голосів», то він зможе контролювати консенсус і вносити в блокчейн тільки свої дані. Проте навіть при отриманні переваги в один відсоток над іншою половиною спільноти, дуже складно змінити вже записану інформацію.

Зловмисник може лише добудувати блоки до потрібних йому гілок. Зазначимо, що реалізувати атаку можна і за менших потужностей (<50%), хоча ймовірність успіху за цих умов різко знижується.

Але ж є ще більш неприсмний сценарій: атакуючий може передумати і переписати всю історію генерації блоків, починаючи з деякого моменту в минулому. Як тільки зломщик заволодіє більшою частиною потужностей мережі, то це лише питання часу, коли він наздожене і пережене наступний ланцюжок. У результаті «хороша» транзакція може стати «поганою» і навпаки. Гроші, які ви отримали місяць тому, зникнуть із вашого гаманця і повернуться до їх власника. Таким чином, атакуючий може: «забороняти» включення окремих (або всіх) транзакцій у ланцюжок блоків, скасовувати старі транзакції (повертати гроші) і робити скасовані транзакції дійсними; атакуючий не може контролювати обіг грошей інших людей (перенаправляти або захоплювати транзакції) і перешкоджати обміну даними між вузлами мережі.

Атака Сібілли. Атака отримала свою назву на честь клінічного випадку, що описує жінку з дисоціативним розладом особистості. За аналогією з цим кейсом, атака Сібілли має на увазі ситуацію, коли один вузол у мережі набуває кілька сутностей. Такий тип атаки найбільш поширений у *p2p*-мережах [4].

Атакуючий намагається «оточити» вузол жертви, заволодіти сусідніми вузлами мережі. Отримавши доступ до вузлів, він контролює всі вхідні і вихідні дані, може передавати «жертві»

неправдиву інформацію або не давати їй передавати що-небудь у мережі. Крім того, атакуючий може ідентифікувати транзакції, відправлені вузлом жертви. Як правило, зробити це дуже складно: коди біткоіна й інших криптовалют написані так, що вузол обирає з'єднання з іншими вузлами практично випадково. Навіть у тому разі, коли зломщик контролює 80% усіх вузлів у мережі й нам потрібно встановити 8 випадкових вихідних з'єднань, ймовірність опинитися повністю оточеним становить всього $0,8^8 = 17\%$.

І все ж це можливо, якщо знати те, як працює алгоритм встановлення з'єднань, використовувати його слабкі місця. Вразливість полягає в тому, що при підключенні до мережі вузол не знає IP-адресу довірених вузлів і не має іншого вибору, окрім як запросити їх у довірених вузлів. Крім того, навіть якщо список довірених вузлів відомий заздалегідь, неможливо підтримувати з'єднання тільки з ними, адже це порушує принципи децентралізованої організації мережі. Якщо блокувати з'єднання з новими вузлами і заборонити їх додавання в список довірених вузлів, мережа буде працювати дуже неефективно (з топологічної точки зору).

Із технічної точки зору кожен вузол зберігає список усіх відомих IP-адрес інших вузлів. Із ними пов'язані такі дані: коли востаннє вузол був у мережі, скільки успішних з'єднань було встановлено з ним і т.д. За необхідності вузли діляться частинами цього списку зі своїми мережами, тим самим оновлюючи інформацію. На початку клієнт намагається розширити своє коло контактів, підключаючись як до відомих вузлів, так і до тих, з якими ще не було з'єднань. Незважаючи на те, що процес носить випадковий характер, зломщик може зробити так, щоб журнал «жертви» містив майже лише адреси атакуючого.

Double-spending. Атака «double-spending» (подвійні витрати) – це атака, яка полягає в тому, що спочатку продавець переконується в тому, що транзакція на оплату була проведена, після чого він передає свій товар, а після отримання товару покупцем створюється нова транзакція, яка і приймається мережею *bitcoin*. У продавця не залишиться ні товару, ні грошей, тому що все буде у зловмисника. Проблема полягає в синхронізації: потрібний певний універсальний сигнал, який вказує, що деяка транзакція є кінцевою і жодних інших конфліктуючих транзакцій прийнято не буде.

Розробники *bitcoin* захищають систему, стверджуючи, що подібна атака вимагає дуже високих

обчислювальних ресурсів. Якщо зловмисник все ж має істотні обчислювальні ресурси, то атака можлива. Транзакція має n підтверджень, якщо вона включена в блок, який є частиною діючого ланцюжка, і існує n блоків, включаючи цей і всі наступні, що йдуть від нього. Уважається, що захистити транзакцію від double-spending може достатнє число таких підтверджень [5].

Атака муну «гонки» (Race Attack). Атакуючий здійснює транзакцію A , проводячи фінансову операцію. Одночасно він виконує транзакцію B , що переводить ці ж гроші на інший рахунок зловмисника. Якщо магазин не чекає грошей і відвантажує куплені товари, то йде на значний ризик: із ймовірністю 50% транзакція B може потрапити в ланцюжок блоків без будь-яких зусиль із боку зломщика. Що ще гірше, він може збільшити цю ймовірність, вибираючи вузли мережі для передавання тієї чи іншої транзакції.

Егоїстичний майнінг. Ця атака є розвитком попередніх сценаріїв подвійних витрат. У цьому разі метою є не просте шахрайство з фінансовими операціями, а й контроль над мережею за наявності менш ніж 50% потужностей. Усе починається з того, що пул, яким володіє зловмисник, заявляє, що «тут майнінг вигідніше, ніж в інших пулах». Майнери входять у пул і починають майнити, в результаті чого пул отримує 51% потужностей. Звичайно, кожен майнер розуміє, що, приєднуючись до великого пулу, він наражає на небезпеку систему, з якої отримує прибуток. Пул здійснює майнінг таємно і завжди прагне продовжити свій приватний ланцюжок. У певний момент часу останні блоки приватного і публічного ланцюжків можуть виявитися аналогічними, але таке трапляється дуже рідко.

Коли пул знаходить новий блок, який збільшує його приватний ланцюжок, то:

1) у разі, коли ланцюжок блоків на той момент розгалузився, то пул публікує свій власний блок і виграє гонку. Блок, знайдений чесним майнером, стає ізольованим, і їх робота виявляється марною.

2) якщо розгалуження немає, то пул залишає цей блок таємним і продовжує нарощувати свій ланцюжок (тим самим збільшуючи відрив).

Головною метою цієї атаки є порожня витрата ресурсів мережі. Таке трапляється щоразу, коли присутній хоча б один приватний блок: звичайна мережа не знає, що вона відстає, і майн-блоки, з великою ймовірністю, будуть ізольовані. Природно, що пул час від часу буде втрачати гроші, коли він не опублікує власний блок, який ізолюється після програшу.

Висновки. Під час проведення цього дослідження було розглянуто поняття «криптовалюта», «біткоїн» та «блокчейн». Проаналізовано та описано основні типи загроз для блокчейн-систем із механізмом досягнення консенсусу. Основними видами загроз або атак на такі системи є: атаки на обчислювальні потужності «Атака 51%» та «Егоїстичний майнінг», «Атака Сибілли», заснована на розгалуженні й підміні достовірної інформації, атака «double-spending», пов'язана з подвійними витратами фінансів користувача, а також «Атака типу «гонки».

Усі вищеперераховані атаки є суттєвими недоліками системи блокчейн, що лежить в основі багатьох криптовалютних транзакцій. Детальний аналіз таких вразливостей покладено в основу розроблення методу захисту криптовалютних операцій на основі вдосконалених блокчейнів, що є метою подальших досліджень.

Список літератури:

1. Блокчейн: Схема новой экономики. Мелани Свои: (перевод с английского). Москва: Издательство «Олимп-Бизнес», 2017. 240 с.
2. Феномен биткоина или все что нужно знать о цифровом золоте. Sirius crypto, 2017. 32 с.
3. Arvind Narayanan, Joseph Bonneau, Edward Felten, Andrew Miller, Steven Goldfeder. Bitcoin and Cryptocurrency Technologies: A Comprehensive Introduction. Draft. Feb 9, 2016, published by Princeton University Press.
4. Атаки в мире криптовалют. URL: <https://cryptor.net/bezopasnost/ataki-v-mire-kriptovalyut>. (дата звернення: 28.02.2018).
5. Атаки в мире криптовалют. URL: pingblockchain.com/ataki-v-sviti-kriptovaljut. (дата звернення: 06.03.2018).

ТЕХНОЛОГИЯ БЛОКЧЕЙН: АНАЛИЗ УГРОЗ ДЛЯ БЛОКЧЕЙН-СИСТЕМ С МЕХАНИЗМОМ ДОСТИЖЕНИЯ КОНСЕНСУСА

В статье анализируются и исследуются понятия криптовалюты и технологий, на которой она строится. Обоснована важность ее существования и описаны возможности и преимущества рассмотренных технологий для дальнейших разработок в данной области. Проанализированы и освещены основные угрозы для систем, построенных на механизме достижения консенсуса. Полученные результаты положены в основу разработки метода улучшения защиты криптовалютных транзакций на основе усовершенствованных блокчейнов.

Ключевые слова: блокчейн, биткоин, криптовалюта, транзакции, майнинг, атака 51%, атака Сибиллы, «double-spending» (двойные расходы).

BLOCKCHAIN TECHNOLOGY: THREAT ANALYSIS FOR BLOCKCHAIN-SYSTEM WITH CONSENSUS-BUILDING MECHANISM

The article analyzes and explores the concepts of crypto currency and technologies, on which it is built. The importance of its existence is substantiated and the possibilities and advantages of the considered technologies for further developments in this field are described. The main threats for systems built on the consensus mechanism are analyzed and highlighted. The obtained results are the basis for the development of a method for improving the protection of crypto-currency transactions based on advanced block systems.

Key words: blockchain, bitcoin, crypto currency, transactions, mining, 51% attack, Sybil attack, double-spending.

АРХІТЕКТУРА РОЗПОДІЛЕНОЇ БАГАТОРІВНЕВОЇ СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ ШКІДЛИВОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В ЛОКАЛЬНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖАХ

У статті запропоновано архітектуру розподіленої багаторівневої системи виявлення шкідливого програмного забезпечення в локальних комп'ютерних мережах, особливістю якої є синтез вимог розподіленості, децентралізованості, багаторівневості, та самоорганізованості, що, на відміну від відомих систем, дозволяє її використовувати автономно для виконання закладених функцій виявлення шкідливого програмного забезпечення. Крім того, програмні модулі системи представлено на основі структури Кріпке, особливістю якої є така самоорганізація, що дає змогу здійснювати обмін знаннями всередині системи, що, на відміну від відомих систем, дозволяє використовувати знання, отримані окремими частинами системи в інших частинах.

Ключові слова: архітектура, розподілена система, шкідливе програмне забезпечення, метаморфні віруси, структури Кріпке.

Постановка проблеми. Дослідження відомих програмних засобів виявлення нового шкідливого програмного забезпечення (далі – ШПЗ) вказують на недостатньо високий рівень достовірності виявлення [1]. Реалізація нових принципів, моделей та методів виявлення конкретних типів шкідливого програмного забезпечення шляхом створення відповідних інформаційних систем потребує подальшого розвитку, але досягнення підвищення достовірності виявлення нового та відомо ШПЗ, у якому застосовуються комбіновані технології зловмисного проникнення та поширення, можливе також за умови комбінованого використання нових та відомих методів виявлення.

Сучасне шкідливе програмне забезпечення – це складні багатофункційні програмні системи та комплекси, побудовані з використанням ефективних методів створення програмних засобів та методів поширення зловмисного коду. Її розроблено для використання в комп'ютерних мережах (наприклад, ботнет). Для організації ефективної протидії таким засобам важливим є розроблення системи виявлення ШПЗ, архітектура якої була б подібною до архітектури складного комплексу ШПЗ, але мала б більшу функціональність. Крім того, досягнення підвищення достовірності виявлення ШПЗ у межах тільки однієї комп'ютерної системи (далі – КС), яка має вихід у мережу Internet, може бути недостатнім для протидії

засобам ШПЗ, які представлені великим програмним комплексом, що розміщений у багатьох комп'ютерних системах у глобальній мережі. Тому підвищення достовірності виявлення ШПЗ можливе за рахунок залучення груп КС в порівнянні з однією КС. Такими групами можуть виступати КС локальних комп'ютерних мереж (ЛКМ). Тому важливим завданням є здійснення побудови таких ефективних систем для їх використання в локальних комп'ютерних мережах, де уможливується встановлення таких систем на усіх комп'ютерних системах мережі, а не локально. Це дозволить підвищити достовірність виявлення під час проведення аналізу зібраних типових даних із різних КС.

Для того, щоб ефективно застосовувати методи та засоби виявлення шкідливого програмного забезпечення, необхідно розробити систему, яка б містила достатню кількість реалізованих ефективних методів у вигляді відповідних підсистем, мала можливість до нарощування та враховувала б майбутні тенденції розвитку як антивірусних засобів, так і шкідливого програмного забезпечення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сьогодні значна увага приділяється проблемі виявлення ШПЗ, яка виявляється в порушенні роботи КС, викраденні персональних даних, втручання у роботу користувачів тощо. Для виявлення

та протидії ШПЗ розроблено низку систем та методів.

У роботі [2] запропоновано систему виявлення кібератак на основі залучення нейромережових імунних детекторів. Розроблена система складається з двох частин. Перша частина реалізована апаратно й працює постійно в режимі реального часу. Друга частина представлена програмним забезпеченням на виділеному комп'ютері, який використовується для аналізу поточних атак та створення відповідних засобів захисту. Прийняття рішення про можливий вплив ШПЗ здійснюється із залученням системи нейромережових детекторів, в основу якої закладено алгоритм Мамдані.

У роботі [3] представлено інтелектуальну адаптивну систему виявлення ШПЗ на основі інтеграції штучних імунних систем та штучних нейронних мереж. Така система працює за основними принципами штучної імунної системи, де імунні детектори представляють нейронну мережу і виявляють шкідливий шаблон за допомогою аналізу структури виконуваного коду. Запропонована система володіє функціями самоадаптивності та самонавчання, дозволяє здійснювати виявлення як відомих, так і нових видів ШПЗ.

Авторами роботи [4] запропоновано систему ідентифікації та класифікації для мережних кібератак. Для реалізації системи запропоновано використання комбінації різних методів штучного машинного навчання, зокрема нейронних мереж, імунної системи, нейрофізичних класифікаторів та метод опорних векторів. Особливістю запропонованої системи є багаторівневий аналіз мережевого трафіка, що дає можливість виявляти атаки методом підпису та комбінувати набір адаптивних детекторів на основі методів машинного навчання.

У роботі [5] запропоновано гібридну систему виявлення рідковживаних кібератак на основі використання штучних імунних систем та нечіткої кластеризації (FC-ANN). Спочатку FC-ANN розподіляє навчальні дані на декілька підгруп із використанням методів нечіткої кластеризації. Для отримання остаточних результатів визначається оцінка для кожного елемента зі сформованих підгруп та виконується їх поєднання з використанням штучної імунної системи.

Систему для виявлення веб-аномалій, що заснована на аналізі збережених на КС POST і GET запитів, представлено в роботі [6]. Авторами запропоновано файл реєстрації (log-файл) поведінки для визначення легітимних користувачьких сеансів. На основі файлу реєстрації здій-

снюється відбір ознак, що підлягають машинному навчанню. Для встановлення висновку про наявність веб-аномалії залучаються штучні імунні системи та нейронні мережі.

Проведений аналіз показав, що для виявлення ШПЗ відомі системи здійснюють аналіз мережного трафіка, файлів аудиту, пакетів, що передаються по мережі, перевіряють конфігурацію відкритих мережових сервісів. Для встановлення факту порушення роботи КС відомі системи використовують різні методи машинного навчання, зокрема нейронні мережі, штучні імунні системи, метод опорних векторів, Байєсові мережі, нечітку кластеризація. Проте основним недоліком представлених систем є їх хост-орієнтований підхід до виявлення ШПЗ.

Постановка завдання. Ефективність та достовірність виявлення шкідливого програмного забезпечення, що здійснюється за допомогою різноманітних засобів, суттєво залежать від архітектури таких засобів, а також їх позиціонування та місця розміщення в комп'ютерних системах локальних мереж. Ураховуючи те, що процес виявлення ШПЗ проводитиметься в локальних мережах, то вибір моделі функціонування системи повинен передбачати залучення інформації з усіх комп'ютерних систем локальної мережі, тобто розміщення на всіх КС цієї системи. Це необхідно для підвищення ефективності й достовірності виявлення за рахунок врахування інформації про стан з інших КС для прийняття рішення на конкретній КС. Ці основні вимоги, що система повинна бути розміщена в мережі на кожній КС, впливають на вибір моделі її архітектури. Також важливим для таких систем є те, щоб центр прийняття рішень системи не представлявся та ідентифікувався однозначно, бо його виявлення призведе до атаки на нього для виведення всієї системи з робочого стану. Система повинна бути побудована так, щоб розміщені в КС локальної мережі її частини ефективно спілкувалися між собою для обміну інформацією про стан КС із метою надання додаткової інформації для прийняття рішення. Крім того, система виявлення ШПЗ повинна відповідним чином структуруватися, щоб мати можливість нарощуватись і щоб збільшення не сповільнювало процес виявлення.

Виклад основного матеріалу дослідження. Ураховуючи те, що система функціонуватиме в локальній комп'ютерній мережі та вирішуватиме багато різних завдань із виявлення ШПЗ, її визначальними характеристиками буде розподіленість та багаторівневість. Назвемо її розподіленою багаторівневою системою (далі – РБС).

Основними функціями РБС є перевірка наявного програмного забезпечення та запущених процесів у КС локальної мережі на можливість належності до шкідливого програмного забезпечення. Досягнення відповідності системи заданим характеристикам та покладеним на неї функціям із виявлення ШПЗ формують вимоги до неї, основними з яких будуть такі: розподіленість; децентралізованість; самостійність у прийнятті рішень; багаторівневність; самоорганізованість; адаптивність. Згідно з аналізом поставленої задачі та сформованими вимогами до системи виявлення ШПЗ на основі функцій системи та її характеристик, архітектуру розроблюваної системи можна синтезувати у вигляді сукупності таких компонентів: моделей колективного інтелекту, багатоагентних систем, розподілених систем, децентралізованих систем, самоорганізованих та адаптивних систем. Урахування цих складових частин у моделі системи є основою її архітектури; вона підвищить надійність функціонування та живучість системи в локальній мережі. Інтегруємо основні вимоги в модель розроблюваної системи, архітектура якої зображена узагальненою схемою основних складових частин на рис. 1.

Поетапно ця розподілена архітектура буде наповнюватись підсистемами, у яких реалізуватимуться інші моделі, що входять до неї. РБС розподілена в просторі і (згідно з характеристичними вимогами) повинна бути децентралізованою, тобто система не повинна мати єдиного центру керування всіма її частинами та можливості прийняття рішень залежно від зміни стану

будь-якої КС мережі. У цьому контексті децентралізованість і самостійність прийняття рішень модулем системи, розміщеним у певній КС, не ототожнюються. У поняття децентралізованості системи закладемо функцію вищого рівня абстракції, завданням якої повинна бути здатність системи конкретної КС приймати рішення про початок її виконання (тобто активацію закладених функціоналів), здійснення переходу між визначеними рівнями на основі інформації, отриманої з інших рівнів системи, прийняття рішення про комунікацію з іншими частинами всієї системи, отримання інформації від інших частин системи з різних КС та передавання цієї інформації на відповідні рівні завершення роботи. Для частини системи, розміщеної в КС, уведемо поняття програмного модуля (далі – ПМ) системи. Самостійність у прийнятті рішення програмним модулем системи містить такі можливості: прийняття рішення про стан загрози ШПЗ для КС на основі інтегрованої інформації з інших рівнів програмного модуля і передавання цього значення на рівень децентралізації; передавання на рівень децентралізації значення рівня безпеки; визначення кількості та залучення засобів відповідних рівнів програмного модуля для дослідження ШПЗ. Таким чином, рівень децентралізації відрізнятиметься від рівня прийняття рішень тим, що на його рівні приймаються рішення про загальну організацію функціонування програмного модуля в структурі всієї системи, а на рівні прийняття рішень – про безпосереднє виконання саме основних завдань дослідження ШПЗ.

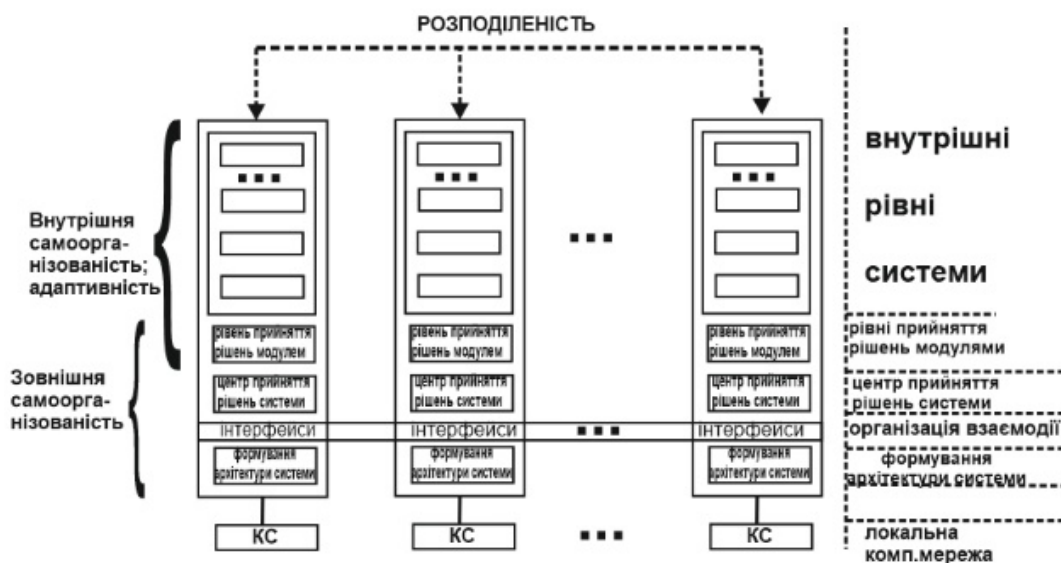


Рис. 1. Узагальнена схема основних складових архітектури системи

Багаторівневність (рис. 2) системи дозволить виділити процеси, які стосуватимуться функціонування системи загалом, процеси функціонування програмного модуля і розділити з рівнями завдання з виявлення різних типів ШПЗ та мережових атак і необхідних утиліт для вирішення цих завдань. Крім того, багаторівневність дозволить проводити нарощування системи новим функціоналом, а також чітка відокремленість різних за завданнями частин дозволить сумісно використовувати утиліти певних рівнів.

Функціонал, який відповідатиме за самоорганізованість програмного модуля РБС, розміщено окремим рівнем програмного модуля, який взаємодіятиме з модулем прийняття рішень. Крім того, певні рівні програмних модулів матимуть можливість здійснювати самонавчання та на його основі здійснюватиметься зміна стану безпеки. Самоорганізованість на рівні всієї РБС здійснюватиметься в підблоці блоку децентралізації і міститиме функціонування всієї системи та її переходу в різні стани (залежно від зовнішніх змін у КС та мережі). Властивість самоорганізованості РБС тісно пов'язана з адаптивністю і проявлятиметься в зміні структури її системи та рівня організації в процесі свого життєвого циклу в результаті накопичення досвіду, збереженої інформації в пам'яті. Накопичений досвід виражатиметься в зміні параметрів, важливих для мети системи, що змінюватиме спосіб функціонування системи і виражатиме властивість самонавчання.

Формування архітектури РБС у мережі здійснюватиметься протягом життєвого циклу її використання та передбачатиме зберігання попередніх форматів для здійснення аналізу.

Частина рівнів програмних модулів РБС матиме властивості адаптивності для підвищення ефективності виконання поставлених завдань виявлення ШПЗ. Адаптивність РБС проявлятиметься в автоматичній зміні алгоритмів свого функціонування і своєї структури з метою збереження або досягнення оптимального стану у разі зміни зовнішніх умов.

Інтерфейси системи поділено на такі: адміністративний, щоденний звіт, звіт за критичної ситуації, автономний, міжмодульний.

Розподілена багаторівнева система в локальній комп'ютерній мережі представлена однаковими програмними модулями, які розміщені в кожній комп'ютерній системі. Тобто незалежно від того, скільки

комп'ютерних систем у локальній мережі, кожна з них містить програмний модуль РБС. Якщо в процесі користування комп'ютерними системами виявиться, що не всі вони в мережі ввімкнені, тоді РБС складається з тих, які активні. Програмні модулі активних КС у локальній мережі формують безпосередньо РБС. Це дозволить навіть за наявності роботи двох комп'ютерних систем підтримувати виконання завдань системи. Кожен програмний модуль РБС містить функціонал для виявлення певного типу шкідливого програмного забезпечення або атаки.

РБС містить у кожному програмному модулі рівень, який відповідає за спілкування між програмними модулями всієї системи, тобто забезпечує роботу каналів зв'язку. За допомогою цього рівня встановлюється зв'язок між програмними модулями системи в цілому. Важливою функцією роботи системи є ідентифікація одним конкретним програмним модулем решти програмних модулів для активації та роботи цілісної системи. Для цього активується функціонал, що здійснює зчитування системної інформації про апаратно-програмне забезпечення КС, зберігає цю інформацію у своєму внутрішньому сховищі, формує на її основі ідентифікаційну ознаку цього конкретного модуля, зберігає її і використовує в пакетах, які розсилатимуться на інші програмні модулі РБС. Під час встановлення всіх програмних модулів РБС у мережі здійснюють їх активацію з метою збору всіх ідентифікаційних ознак. Кожен окремий програмний модуль у системі міститиме характеристики та ідентифікатори всіх програмних модулів системи.

Кількість рівнів програмного модуля та їх наповнення залежатимуть від завдань, які вирішуватимуться. Основними завданнями системи є проведення аналізу виконуваних файлів

Функції 1-го рівня	Функції 1-го рівня	■ ■ ■	Функції 1-го рівня
Функції 2-го рівня	Функції 2-го рівня	■ ■ ■	Функції 2-го рівня
■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■
Функції m-го рівня	Функції m-го рівня	■ ■ ■	Функції m-го рівня
Прийняття рішень модулем 1	Прийняття рішень модулем 2	■ ■ ■	Прийняття рішень модулем m
Центри прийняття рішень системи			
Модуль 1	Модуль 2	■ ■ ■	Модуль n
Організація взаємодії з використанням протоколів			
Модуль 1	Модуль 2	■ ■ ■	Модуль n
Формування архітектури системи			
Модуль 1	Модуль 2	■ ■ ■	Модуль n

Рис. 2. Схема багаторівневності РБС

із метою виявлення прояву шкідливого функціоналу й поведінки виконуваного в КС програмного забезпечення (запущених процесів) на наявність зловмисних дій. Обидва ці завдання об'єднує необхідність проведення аналізу поведінки програмного забезпечення, тобто здійснення виявлення через поведінку. Це дозволить увібрати для розгляду і дослідження достатньо широку множину всього файлового ШПЗ, відділивши в її складовій частині зловмисну поведінку для аналізу. Тобто система міститиме засоби дослідження програмного забезпечення, розміщеного в КС, яке перебуватиме в активному (виконуваному) стані або в зовнішній пам'яті, спільним елементом яких буде відслідковування й аналіз їхньої поведінки.

Ураховуючи те, що в результаті виконання функціоналів підсистем накопичуватимуться великі обсяги різномірної інформації, то для ефективної роботи РБС потрібні підсистеми програмних модулів для обліку роботи конкретних КС та здійснення оптимізації масивів інформації в системі загалом.

Розподіл завдань у програмних модулях системи міститиме стани, у яких перебуватиме програмний модуль конкретної КС у процесі свого життєвого циклу. Модель РБС, що враховуватиме архітектурні складники і їх стани та зв'язки між ними представимо так:

$$M_A^S = (S, G_A), \quad (1)$$

де S – множина станів системи, G_A – орієнтований граф узагальнених станів РБС, який зображено на рис. 3.

Відповідно до рис. 3, для кожного стану визначено такі функції:

1 – базовий стан, моніторинг КС, визначення переходу до станів 2, 3, 4, 8;

2 – перевірка виконуваних файлів, визначення переходу до станів 1, 5;

3 – перевірка запущених процесів та мережних активностей КС, визначення переходу до станів 1 та 6;

4 – перевірка виконуваних файлів та запущених процесів, визначення переходу до станів 1 та 7;

5 – перевірка виконуваних файлів із використанням інших програмних модулів, повернення на рівень 2;

6 – перевірка запущених процесів та мережних активностей і їх порівняння з іншими КС мережі, повернення на рівень 4;

7 – оброблення виконуваних файлів та запущених процесів із використанням інших програмних модулів системи;

8 – оброблення та оптимізація інформації з бази пакетів програмного модуля із залученням інформації з інших програмних модулів системи, повернення на рівень 1;

9 – забезпечення формування зв'язку з іншими програмними модулями системи.

Кожен програмний модуль системи має однакову структуру і розділений на чотири рівні залежно від призначення та згрупованих у них завдань:

1) рівень 1 містить моніторинг подій та визначення переходів до наступних рівнів, а також здійснює оброблення інформації, що надходить від інших програмних модулів;

2) рівень 2 містить перевірку виконуваних файлів, перевірку запущених процесів та мережних активностей без залучення інформації з інших програмних модулів системи;

3) рівень 3 містить виконання завдань рівня 2 із залученням інформації з інших програмних модулів системи;

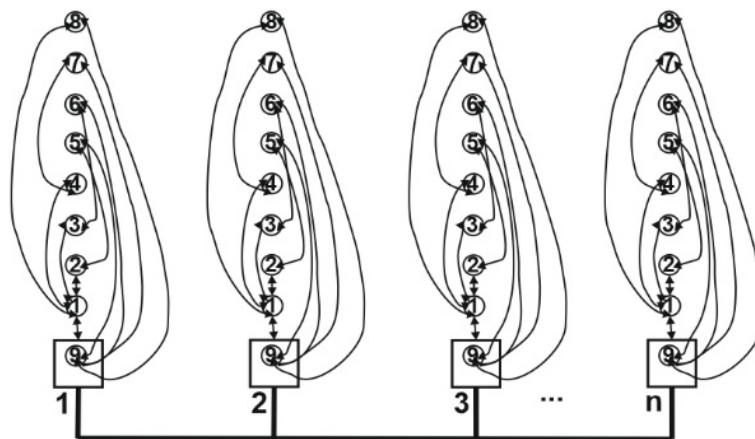


Рис. 3. Орієнтований граф зв'язків узагальнених станів програмного модуля системи

4) рівень 4 здійснює оброблення, оптимізацію та вилучення інформації з бази програмного модуля КС.

Рівні 1, 3 та 4 обов'язково співпрацюють з іншими програмними модулями системи. Програмний модуль, як правило, перебуває в рівні 1, де здійснює моніторинг подій. Якщо відбуваються зміни в КС, тоді на його рівні приймаються рішення про перехід до вершин 2, 3 або 4, тобто на рівень 2. На рівні 2 досліджуються завдання з рівня 1 методами та засобами без залучення інших частин системи. Якщо результат дослідження виявиться негативним, тобто ШПЗ не буде знайдено, тоді встановлюється потреба у глибшій перевірці і здійснюється перехід до рівня 3, де для визначення застосовуються інші частини системи в мережі. Використання засобів цього рівня залучає розподілені в мережі програмні модулі, чим підвищуватиме ефективність виявлення ШПЗ. На четвертому рівні відбувається оптимізація інформації з бази програмного модуля із залученням інших частин системи, а також прийняття рішення про стан системи в цілому (після отримання інформації зі всіх інших програмних модулів системи).

Таким чином, перший рівень містить засоби, які забезпечують автономність роботи програмного модуля системи. На третьому рівні досягається глибший аналіз досліджуваних об'єктів, порівнюючи з другим рівнем, що підвищує ефективність системи. Четвертий рівень вирішує частину завдань із самоорганізації системи, пов'язаної з оптимізацією накопиченої за час роботи інформації. Кожен рівень та відповідні йому узагальнені підсистеми представляються наборами підрівнів, яким закладено виконання певних функціоналів.

Зображення взаємозв'язку підрівнів представлено на рис. 4 графом із вершинами, що відповідають призначенням підрівнів.

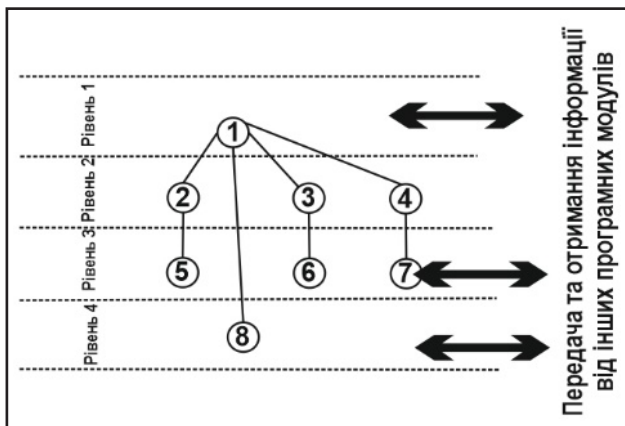


Рис. 4. Граф-схема взаємодії підрівнів програмних модулів системи

Часова модель поведінки РБС через моделі поведінки її ПМ розглядається не як лінійна послідовність множини обчислень, а як дерево можливих обчислень, тобто розгалужена часова модель із зворотніми зв'язками. Тому представимо РБС моделлю на основі структури Кріпке:

$$M_{РБС} = (S, S_0, R, F_{РБС}), \quad (2)$$

де S – скінченна множина станів РБС, S_0 – множина початкових станів (причому їх може бути декілька), R – множина переходів між станами, T_A – множина атомарних тверджень пов'язаних із станами і є істинними тільки в цих станах, $F_{РБС}$ – функція, що відображає кожен стан із множини S в підмножину атомів T_A , які є істинними у відображуваних станах. Оскільки система є розподіленою, тоді множину станів системи представимо через підмножини станів, які стосуються програмних модулів $A_i, i=1,2,\dots,n$, зокрема $S = \bigcup_{i=1}^n S_i$, тобто множини станів ПМ формуватимуть множину станів, у якій перебуватиме система. Множина початкових станів РБС $S_0 = \bigcup_{i=1}^n S_{0i}$, причому серед їх елементів не може бути однакових. Із будь-якого стану $s \in S$ існує мінімум один перехід до іншого стану, тобто справедливим є відношення $R \subseteq S \times S$, що означає те, що для будь-якого з множини станів існує відповідний йому стан із цієї ж множини. Якщо множина атомарних тверджень T_A скінченна, тоді множина її підмножин 2^{T_A} буде відображенням $F_{РБС}$ для множини S у ті підмножини атомів, які будуть істинними в $s \in S$.

Представимо структурну частину РБС програмний модуль підмоделлю:

$$M_{A_i} = \langle S_i, S_{0i}, R_i, F_{A_i} \rangle, \quad (3)$$

де A_i – це i -тий програмний модуль РБС, $i=1,2,\dots,n$, R_i – множина переходів між станами $s_{ij} \in S_i, j$ – кількість i -тих станів, F_{A_i} – функція відображення множини станів S_i в множину підмножин

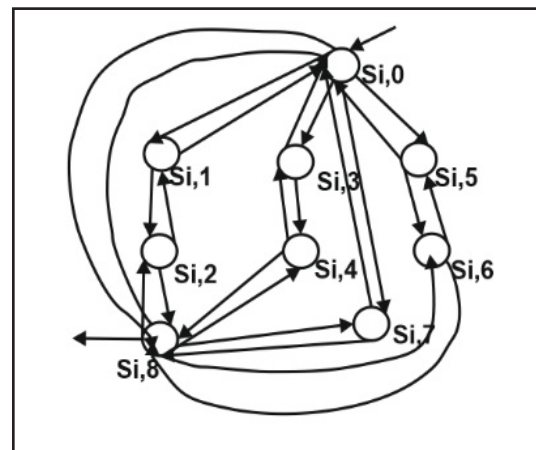


Рис. 5. Структура Кріпке програмного модуля A_i

множини T_{A_i} , тобто $2^{T_{A_i}}$. Кожен стан обов'язково має зв'язок із деякими іншими станами. Перехід з одного стану до іншого, якщо між ними є зв'язок, відобразимо послідовністю $s_{ij}s_{ip}$, де i – номер програмного модуля, j та p – стани цього ж модуля. Тоді послідовності $s_{ij}s_{ip}s_{ij}s_{ih}s_{iy}s_{iu}s_{ie}s_{ik}...$ означатимуть переходи ПМ з одного стану в інший протягом його експлуатації. РБС у процесі експлуатації характеризуватиметься множиною послідовностей переходів із стану в стан програмних модулів. Структуру Кріпке для ПМ за його діаграмою переходів зображено на рис. 5.

R_i – множина переходів між станами i -того модуля на множинах змінних, що визначається так (див. табл. 1):

Функцію F_{A_i} відображення множини станів S_i у множину підмножин множини T_{A_i} задамо таблицно. Фрагмент представлено в табл. 2.

Самовідтворення РБС здійснюється на початку роботи кожного з програмних модулів, додаванням кожного нового програмного модуля, видаленням певного програмного модуля. Ці події зберігають систему і дозволяють вирішувати поставлені на неї завдання. Цей рівень розгляду РБС представляє цю властивість як таку, що стосується існування системи. Описані події з організації спілкування між ПМ показують принцип утворення РБС та її самовідтворення в процесі життєвого циклу її частин. Мінімальна кількість працюючих КС, на яких встановлено програмні модулі (не менше двох). Але використання дуже малої кількості ПМ системи не є ефективним, бо тоді для підвищення достовірності виявлення ШПЗ недостатньою є кількість інформації від різних КС локальної мережі. Наявність тільки одного ПМ у складі РБС, тобто однієї ввімкненої КС, не дозволить використати можливості переходу

в інші стани з метою детальнішого дослідження поведінки ШПЗ, а використовуватиме лише можливості на рівні однокористувацьких антивірусних програмних засобів. Самовідтворення РБС на рівні її структурних частин відбудуватиметься шляхом переведення ПМ, які тривалий час перебувають в одному зі станів, до базового стану. Також РБС здійснюватиме аналіз статистики роботи ПМ КС для оптимізації передавання завдань із метою залучення до їх вирішення найбільш активних КС.

Програмні модулі РБС (у разі перебування на третьому і четвертому рівнях для вирішення поставлених завдань) залучатимуть технології самонавчання, що впливатиме на зміну їх роботи під час вирішення таких же завдань на наступних етапах життєвого циклу; при цьому вони, передаючи завдання для оброблення на інші ПМ, та результати їх виконання впливатимуть на інші програмні модулі; вплив ПМ, як структурних частин системи, на інші ПМ дозволить еволюювати РБС.

РБС на рівні її структурних частин ПМ здійснюватиме самоконтроль, що проявлятиметься в періодичній перевірці комплектності системи, здійсненні аналізу наявності ПМ, які тривалий час перебувають в одному й тому ж стані та потребують автоматичного зняття поточних завдань із виконання та переведення до іншого стану, оброблення баз ПМ для оптимізації та розподіл ПМ на декілька груп згідно з аналізом їх станів протягом тривалого проміжку часу.

Важливим елементом самоорганізації РБС є розроблення механізмів утворення своїх власних цілей. До таких цілей належать: динамічне формування системи; розподіл та співвіднесення всіх структурних частин за групами завантаженості,

Таблиця 1

$R_i = \{$	0000i	0001i,	0001i	0000i,	0001i	0100i,	0100i	0001i,	
	0100i	1000i,	1000i	0100i,	0000i	1000i,	1000i	0000i,	
	0000i	0010i,	0010i	0000i,	0010i	0101i,	0101i	0010i,	
	0101i	1000i,	1000i	0101i,	0000i	0011i,	0011i	0000i,	
	0011i	0110i,	0110i	0011i,	1000i	0110i,	0110i	1000i,	
	0000i	0111i,	0111i	0000i,	1000i	0111i,	0111i	1000i	}

Таблиця 2

Кодований перехід зі стану в стан

Властивість	Кодований перехід	Стан
$P_{i,0}$	0000i	$S_{i,0}$
$P_{i,1}$	0000i, 0001i	$S_{i,1}$
...
$P_{i,47}$	0111i, 1000i	$S_{i,47}$

оброблення критичних подій у системі, колективне виконання завдань, розв'язуване одним ПМ, оброблення й оптимізація накопичених статистичних даних.

Основою побудованої моделі РБС є її структурні частини, які представляються програмними модулями, що можуть перебувати в різних станах. Перехід між станами ПМ здійснюється на основі визначеної множини переходів. Взаємодія та спілкування між ПМ базується на основі їх перебування в певних станах під час експлуатації. РБС є реагуючою системою, яка здійснюватиме моніторинг визначених подій. Кожен програмний модуль містить резидентний механізм, рушійні механізми для переходу між станами, переходи, між якими задаються підмножинами переходів, дані для яких формуватимуться з використанням технологій штучного інтелекту.

Зображення віконних форм програмної реалізації РБС зображено на рис. 6.

Приклад використання розподіленої багаторівневої системи [7]. Прикладом застосування РБС розглянемо підсистему виявлення метаморфних вірусів у локальній комп'ютерній мережі. Використання мережі продиктоване наявністю,

окрім обфускаційних технік, антиемуляційних засобів, що перешкоджають здійсненню процесу емуляції виконання. Використання емулятора є одним із головних методів виявлення метаморфних вірусів, що призводить до низької ефективності виявлення. Тому здійснення виявлення метаморфних вірусів із високою ефективністю, які застосовують антиемуляційні технології, засобами однієї КС є неможливим, тому пропонується залучення локальної комп'ютерної мережі.

Із метою виявлення підозрілих дій на кожному хості застосовується аналізатор підозрілості програми. Основним його завданням є відстеження потоку API викликів, що здійснюються в процесі виконання невідомою програмою. У разі застосування до програми технік обфускації програмного коду, її API виклики залишаються незмінними, видозмінюються лише параметри та значення, що повертається відповідною функцією [7]. Кожна окрема підозріла дія, яка представлена викликом API функції, під час виконання невідомої програми, не є небезпечною. Проте виконання певної послідовності таких дій може свідчити про можливу небезпеку інфікування шкідливим ПЗ, зокрема метаморфним вірусом.

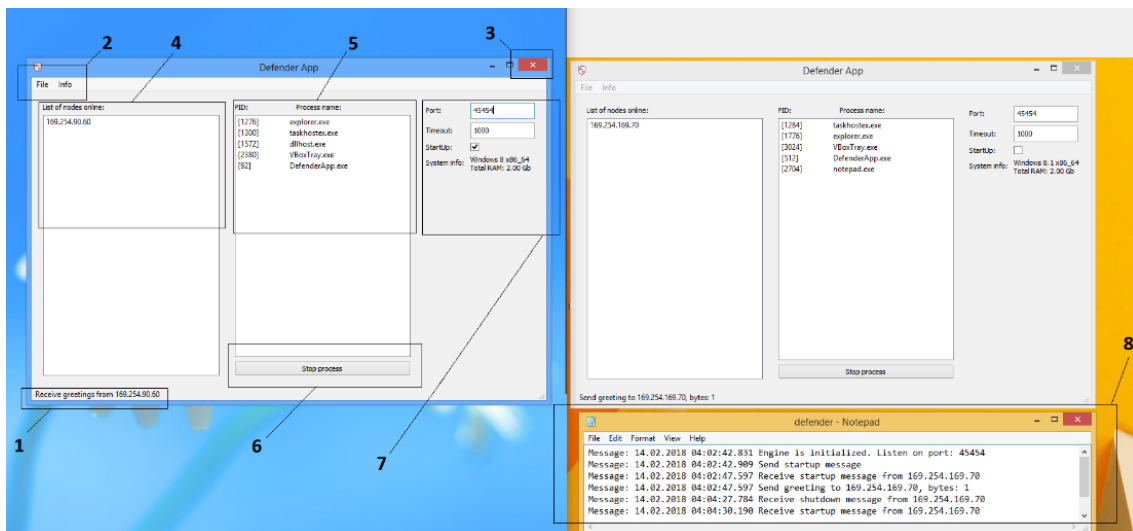


Рис. 6. Інтерфейсні вікна розробленої РБС складаються з таких компонентів:

- 1) видання інформативних повідомлень; 2) головне меню. File/Quit – завершити роботу, Info/About – показати додаткову інформацію (назва, короткий опис, автор, версія);
- 3) у разі закриття головного вікна, програма згортається у system tray та продовжує свою роботу. Для повного завершення роботи необхідно скористатися File/Quit, або ПКМ на піктограмі програми у системному вікні та Quit; 4) список IP-адрес машин, на яких також запущено екземпляр програми. Оновлюється автоматично при запуску/завершенні програми на інших машинах; 5) список процесів у системі, запущених у КС. Оновлюється згідно із заданим інтервалом таймера; 6) команда «зупинити вибраний зі списку процес»;
- 7) панель налаштувань. Port – номер порту для комунікації між екземплярами програм по мережі, Timeout – інтервал таймеру для моніторингу системних процесів, StartUp – вкл./викл. автозавантаження програми при запуску ОС, System info – характеристики системи; 8) лог файл. Створюється у директорії з виконуваним модулем. Колекціонує повідомлення/попередження/помилки роботи програми.

Виявлення здійснюється на основі відстеження API викликів, що описують потенційно небезпечну поведінку метаморфного вірусу, та порівнянні дизасембльованого коду функціональних блоків метаморфного вірусу з кодом функціональних блоків його зміненої версії. Для створення зміненої версії метаморфного вірусу на хостах мережі встановлюються модифіковані емулятори, що забезпечують змінне середовище виконання. Із метою підвищення загальної ефективності виявлення метаморфних вірусів система передбачає пошук відповідності між функціональними блоками метаморфного вірусу та його зміненої версії. Для формування висновку про схожість підозрілої програми на метаморфних вірусах використовується система нечіткого логічного висновку. У разі недостатнього прояву шкідливої поведінки та підвищення рівня достовірності для виявлення метаморфного вірусу залучаються інші хости мережі. Детальніше про реалізований метод у [8].

Висновки. Архітектура розподіленої багаторівневої системи базується на принципах децентралізації та самоорганізації і дозволяє здій-

снювати її наповнення різними функціоналами виявлення шкідливого програмного забезпечення в локальних комп'ютерних мережах. РБС належить до реагуючих систем, яка постійно здійснюватиме моніторинг запущених процесів та виконуваних програм у комп'ютерних системах мережі. Об'єктами для дослідження з боку РБС є перевірка наявного програмного забезпечення та запущених процесів у КС локальної мережі на можливість належності до шкідливого програмного забезпечення.

Розроблена модель архітектури програмних модулів РБС базується на принципах автономності та багаторівневості. Вона дозволяє здійснювати збільшення кількості рівнів системи без зміни її архітектури. Основою архітектури РБС виступають програмні модулі з однаковими архітектурами, проте кожен із них може самостійно ухвалювати рішення на основі різних даних зібраних із різних КС мереж. Для ефективної роботи РБС необхідним є розроблення методів і моделей взаємодії та узгодження роботи різних програмних модулів між собою та їх відповідних рівнів і деталізація структури її станів.

Список літератури:

1. Virus Bulletin URL: <https://www.virusbulletin.com/testing/> (дата звернення: 25.03.2018).
2. High performance adaptive system for cyber attacks detection / Komar M. et al. The 9-th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications: Proceedings (Bucharest, 21-23 September 2017). Bucharest, 2017. P. 853–858.
3. Golovko V., Bezobrazov S. Neural Network Artificial Immune System for Malicious Code Detection. Brest State Technical University. 2015, P. 1–7.
4. Branitskiy A., Kotenko I. Hybridization of computational intelligence methods for attack detection in computer networks. Journal of Computational Science. 2017. № 23 P. 145–156.
5. Wang G., Hao J., Ma J., Huang L. A new approach to intrusion detection using Artificial Neural Networks and fuzzy clustering. Expert Systems with Applications: An International Journal. 2010. Vol. 37. Issue 9. P. 6225–6232.
6. Host-based Web Anomaly Intrusion Detection System, an Artificial Immune System Approach / Khalkhali I., Azmi R., Azimpour-kivi M., Khansari M. International Journal of Computer Science. 2011. Vol. 8. Issue 5. № 2. P. 14–24.
7. Approach for the Unknown Metamorphic Virus Detection / Savenko O., Lysenko S., Nicheporuk A., Savenko B. The 9-th IEEE. International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications: Proceedings (Bucharest, 21-23 September, 2017). Bucharest, 2017. P. 453–458.
8. Спосіб виявлення метаморфних вірусів на основі статистичних метрик для визначення еквівалентних функціональних програмних блоків. Патент України на корисну модель МПК G06F 21/55 / Савенко О.С. та ін. № 118456; заявл. 23.02.2017; опубл. 10.08.2017, Бюл. № 15/2017.

АРХИТЕКТУРА РАСПРЕДЕЛЕННОЙ МНОГОУРОВНЕВОЙ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ВРЕДОНОСНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В ЛОКАЛЬНОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ

В статье предложена архитектура распределенной многоуровневой системы обнаружения вредоносного программного обеспечения в локальных компьютерных сетях, особенностью которой является синтез требований распределенности, децентрализованности, многоуровневости, и самоорганизованности, что, в отличие от известных систем, позволяет ее использовать автономно для выполнения заложенных функций обнаружения вредоносного программного обеспечения. Кроме того, программные модули системы представлены на основе структуры Крипке, особенностью которой является такая самоорганизация, что позволяет осуществлять обмен знаниями внутри системы, что, в отличие от известных систем, позволяет использовать знания, полученные отдельными частями системы в других частях.

Ключевые слова: архитектура, распределенная система, вредоносное программное обеспечение, метаморфный вирусы, структуры Крипке.

ARCHITECTURE OF DISTRIBUTED AND MULTILEVEL SYSTEM FOR DETECTION MALICIOUS SOFTWARE IN LOCAL COMPUTER NETWORKS

The paper proposes the architecture of a distributed multilevel system for detecting malware in local computer networks, the feature of which is the synthesis of distribution, decentralization, multilevel, and self-organization requirements in it, which, unlike the known systems, allows it to be used autonomously for the implementation of its functions detection of malware. In addition, the program modules of the system are represented on the basis of the structure of the Kripke, the feature of which is the same organization, which allows the exchange of knowledge in the middle of the system, which, unlike the known systems, allows you to use the knowledge obtained by separate parts of the system in other parts.

The architecture of a distributed multilevel system is based on the principles of decentralization and self-organization and allows it to be filled with various functions of detection of malicious software in local computer networks. The distributed multi-level system relates to responsive systems, which will continuously monitor the running processes and executable programs in computer systems of the network. Objects for research from a distributed multilevel system are the testing of existing software and running processes in computer systems of the local network to the ability to refer to malicious software. It allows you to increase the number of levels of the system without changing its architecture. The basis of the architecture of the system are program modules with the same architecture, but each of them can independently take decisions based on various data collected from different computer systems of the network.

The distributed multilevel system at the level of its structural parts of the software modules will carry out self-monitoring, which will be manifested in the periodic verification of the completeness of the system, the analysis of the availability of software modules, which for a long time are in the same state and require the automatic removal of current tasks for execution and transfer to another state, processing of software modules for optimization and distribution of software modules into several groups according to the analysis of their states over a long period of time.

An important element of self-organization of the system is the development of mechanisms in it for the formation of its own goals. For such purposes we shall include the following: dynamic formation of the system; distribution and correlation of all structural units by groups of load, processing of critical events in the system, collective execution of tasks solved by one software modules, processing and optimization of accumulated statistical data.

Key words: architecture, distributed system, malicious software, metamorphic viruses, Kripke structures.

Стахов Р.О.

Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

АНАЛИЗ УЯЗВИМОСТЕЙ В АЛГОРИТМАХ ЦИФРОВОЙ ПОДПИСИ ТЕХНОЛОГИИ JSON WEB TOKEN

В статье приводятся существующие методы цифровой подписи данных технологии Json Web Token, анализируются механизмы и алгоритмы их работы. Описываются уязвимости существующих методов цифровой подписи, а также способы защиты и нивелирования возможного вреда, причиняемого данными уязвимостями. Приводятся примеры наиболее часто используемых злоумышленниками способов взлома и завладения конфиденциальной информацией с использованием нижеуказанных недочетов.

Ключевые слова: уязвимость, защита, алгоритм, цифровая подпись, взлом, библиотеки.

Постановка проблемы. Стандарт JSON, реализующий механизм аутентификации и авторизации при помощи веб-токенов, имеет большое количество реализаций, среди которых есть библиотеки, имеющие критические уязвимости, позволяющие злоумышленникам обойти систему аутентификации. К примеру, использование библиотек node-jsonwebtoken, рujwt, namshi/jose, php-jwt или jsjwt с использованием асимметричных ключей (RS256, RS384, RS512, ES256, ES384, ES512) имеют уязвимости, которые в достаточной степени нивелированы лишь в самых последних версиях. Недостаток системы аутентификации был обнаружен в нескольких реализациях библиотек JWT на разных языках программирования. В данной статье будет указано, где именно возникают проблемы и каким образом их можно предотвратить.

Анализ последних исследований и публикаций. Технология цифровой подписи токенов доступа в JWT является открытой, все алгоритмы ее работы находятся в свободном доступе. Компаниями seedbox, OAuth и Adobe были выявлены несколько уязвимостей в библиотеках, написанных для внедрения технологии JWT на различных языках программирования, включая сетевые и десктопные приложения. В частности, это возможность несанкционированного обхода процесса аутентификации пользователя при создании токена JWT, а также механизмы взлома цифровой подписи самого токена JWT.

Постановка задачи. Для получения несанкционированного доступа к конфиденциальной

информации, защищенной технологией JWT, злоумышленники применяют 2 подхода: использование уязвимостей реализации технологии в различных библиотеках и фреймворках, а также использования слабых мест в самих алгоритмах цифровой подписи с использованием стороннего программного обеспечения.

В статье описываются варианты подмены злоумышленником информации об алгоритме цифровой подписи конкретного токена с использованием уязвимостей конкретных библиотек, а также взлом зашифрованных токенов с использованием стороннего программного обеспечения.

Примеры уязвимостей в реализациях технологии JWT:

1) библиотека namshi/jose для использования в PHP имеет серьезную уязвимость в генераторах асимметричных ключей алгоритмов RS256 – ES512;

2) библиотека node-jsonwebtoken для JavaScript не имеет встроенного механизма контроля выбора алгоритма шифрования информации в процессе создания токена;

3) на многих серверах, в зависимости от конкретной библиотеки JWT и загруженности самого сервера, либо не всегда контролируется длина асимметричного ключа, необходимая для надежного шифрования конфиденциальной информации, либо же не проверяется корректный выбор алгоритмов шифрования цифровой подписи.

Как известно, JSON Web Token (JWT) является стандартом для создания токенов, которые

используются в качестве средства аутентификации. К примеру, сервер может генерировать токен, который имеет запрос «зарегистрирован как администратор» и предоставляет эти возможности клиенту. Затем клиент может использовать этот токен при авторизации, чтобы доказать, что он вошел в систему как администратор. Токены подписываются ключом сервера, поэтому сервер может проверить, его валидность. Но если сам алгоритм цифровой подписи токена явно не указан и это не было проверено на стороне сервера, злоумышленник имеет возможность подменить алгоритм конкретного токена выгодным ему, тем самым получив доступ к данным авторизации, находящимся в токене, что создаст дыру в системе серверной безопасности.

Изложение основного материала исследования. Сначала будет продемонстрирована возможность сторонней подмены алгоритма цифровой подписи. Как известно, JWT состоит из трех частей: заголовка, полезной нагрузки и цифровой подписи. Часть заголовка определяет, какой алгоритм используется для генерации цифровой подписи, и выглядит примерно так:

```
header = '{"alg":"HS256","typ":"JWT"}';
```

HS256 указывает, что этот токен подписывается с использованием алгоритма шифрования HMAC-SHA256.

Полезная нагрузка содержит данные для доступа:

```
payload = '{"loggedInAs":"admin",
           "iat":1422779638}'
```

Как было указано в спецификации JWT, используется временная метка `iat`, что значит «issued at». Подпись вычисляется с помощью алгоритма `base64url`, кодирующего заголовок и полезную нагрузку, и объединяющего их с символом точки в качестве разделителя:

```
key = 'secretkey'
```

```
unsignedToken = encodeBase64(header) + '
                ' + encodeBase64(payload)
```

```
signature = HMAC-SHA256(key, unsignedToken)
```

В конечном итоге формируется токен:

```
token = encodeBase64(header) + '
        ' + encodeBase64(payload) + '
        ' + encodeBase64(signature)
```

```
eyJhbGciOiJIUzI1NiIsInR5cCI6IkpXVCJ9.eyJsb2dnZWRRJkFzIjoieWVWYXRtaW4iLCJpYXQiOiJlMjE0MjEzZkZ9.gzSraSYS8EXBxLN_oWnFSRgCzcmJmMjLiuyu5CSpyHI
```

Уязвимость состоит в том, что в поле «alg» можно вставить значение «none»:

```
header = '{"alg":"none","typ":"JWT"}';
```

Алгоритм предназначен для использования в ситуациях, когда валидность токена уже была проверена. Алгоритм HMAC-SHA256 – один из двух алгоритмов, которые обязательны для реализации во всех библиотеках (другой – HS256).

К сожалению, некоторые библиотеки проводят обработку токенов, подписанных со значением алгоритма «none» как валидных токенов с проверенной подписью, прошедших валидацию (`pujwt`, `namshi/jose`). В результате данной уязвимости любой может создавать свои собственные «подписанные» токены с любой полезной нагрузкой, которые они хотят, позволяя получить произвольный доступ к учетной записи в некоторых системах.

Создание такого токена весьма простое. Необходимо изменить приведенный выше заголовок так, чтобы он содержал «alg»: «none» вместо «HS256».

Несколько библиотек, указанных выше, до сих пор имеют дыры в этой области. Они пошли другим путем: если в токене был предоставлен секретный ключ, то его проверка не будет выполняться с использованием алгоритма none. Это хорошая идея, но она не решает основной проблемы: злоумышленники контролируют выбор алгоритма.

Спецификация JWT также определяет ряд асимметричных алгоритмов подписи (на основе RSA и ECDSA). С помощью этих алгоритмов токены создаются и подписываются с использованием закрытого ключа, но проверяются с использованием соответствующего открытого ключа. Это довольно аккуратно: если пользователь публикует открытый ключ, но сохраняет личный ключ для себя, только он может подписывать токены, но каждый может проверить, правильно ли сам токен был подписан.

Большинство библиотек JWT имеют данный метод:

```
verify(string token, string verificationKey)
```

В системах, использующих подписи HMAC, проверка ключа будет происходить с помощью секретного ключа подписи сервера (поскольку HMAC использует тот же ключ для подписи и проверки):

```
verify (clientToken, serverHMACSecretKey)
```

В системах, использующих асимметричный алгоритм, для проверки ключа будет использоваться открытый ключ, с которым должен быть проверен токен:

```
verify (clientToken, serverRSAPublicKey)
```

К сожалению, злоумышленник может воспользоваться этим. Дело в том, что не происходит

никакой проверки на соответствие алгоритма подписи и анализа подлинности. Иными словами, нет контроля информации насчет того, какой именно алгоритм был использован для подписи. Если сервер ожидает токен, подписанный с помощью алгоритма RSA, но фактически получает токен, подписанный алгоритмом HMAC, он будет считать, что открытый ключ на самом деле является секретным ключом HMAC.

Это весьма серьезная уязвимость. Секретные ключи HMAC должны быть закрытыми, в то время как открытые ключи – общедоступными. Это означает, что злоумышленник имеет доступ к открытому ключу и может использовать его для создания токена, который будет принимать сервер.

Это осуществляется довольно просто. В любой библиотеке JWT выбирается полезная нагрузка для токена. Затем создается открытый ключ, используемый на сервере в качестве ключа проверки (скорее всего, в текстовом формате PEM). Наконец, подписывается сам токен, используя открытый ключ PEM-формата в качестве ключа HMAC. По существу:

```
forgedToken = sign(tokenPayload, 'HS256',
serverRSAPublicKey)
```

Самая сложная часть – убедиться, что параметр `serverRSAPublicKey` идентичен ключу проверки, используемому на сервере. Строки должны точно соответствовать атаке, чтобы работать – точно такой же формат, и никаких лишних или отсутствующих разрывов строк.

В конечном итоге любой, кто знает открытый ключ, может подделать токены доступа, которые легко пройдут проверку на сервере, тем самым дав злоумышленнику несанкционированный доступ к защищенным данным.

Таким образом, для того, чтобы избежать возможного взлома токена, необходимо предпринять следующие шаги: напрямую проверять выбор алгоритма цифровой подписи и генерацию секретного ключа для токена, если вы разрабатываете программы с использованием JWT, а также использовать (к примеру, для облачного хранения данных) лишь те сервера, которые имеют новейшие версии библиотек JWT.

Второй способ взлома цифровой подписи токена состоит в использовании стороннего программного обеспечения методом подбора секретного ключа. При недостаточной надежности ключи шифрования легко поддаются атаке полным перебором (bruteforce).

При создании цифровой подписи используются 3 наиболее распространенных алгоритма:

HMAC + SHA256 (HS256)
 RSASSA-PKCS1-v1_5 + SHA256 (RS256)
 ECDSA + P-256 + SHA256 (ES256)

Код аутентификации сообщения на основе хеша (HMAC) – это алгоритм, который объединяет определенную полезную нагрузку с секретом с использованием криптографической хэш-функции, такой как SHA-256. Результатом является код, который может использоваться для проверки сообщения только в том случае, если обе генерирующие и проверяющие стороны знают секрет. Другими словами, HMAC позволяют проверять сообщения через общие секреты.

Ниже указан пример демонстрации алгоритма подписи на основе HMAC:

```
const encodedHeader = base64(utf8(JSON.stringify(header)));
const encodedPayload = base64(utf8(JSON.stringify(payload)));
const signature = base64(hmac(`${encodedHeader}.${encodedPayload}`, secret, sha256));
const jwt = `${encodedHeader}.${encodedPayload}.${signature}`;
var jwt = require('jsonwebtoken');
const payload = {
  sub: "1234567890",
  name: "John Doe",
  manager: true};
const secretKey = 'secret';
const token = jwt.sign(payload, secretKey, {
  algorithm: 'HS256',
  expiresIn: '10m' });
```

Уже существует множество утилит и программ на многих языках, которые используются для скоростного подбора секретных ключей токенов. Они свободно распространяются на сетевых репозиториях, например, GitHub. Обладая огромной вычислительной мощностью компьютера, эти инструменты могут без проблем подобрать секретный ключ HS256 JSON.

Следует обратить внимание, что в стандарте защиты RFC7518 указано, что «только ключ с таким же размером, как и хэш-вывод (например, 256 бит для HS256) или больше, должен использоваться с этим алгоритмом».

При использовании утилит типа `jwt-crack`, генерирующих секретный ключ при помощи «грубой силы», возможен взлом токена, если длина ключа недостаточна.

К примеру, токен вида:

```
eyJhbGciOiJIUzI1NiIsInR5cCI6IkpXVCJ9.eyJzdWIiOiIxMjM0NTY3ODkwIiwibmFtZSI6IkpvaG4gRG9lIiwiaWF0Ijoi
```

RydWV9.cAOIAifu3fykvhkHpbuhbvtH807-Z2r11FS3vX1XMjE

С секретным ключом из 8 бит «Sn1f» при использовании указанной выше утилиты способен произвести подбор ключа менее, чем за 1 минуту.

При использовании ключа большей, но недостаточной длины (к примеру, слово «secret») время подбора увеличивается до 60-76 минут, в зависимости от конкретной утилиты подбора ключей.

Давайте еще раз взглянем на ключи, которые мы использовали для создания токенов, которые были легко взломаны. Каковы ключевые размеры? Первый ключ «Sn1f» – 32-разрядный. (1 символ = 8 бит)

Второй ключ, «secret» имеет длину 48-бит. Их размеры слишком малы для использования в цифровой подписи.

Поэтому при создании маркера JSON Web следует использовать цифровую подпись именно алгоритмом HS256, чтобы иметь возможность

сгенерировать секретный ключ надлежащего размера. Секретные ключи Auth0 имеют длину 512 бит и не подвержены возможности взлома при помощи грубой силы.

Выводы. Технология JSON Web Token (JWT) является весьма эффективной и может легко использоваться на большинстве современных платформ и языков программирования. Это надежный способ передачи подписанной или зашифрованной информации между приложениями.

Но она не лишена своих недостатков. В статье были приведены варианты обхода системы безопасности 2 путями: подменой алгоритма цифровой подписи данных технологии и взломом самого алгоритма при помощи подбора секретного ключа методом «грубой силы».

Были проанализированы и описаны возможные способы защиты от вышеприведенных атак и конкретные шаги по нивелированию возможного вреда, причиняемого данными уязвимостями.

Список литературы:

1. Johnson M: New advanced personal data protection/ Wiley Information Technologies, 2016.
2. Troelsen I: JWT view via C# libraries. Apress. 2016.
3. Albahari J: JWT – a brand new protection system. Bookjoy. 2015.

АНАЛІЗ ВРАЗЛИВОСТІ В АЛГОРИТМАХ ЦИФРОВОГО ПІДПISУ ТЕХНОЛОГІЇ JSON WEB TOKEN

У статті наводяться методи цифрового підпису даних технології Json Web Token, аналізуються механізми й алгоритми їх роботи. Описуються уразливості методів цифрового підпису, а також способи захисту й нівелювання можливої шкоди, завданої цими уразниками. Наводяться приклади найбільш часто використовуваних зловмисниками способів зламу і заволодіння конфіденційною інформацією з використанням нижчезазначених недоліків.

Ключові слова: *вразливість, захист, алгоритм, цифровий підпис, злам, бібліотеки.*

VULNERABILITY ANALYSES OF THE JSON WEB TOKEN DIGITAL SIGNATURE ALGORITHM

The article describes the existing methods of digital signature data technology Json Web Token, analyzes the mechanisms and algorithms for their work. The vulnerabilities of existing digital signature methods are described, as well as ways to protect and level out the possible harm caused by these vulnerabilities. Examples of the most frequently used methods by hackers to crack and grab confidential information using the following shortcomings.

Key words: *vulnerability, protection, algorithm, digital signature, cracking, libraries.*

УДК 004.048

Тільняк Ю.Я.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Корнага Я.І.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

РЕАЛІЗАЦІЯ ГІБРИДНИХ АЛГОРИТМІВ КОНТРОЛЮ В ДІАГНОСТИЦІ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ СУЧАСНИХ БОРТОВИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

У статті розглянуто реалізацію нечітких нейронних алгоритмів для вирішення завдань контролю та діагностики автомобілів на сучасних бортових обчислювальних пристроях. Описано побудову математичної моделі двигунів внутрішнього згорання і класифікатора відмов, відображені їхні переваги і недоліки порівняно з чинними методами діагностики. Методом математичного моделювання досліджено нейромережеві алгоритми для контролю й діагностики технічного стану масляної системи двигуна внутрішнього згорання. Сформовано завдання комплексної оцінки параметрів масляної системи в нейромережевому базисі. Запропоновано інженерну методику, яка може бути застосована на етапах стендових і їздових випробувань автомобільного двигуна внутрішнього згорання.

Ключові слова: система технічної діагностики, двигун внутрішнього згорання, штучна нейронна мережа, електронний блок керування, нейронечіткий алгоритм, алгоритм навчання.

Постановка проблеми. Сучасний автомобіль є складним технічним об'єктом, безвідмовна робота якого визначає безпеку та економічну ефективність експлуатації автомобільної техніки.

При цьому система контролю й діагностики такого двигуна повинна за мінімальний час із максимальною точністю виявляти відхилення робочих параметрів двигуна від заданих, щоб не допустити виникнення відмов, здатних привести до руйнування двигуна.

Системи управління, контролю та діагностики автомобільного двигуна внутрішнього згорання (далі – ДВЗ) працюють в умовах неповноти вимірюваної інформації, шумів вимірювань, конструктивної, параметричної та експертної невизначеності під час оцінки параметрів двигуна в поєднанні з високою складністю процесів, що протікають у двигуні. У таких умовах ефективність класичних методів контролю і діагностики може бути недостатня і тому виникає необхідність застосування інтелектуальних технологій для вирішення поставленого завдання.

Постановка завдання. Електронна система керування автомобільного ДВЗ із повною відповідальністю реалізує управління двигуном на всіх режимах роботи, забезпечуючи його стійку роботу на перехідних режимах, діагностику двигуна і систем, розпізнавання відмов. Основними блоками цієї системи є: блок контролю, реальні показники якого можуть відрізнятися, бортова система контролю і діагностики, система автоматичного управління.

Сьогодні для виявлення відмов застосовується метод передпускового контролю, який полягає в тому, що відстежується перебування вимірюваних величин і їх похідних за часом у заданих межах, при виході за які робиться висновок про відмову. У разі виявлення відмови вимірювального каналу для відновлення втраченої інформації використовуються останні значення вимірюваного параметра. Ефективність такого методу в разі поступової або нечіткої відмови низька, а також невисока точність відновленої інформації, особливо при роботі двигуна на перехідних режимах [6, с. 665].

Для вирішення цієї проблеми виникає необхідність доповнювати класичні методи контролю і діагностики ДВЗ інтелектуальними методами, що мають більш високу ефективність на будь-яких режимах. З вищевказаних методів, крім нейронних мереж і алгоритмів нечіткої логіки, представляють інтерес гібридні інтелектуальні алгоритми, реалізовані на основі комбінації різних інтелектуальних методів [8, с. 256].

Так, для вирішення зазначеного завдання може бути використана інтелектуальна система, в основі якої лежить математична модель на базі нейронної мережі і нейронечіткий класифікатор [9, с. 344]. Така система дозволяє виявляти і класифікувати

нештатні режими роботи електронного блоку керування (ЕБК), вимірювальних каналів і виконавчих механізмів у бортових умовах (рис. 1).

Математична модель ЕБК. Математична модель ЕБК грає роль еталонної моделі в складі бортової системи контролю і діагностики. Порівняння розрахункових даних математичної моделі з даними вимірювальних каналів дозволяє відстежити зміни в контрольованому об'єкті [7, с. 90].

Крім того, ця модель може бути застосована для відновлення даних у вимірювальних каналах. Математична модель описує не стаціонарність робочих процесів ЕБК (таким чином, необхідним є використання динамічної моделі);

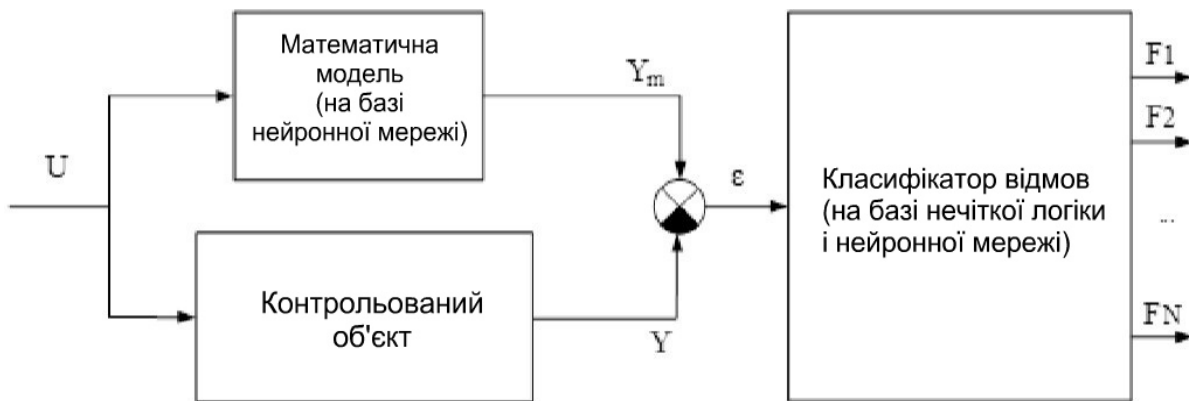


Рис. 1. Структура системи контролю і діагностики

Таблиця 1

Навчальна вибірка математичної моделі

G_i	n_1	n_2	T_4	R_k
116.125	9.664	20.867	833.375	1.125
125.750	10.000	21.758	817.125	1.093
131.125	10.477	22.249	843.437	1.121
132.875	10.820	22.813	860.250	1.144
136.000	11.266	23.414	879.438	1.174
138.375	11.711	24.047	902.250	1.181
139.125	12.305	24.930	933.813	1.202
143.875	12.836	25.758	955.250	1.215
145.750	13.461	26.742	974.687	1.229
208.000	36.742	61.336	616.688	3.196
243.375	43.273	65.945	640.125	3.902
319.500	54.047	71.695	635.688	5.267
425.000	67.203	77.258	637.063	7.135
481.250	72.883	79.461	639.500	8.122
524.250	75.492	80.695	647.625	8.732
582.875	78.594	82.008	663.313	9.404
624.875	80.797	82.906	677.063	9.958

Одним із перспективних напрямів у цій темі є створення математичної моделі на основі нейронних мереж, які відрізняються здатністю до навчання та узагальнення накопичених знань, що дає можливість підлаштувати параметри моделі під властивості конкретного автомобіля на основі даних, отриманих у результаті стендової діагностики.

На рис. 2 показана структура нейромережевої моделі ЕБК, побудованої на основі багатозарового рекурентного перцептрона. Кількість нейронів у прихованому шарі вибирається, виходячи з мінімальної середньоквадратичної помилки навчання нейронної мережі:

Кількість нейронів у прихованому шарі вибирається виходячи з мінімальної середньоквадратичної помилки навчання нейронної мережі (рис. 3) [3, с. 416].

Вибірка експериментальних даних для навчання моделі приведена в табл. 1.

Класифікатор стану двигуна і його систем побудований на основі нейро-нечіткої мережі. Принцип його роботи полягає в тому, що вектор розрахункових даних моделі Y_m (рис. 4) порівнюється поелементно з вектором даних вимірювань Y , потім отриманий вектор помилок ε подається на вхід нейро-нечіткого класифікатора, який на підставі значення помилок і їх похідних по часу видає висновок про справність двигуна або його систем [5, с. 156].

Вихідними сигналами такого класифікатора є такі стани двигуна і систем:

- справний стан;
- відмови вимірювальних датчиків;
- відмови виконавчих механізмів;
- відмови двигуна;
- відмови системи ЕБУ.

На рис. 5 зображено графік вибірки навчальних даних, у яких моделюється поступова відмова датчика температури газів (лямбда зонд).

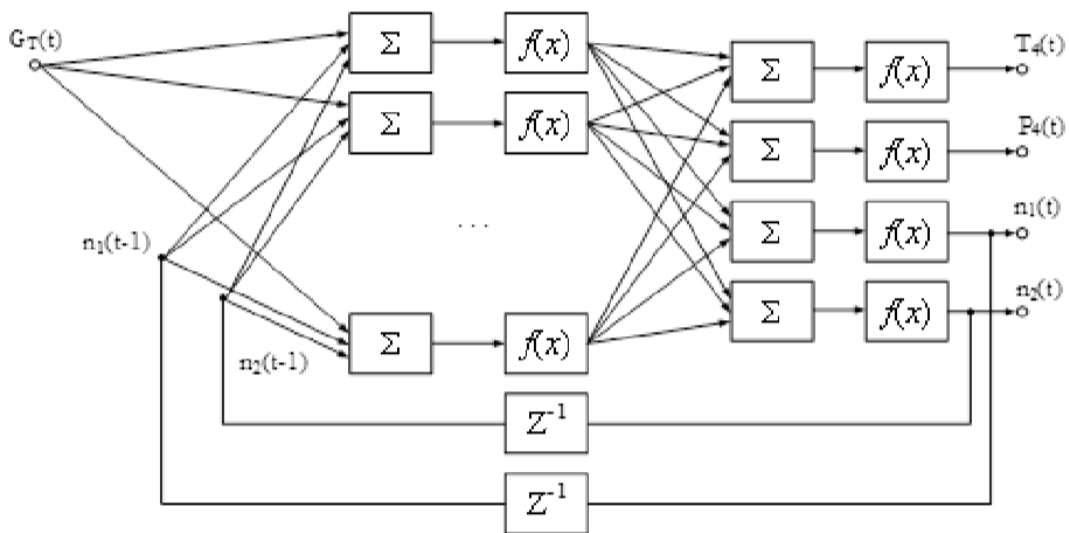


Рис. 2. Структура нейромережевої моделі ЕБК

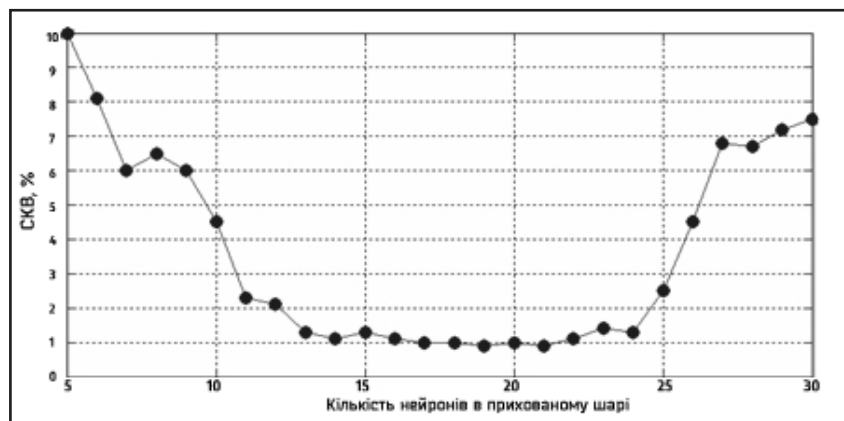


Рис. 3. Помилка нейронної мережі в залежності від кількості нейронів прихованого шару

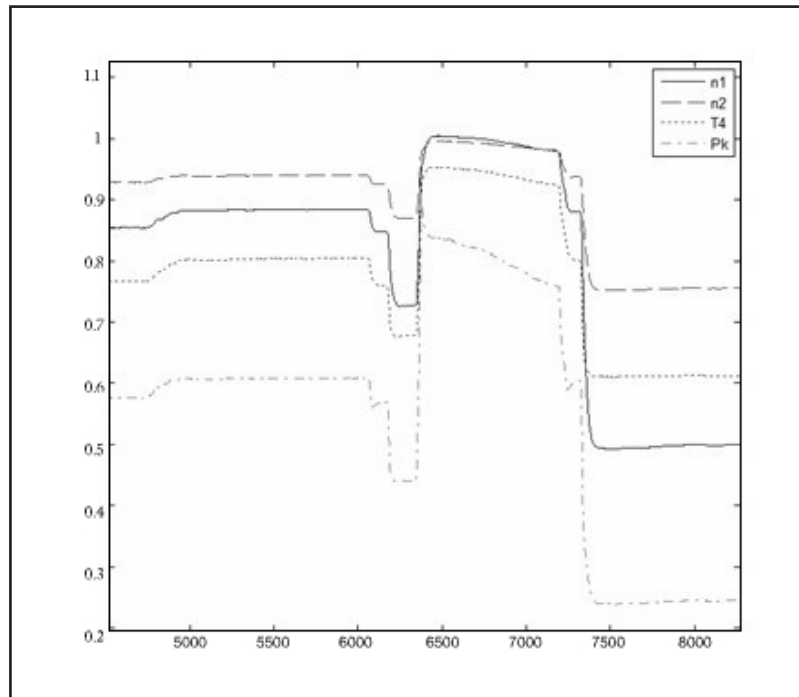


Рис. 4. Розрахункові дані нейромережевої моделі ЕБУ

Порівняльний аналіз точності класичного і нейронечітких методів класифікації відмов наведено в табл. 2. У ній зображено ймовірності помилок 1 і 2 роду під час класифікації відмови вимірювального каналу температури газів за турбіною, дефектів компресора і камери згорання. Дані, наведені в табл. 2, доводять, що інтелектуальні методи більш ефективно і якісно здійснюють процес ідентифікації відмов у вузлах і агрегатах двигуна внутрішнього згорання [2, с. 96].

Вибір алгоритмів навчання

Алгоритмами навчання НМ були:

- алгоритми зворотного поширення помилки (Back Propagation);
- квазіньютонівський алгоритм (Quasi Newton);
- алгоритм сполучених градієнтів (Conjugate Gradients) і їх комбінації.

Аналіз отриманих результатів показав, що найбільш прийнятним є використання квазіньютонівського алгоритму, який забезпечує високу швидкість збіжності й точність процесу навчання [4, с. 256].

Оцінка ефективності результатів ідентифікації. У результаті порівняльного аналізу

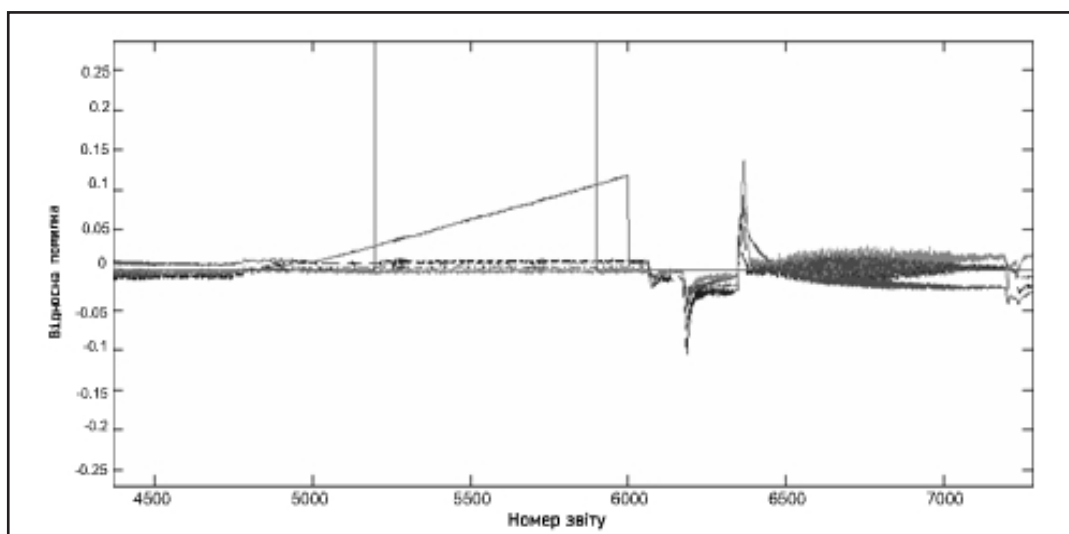


Рис. 5. Графік вибірки навчання класифікатора відмов

точності нейромережових (перцептрон, радіально-базисних функцій (далі – РБФ), модульна нейронна мережа) і класичних методів: найменших квадратів (далі – МНК) та групового обліку аргументу (далі – МГУА). Ідентифікації масляної системи ДВЗ було проаналізовано за 8 параметрами (табл. 3), де було встановлено, що максимальна похибка ідентифікації при використанні НМ перцептрон у 2,2 рази (Т1002) менше, ніж для поліноміальної регресійної моделі 12-го порядку, побудованої за допомогою МНК і в 1,4 рази менше, ніж МГУА, а модульної НМ і для РБФ менше відповідно в 1,2 і в 1,45 рази. При цьому перцептрон забезпечує похибка ідентифікації, що не перевищує 0,6%; модульна НМ – 0,75%; НМ РБФ і МГУА – 0,8%; МНК – 0,95 % [10, с. 323].

Із метою аналізу стійкості нейронних мереж до зміни вхідних даних (табл. 1) до них додавалася адитивна перешкода щодо поточного значення кожного з параметрів у вигляді білого шуму з нульовим математичним очікуванням і $\sigma_i = \pm 0,01$ (табл. 4) [1, с. 240].

Результати аналізу точності ідентифікації для 8 параметрів масла ДВЗ в умовах дії шуму показали такі результати: НМ перцептрон – 0,76%; модульна НМ – 0,87%; НМ РБФ – 1,32%; МГУА – 0,93%; МНК – 7,41%.

Похибка ідентифікації масляної системи моделі ДВЗ за допомогою перцептрона не перевищила 0,6%; для модульної НМ – 0,75%; для НМ РБФ і МГУА – 0,8%, тоді, як для класичного методу вони становлять близько 0,95% у розглянутому діапазоні зміни режимів роботи

Нейромережові методи більш робастні до зовнішніх збурень: для рівня шуму $\sigma = \pm 0,01$ похибка ідентифікації ДВЗ при використанні перцептрона виросла з 0,6 до 0,769%; для модульної НМ з 0,75 до 0,85% для НМ РБФ з 0,8 до 1%, а для методу найменших квадратів – з 0,95 до 7,4%.

Поверхні відгуку для параметра – приведена температура зливу з опори турбіни Т606, побудована з використанням методу найменших квадратів (поліном 12 порядку) і нейромережових методів (НМ перцептрон) в умовах адитивної перешкоди ($M = 0$; $\sigma = \pm 0,01$)

Таблиця 2

Порівняльний аналіз методів

Метод класифікації відмов	Імовірність помилки визначення відмови, %					
	Відмова вимірювального каналу t4		Дефект компресора низького тиску		Дефект камери згоряння	
	Помилка 1 роду	Помилка 2 роду	Помилка 1 роду	Помилка 2 роду	Помилка 1 роду	Помилка 2 роду
Допусковий контроль	1,21	0,75	1,72	1,17	2,41	1,93
Інтелектуальний метод	0,47	0,27	0,56	0,41	0,77	0,55

Таблиця 3

Ідентифікації масляної системи ДВЗ

Методи обчислень	Параметри масляної системи ДВЗ, %							
	d_T4	T606	T607	d_T606	T1002	T1003	Tm	Pm
МНК	0,945	0,350	0,278	0,459	0,281	0,288	0,229	0,176
МГУА	0,832	0,235	0,316	0,391	0,182	0,199	0,223	0,144
НМ РБФ	0,814	0,245	0,265	0,352	0,189	0,165	0,196	0,148
Модульна НМ	0,747	0,228	0,246	0,344	0,153	0,168	0,218	0,134
НМ перцептрон	0,574	0,222	0,251	0,327	0,130	0,152	0,196	0,126

Таблиця 4

Ідентифікації масляної системи ДВЗ із додаванням білого шуму

Методи обчислень	Параметри масляної системи ДВЗ, %							
	d_T4	T606	T607	d_T606	T1002	T1003	Tm	Pm
МНК	7,413	2,248	2,621	3,573	2,188	1,833	1,894	1,675
МГУА	0,932	0,355	0,529	0,664	0,472	0,375	0,467	0,668
НМ РБФ	1,037	1,142	1,157	1,126	1,221	1,321	1,236	1,212
Модульна НМ	0,872	0,343	0,362	0,395	0,210	0,210	0,263	0,358
НМ перцептрон	0,755	0,285	0,315	0,352	0,189	0,175	0,227	0,262

Висновки. На основі аналізу було встановлено такі переваги використання нейромережових і нейронечітких алгоритмів для вирішення вищезазначених завдань: підвищення ефективності діагностики нечітких відмов; простота навчання і до навчання застосовуваних моделей; точність обчислень в умовах «не-факторів».

У процесі розв'язання завдань ідентифікації математичної моделі масляної системи ДВГ на

основі нейронної мережі було встановлено, що НМ вирішують завдання ідентифікації, точніше класичних методів: похибка ідентифікації НМ типу перцептрон в 1,4 рази менше ніж у регресійній моделі, отриманій за допомогою МНК для розглянутого діапазону зміни режимів роботи двигуна.

Наведені приклади показують ефективність вирішення перерахованих вище завдань за допомогою нейронної мережі.

Список літератури:

1. Буртаев Ю.Ф., Острейковский В.А. Статистический анализ надежности объектов по ограниченной информации. Москва: Энергоатомиздат, 1995. 240 с.
2. Глухов В.В. Техническое диагностирование динамических систем. Москва: Транспорт, 2000. 96 с.
3. Галушкин А.И. Теория нейронных сетей. Москва: ИПРЖР, 2000. 416 с.
4. Головкин В.А. Нейронные сети: Обучение, организация и применение. Москва: Радиотехника, 2001. 256 с.
5. Дубравский Н.Г., Егоров И.В., Знаменков О.К. Структура и алгоритмы системы диагностики двигателей по функциональным параметрам. Москва: ЦИАМ. 1984. № 10261. 156 с.
6. Ключев В.В. Контроль. Диагностика. Энциклопедия. Москва: Машиностроение, 2000. Т. VII. 665 с.
7. Кокорев Г.Д. Математическая модель изменения технического состояния мобильного транспорта в процессе эксплуатации. Вестник РГАТУ. 2012. № 4(16). С. 90–93.
8. Кокорев Г.Д. Повышение эффективности системы технической эксплуатации автомобилей в сельском хозяйстве на основе инженерно-кибернетического подхода. Рязань, 2014. 483 с.
9. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации. Финансы и статистика. 2002. 344 с.
10. Сычѳв А.М., Брагин Т.М., Степанов М.Ф., Степанов А.М. Построение математической модели дизель-генератора по данным эксперимента. Саратов: СГТУ, 2008. С. 323–326.

РЕАЛИЗАЦИЯ ГИБРИДНЫХ АЛГОРИТМОВ КОНТРОЛЯ В ДИАГНОСТИКЕ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ БОРТОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

В статье рассмотрена реализация нечетких нейронных алгоритмов для решения задач контроля и диагностики автомобилей на современных бортовых вычислительных устройствах. Описано построение математической модели двигателей внутреннего сгорания и классификатора отказов, выражены их преимущества и недостатки по сравнению с действующими методами диагностики.

Методом математического моделирования исследованы нейросетевые алгоритмы для контроля и диагностики технического состояния масляной системы двигателя внутреннего сгорания. Сформулированы задачи комплексной оценки параметров масляной системы в нейросетевом базисе.

Предложено инженерную методику, которая может быть применена на этапах стендовых и ездовых испытаний автомобильного двигателя внутреннего сгорания.

Ключевые слова: система технической диагностики, двигатель внутреннего сгорания, искусственная нейронная сеть, электронный блок управления, нейронечіткий алгоритм, алгоритм обучения.

REALIZATION OF HYBRID ALGORITHMS OF CONTROL IN THE DIAGNOSTICS OF THE INTERNAL CONDITIONING ENGINE WITH USING MODERN PASSENGER CIRCUIT DEVICES

The article considers the implementation of fuzzy neural algorithms for solving the problems of control and diagnostics of cars on modern onboard computers. The construction of a mathematical model of internal combustion engines and a failure classifier are described, their advantages and disadvantages are compared with the current methods of diagnostics.

The neural network algorithms for control and diagnostics of the technical condition of the oil system of the internal combustion engine were investigated by mathematical modeling. The problem of complex estimation of parameters of the oil system in the neural network basis is formed.

The engineering methods that can be applied at the stages of bench and ride tests of the automobile internal combustion engine are suggested.

Key words: system of technical diagnostics, internal combustion engine, artificial neural network, electronic control unit, neuro-fuzzy algorithm, training algorithm.

Чекурін В.Ф.

Інститут прикладних проблем механіки і математики імені Я.С. Підстригача НАН України

Химко О.М.

Національний університет «Львівська політехніка»

МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІЙ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ГАЗОТРАНСПОРТНИМИ СИСТЕМАМИ

Із використанням методології IDEF0 та еталонної моделі PERA проведено аналіз функцій управління газотранспортними системами (ГТС). На цій основі визначені функції програмної системи для автоматизації управління ГТС. Деталізовано функції автоматизації оперативного управління магістральними газопроводами. Результати можна використати за розроблення архітектури системи автоматизації управління ГТС

Ключові слова: управління підприємствами, модель PERA, методологія IDEF0, автоматизація, програмні комплекси, MES-системи.

Постановка проблеми. Газотранспортна система (далі – ГТС) – це складний інженерний комплекс, який об'єднує магістральні газопроводи (далі – МГ) та підземні сховища газу (далі – ПСГ), оснащені компресорними станціями (далі – КС) та інші технологічними елементами [1; 2]. Управління ГТС має на меті: гарантоване доставлення природного газу з входів системи на її виходи в заданих об'ємах і в заданий час, забезпечення заданого рівня екологічної безпеки; підтримання системи у технічному стані, який забезпечує її належне функціонування, отримання максимального прибутку від роботи ГТС. Для ефективного виконання цих завдань необхідна автоматизація управління на всіх рівнях адміністративної структури.

Метою роботи є аналіз функцій управління ГТС та побудова на цій основі моделей функціональності програмної системи для автоматизації управління (далі – САУ) ГТС.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На ринку програмно-технічних систем для автоматизації управління виробничими підприємствами є чимало пропозицій для газотранспортної галузі. Це PI System – програмна система для управління даними і подіями в реальному часі [3], модульні системи прикладних програм PSI GMS фірми PSI [4] та SIMATIC IT фірма SIEMENS [5], призначені для автоматизованого контролю, моніторингу, аналізу та менеджменту в газотранспортній

галузі, розробка SIMONE фірми «Simone Research Group» [6] та інші.

З українських розробок відзначимо програмні продукти відділу розробки систем оптимального планування та прогнозування режимів роботи ГТС Науково-дослідного інституту транспорту газу ПАТ «Укртрансгаз», які впроваджуються на підприємствах ПАТ «Укртрансгаз» [7].

Деякі нові підходи до побудови комп'ютеризованих систем автоматизації управління ГТС розглянуті у публікаціях [8-10].

Виклад основного матеріалу досліджень. Для аналізу функцій управління ГТС, механізмів їх реалізації та зовнішніх чинників, які впливають на здійснення цих функцій, застосуємо методологію функційного моделювання IDEF0 [11]. За цим

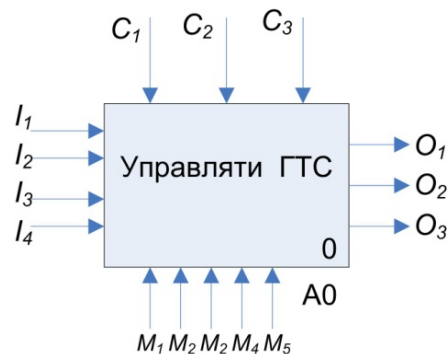


Рис. 1. IDEF0 діаграма функції управління ГТС

підходом будь-яка функція зображується блоком (прямокутником), що має множини входів (стрілки зліва) та виходів (стрілки справа). Стрілки знизу відповідають механізмам, які використовуються для реалізації функції, а стрілки зверху представляють зовнішні управління та обмеження. На рис. 1 показана діаграма IDEF0 нульового рівня для функції A0 – управління ГТС.

Входами блоку A0 є інформація про: I_1 – потреби постачальників газу, I_2 – потреби споживачів газу, I_3 – середовище функціонування системи, та I_4 – актуальний стан системи.

Виходами блоку є: O_1 – документи, O_2 – команди управління персоналом і O_3 – сигнали керування обладнанням.

Механізмами реалізації функції управління ГТС є: M_1 – методи та засоби адміністративного менеджменту, M_2 – інтелектуальний та виробничий потенціали, M_3 – фінансові та матеріальні ресурси, M_4 – інформаційні ресурси, M_5 – методи та засоби автоматизації управління та керування технологічними процесами.

Зовнішнє керування визначають: C_1 – державне та міжнародне законодавство, C_2 – закони та принципи ринкової економіки, C_3 – галузеві стандарти, технічні умови та вимоги.

Таким чином, система управління ГТС, базуючись на інформації про потреби постачальників і споживачів природного газу, а також про бізнес-середовище, в якому функціонує ГТС, та про її актуальний стан, продукує інформацію, необхідну для переведення ГТС у стан, який забезпечує

задоволення потреб постачальників та споживачів природного газу та досягнення максимальної економічної вигоди. Ця інформація містить плани роботи усіх складових частин адміністративної та виробничої структур, які забезпечують їх функціонування у цьому стані впродовж заданого періоду часу. Система управління виробляє також команди управління персоналом і сигнали керування обладнанням, які забезпечують перебування ГТС у цьому стані впродовж усього періоду. Для цього вона використовує методи та засоби адміністративного менеджменту, інтелектуальний та виробничий потенціали, фінансові, матеріальні та інформаційні ресурси, методи та засоби автоматизації управління, а також методи та засоби автоматизації технологічних процесів. Реалізуючи цю функцію, система управління керується державним та міжнародним законодавством, законами та принципами ринкової економіки, галузевими стандартами, технічними умовами та вимогами.

На рис. 2 показано декомпозицію блока рис. 1.

В еталонній моделі PERA [12] систему управління виробничим підприємством представляють п'ятирівневою структурою.

На нульовому (найнижчому) рівні моделі PERA діють технологічні процеси. Перший та другий – рівні керування технологічними процесами, третій – рівень оперативного управління (англ. Manufacturing Operations Management — MOM). Четвертий (корпоративний) – рівень бізнес-планування та логістики (або стратегічне управління).

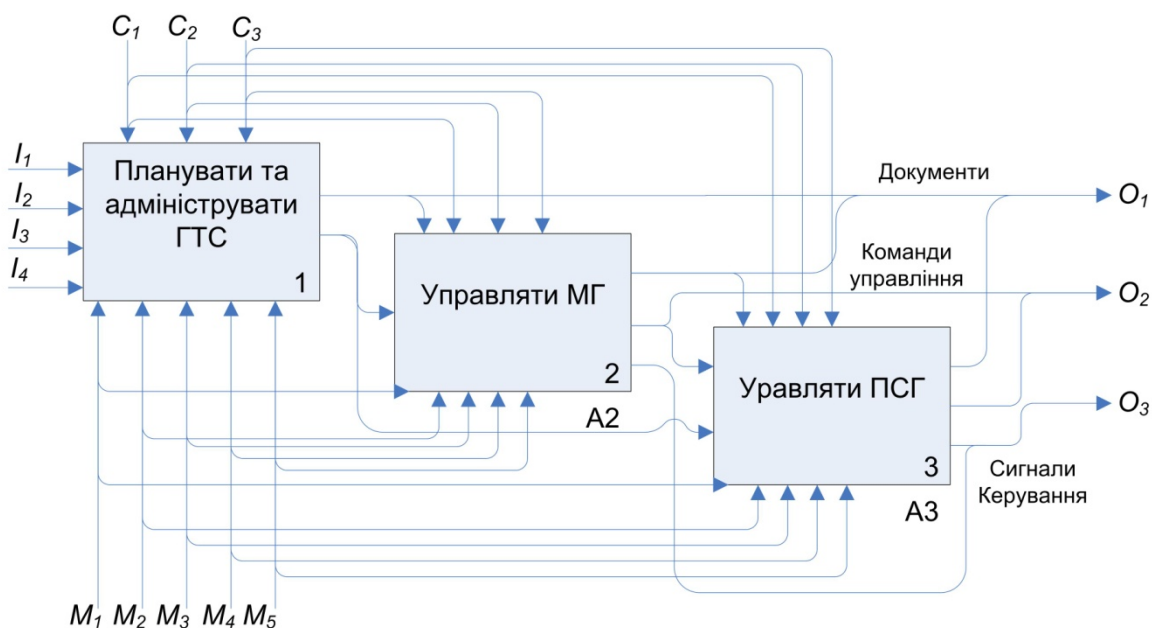


Рис. 2. Декомпозиція функції A0 – «Управляти ГТС»

Блок 1 на діаграмі рис. 2 відносимо до четвертого рівня. Він реалізує функцію управління комерційними процесами, визначальними для виробничої діяльності усієї корпорації. Менеджмент корпоративного рівня має на меті перспективне (стратегічне) і короткотермінове (тактичне) планування виробництва, постачання, збут, управління модернізацією та розвитком виробництва тощо. Процеси четвертого рівня діють на часових відрізках тривалістю місяць, тиждень, день. Цей блок формує інформацію у вигляді документів і даних (верхній вихід блоку) і передає їх блокам 2 та 3 як зовнішні обмеження та управління. Блок 1 формує також команди

управління персоналом, які надходять на входи блоків 2 та 3 з нижнього його виходу. Блоки 2 та 3 видають на своїх виходах документи, команди управління персоналом та сигнали керування обладнанням, які з'являються.

На рас. 2 та 3 показні діаграми декомпозиції блоків 2 та 3 рис.2, які реалізують функції A2 – «Управляти МГ» та A3 – «Управляти ПСГ».

На входи I_{21} та I_{31} блоків 2.1 та 3.1 функції A2 та A3 відповідно надходять команди управління персоналом з блоку 1 функції A0. Стрілки зверху C_{21} та C_{31} в цих блоках зображують документи, вироблені блоком 1 функції A0, які регламентують роботу функцій A2 та A3.

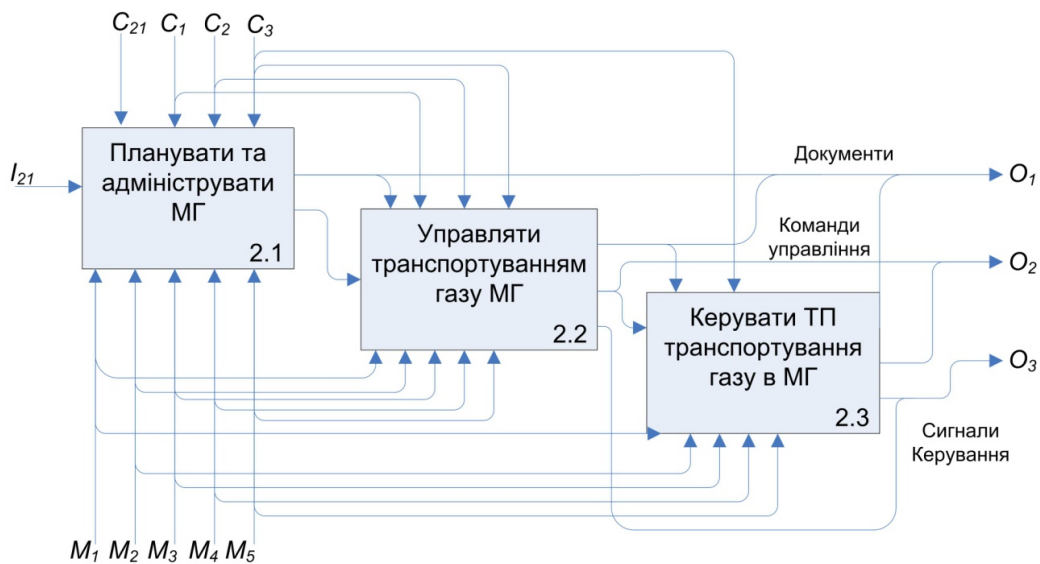


Рис. 3. Декомпозиція функції A2 – «Управляти МГ»

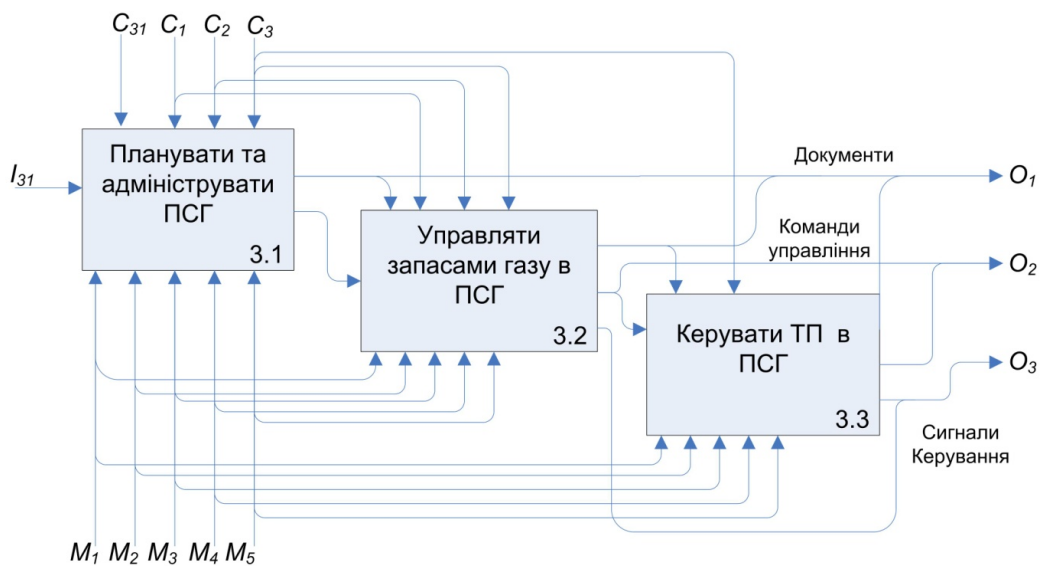


Рис. 4. Декомпозиція функції A3 – «Управляти ПСГ»

Відношення між моделями IDEF0 та PERA.

Запропонована функційна модель управління ГТС легко накладається на модель функціональної ієрархії PERA (див. рис. 5).

Як бачимо, на корпоративному рівні діють функції планування та адміністрування ГТС та її основними складниками – МГ та ПСГ. Рівень оперативного управління представлений функціями «Управляти транспортуванням газу МГ» та «Управляти запасами газу в ПСГ». На цьому рівні формуються алгоритми керування технологічним обладнанням, параметрами технологічних процесів, виробничим персоналом, матеріальними ресурсами, енергією та транспортованими потоками. Тривалості процесів третього рівня визначаються днями, робочими змінами, годинами, хвилинами і секундами.

На нижніх рівнях моделі PERA – другому (вбудовані мікропроцесорні системи автоматики) та першому (виконавчі пристрої автоматики – сенсори та актуатори) діють функції 2.3. та 3.3 IDEF0 моделі. Процеси першого рівня протікають у реальному часі фізичних процесів, тобто їхні параметри змінюються на часових періодах порядку секунд і менших.

Функції програмного комплексу САУ ГТС.

Базуючись на відповідності між функціями управління ГТС та рівнями базової моделі функціональної ієрархії PERA (див. рис.5), програмний комплекс САУ ГТС можна будувати сукупністю програмних систем, призначених для автоматизації управління ГТС на корпоративному й оперативному рівнях, і систем автоматизації керування

технологічними процесами (САК ТП).

Актуальний стан АТП ГТС України відповідає сучасним вимогам. Тут встановлені і функціонують системи на основі сенсорних мереж, програмованих логічних контролерів та SCADA-систем [14]. Відчутний прогрес у розвитку САК ТП можна пояснити тим, що галузева специфіка й істотні технологічні відмінності української ГТС, порівняно із газотранспортними системами Європи чи США, проявляються на рівні керування ТП не так сильно. Тому впровадження існуючих комп'ютеризованих систем автоматики не вимагає значних коштів. Це стосується також і управління ГТС на корпоративному рівні. Тому останнім часом спостерігається модернізація цього рівня управління на засадах комп'ютеризації. Тут використовують ERP системи, розроблені SAP AG і призначені для управління бізнес-процесами і стосунками з клієнтами [15].

Водночас в оперативному управлінні специфіка української ГТС є найбільш відчутною. Тому впровадження існуючих систем відомих світових брендів для автоматизації оперативного управління ГТС України вимагають суттєвої адаптації й, відповідно, додаткових фінансових затрат.

Тож економічно виправданим є створення САУ ГТС для оперативного рівня власними силами. Беручи до уваги стан автоматизації управління української ГТС, таку систему доцільно створювати як MES систему, використовуючи методологію, стандартизовану в ANSI/ISA-95. Це дозволить, використовуючи наявні вже засоби автоматизації технологічних процесів і прикладне

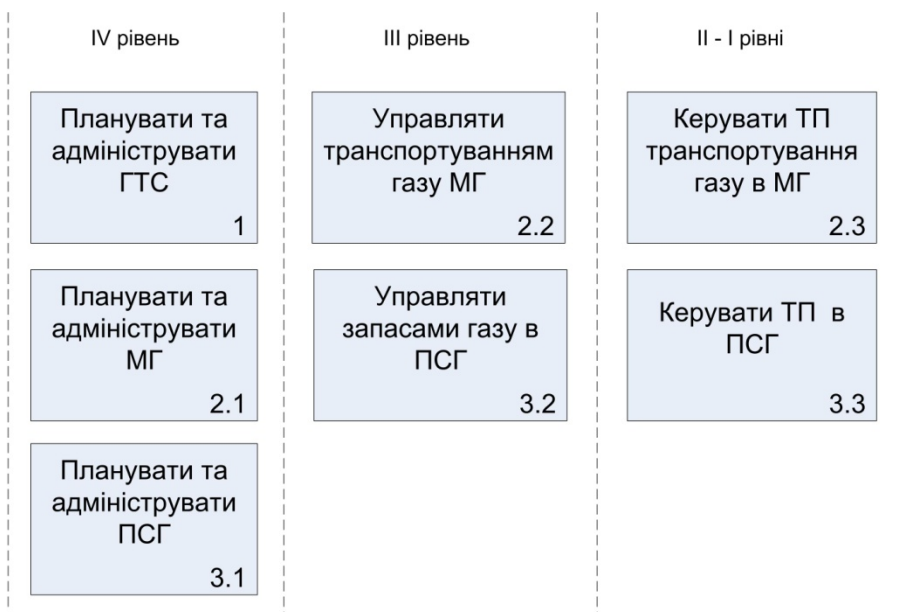


Рис. 5. Функції управління ГТС в контексті моделі PERA

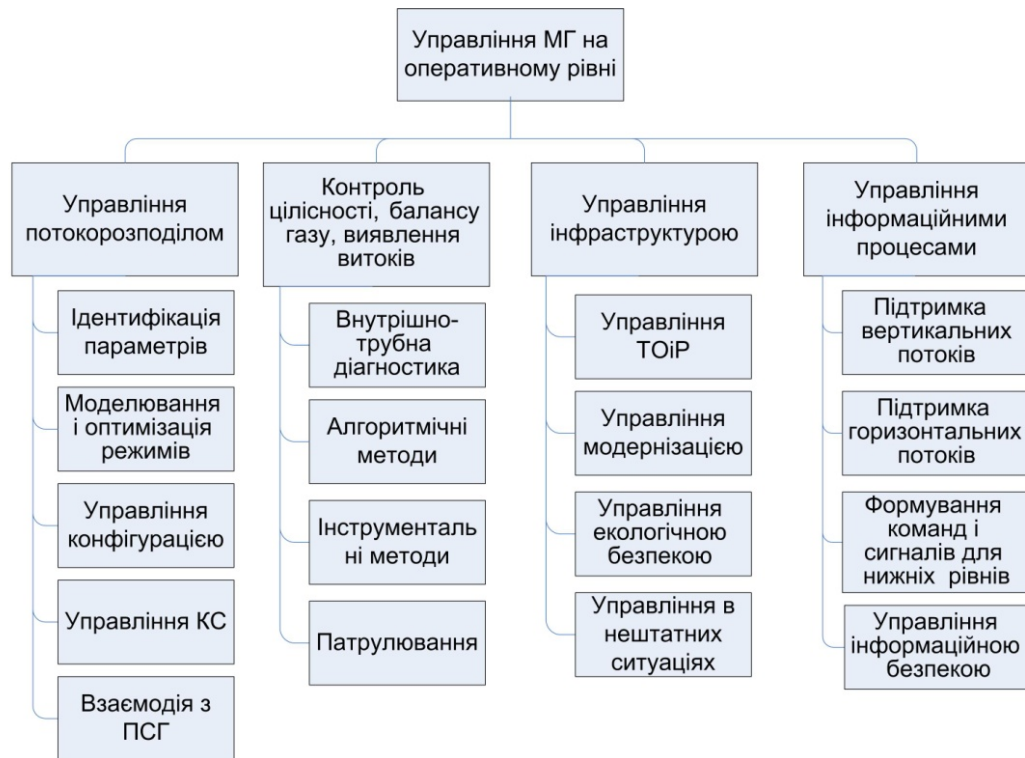


Рис. 6. Основні функції САУ МГ на оперативному рівні

програмне забезпечення рівня бізнес-планування та логістики і впровадити автоматизований обмін інформацією між нижніми рівнями моделі PERA та корпоративним управлінням.

На рис. 6 показано основні функції САУ оперативного управління магістральними газопроводами. Система надає підтримку в чотирьох напрямках оперативного управління МГ.

Управління потокорозподілом має мету формування потоків у мережі МГ, які забезпечують потреби постачальників і споживачів газу. Із цією метою, застосовуючи математичні моделі структури ГТС та моделі динаміки газу, а також методи математичного моделювання й оптимального керування, формуються конфігурація мережі, режими роботи КС і взаємодія МГ із ПСГ. Оскільки в процесі експлуатації МГ характеристики технологічних об'єктів лінійної частини і КС змінюються, то передбачено спеціальну функцію ідентифікації параметрів математичних моделей шляхом розв'язування відповідних обернених задач, сформульованих в межах математичних моделей динаміки газу з використанням даних вимірювання параметрів газових потоків в мережі.

Друга група функцій САУ МГ відповідає за автоматизацію контролю цілісності технологічних об'єктів, балансування газу і виявлення витоків [16]. Третя група забезпечує автоматизацію

процесів експлуатації об'єктів МГ – проведення технічного обслуговування і ремонтів (ТОіР), модернізації, опрацювання нештатних ситуацій та заходів екологічної безпеки.

Четверта група функцій, виконує одне з основних завдань САУ МГ – підтримує автоматизований обмін інформацією між усіма рівнями управління моделі PERA.

Висновки. Спираючись на моделі PERA, функції управління ГТС можна розподілити між її рівнями. Оперативне управління ГТС передбачає оптимальне керування потоками газу в мережі МГ і в ПСГ. Це вимагає розв'язування в реальному часі початково-крайових задач для нелінійних рівнянь із частинними похідними. На цьому рівні найбільше проявляються відмінності української ГТС від систем транспортування газу західних країн. Розроблені для них системи автоматизації оперативного управління складно адаптувати до потреб української ГТС. Систему автоматизації оперативного управління ГТС України доцільно створювати у вигляді двох систем, що взаємодіють між собою, – САУ МГ і САУ ПСГ. САУ МГ слід створювати як MES систему. Це дозволить пов'язати інформаційними потоками САУ усіх рівнів управління.

Запропонована модель функцій САУ МГ та відповідна модель функцій САУ ПСГ дозволять розробити архітектуру цих програмних систем.

Список літератури:

1. The Interstate Natural Gas Transmission System: Scale, Physical Complexity and Business Model. URL: <http://www.ingaa.org/?ID=10724> (дата звернення 05.04.2018).
2. Укртрансгаз. Характеристика газотранспортної системи України. URL: [https:// http://utg.ua/utg/gts/description.html](https://http://utg.ua/utg/gts/description.html) (дата звернення 05.04.2018).
3. PI System Architecture, Planning and Implementation Course. URL: <http://cdn.osisoft.com/learningcontent/pdfs/PISystemArchitecturePlanningAndImplementationWorkbook.pdf> (дата звернення 05.04.2018).
4. Gas Management Suite Smart Operation and Management of Gas Grids and Storage. URL: http://www.psoilandgas.com/fileadmin/files/downloads/PSI_GO/psi_gas_management_suite.pdf (дата звернення 05.04.2018).
5. SIMATIC IT для построения MES-систем. URL: http://www.siemens.com/simatic_it (дата звернення 05.04.2018).
6. SIMONE Research Group. Solutions for simulation and optimization in the gas industry. URL: <http://www.simone.eu> (дата звернення 05.04.2018).
7. Система моделювання, планування, оптимізації та формування параметрів керування газопотоками. URL: http://www.mathcenter.com.ua/docs/GasPresentation_ua.pdf (дата звернення 05.04.2018).
8. Чекурін В., Притула М., Химко О. Моделювання архітектури та функціональності програмно-технічного комплексу для автоматизації управління магістральними газопроводами. Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології. 2013. № 18. С. 209-218.
9. Чекурін В.Ф., Притула М.Г., Химко О.М. Методологія MES і комп'ютеризація управління ГТС. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія «Комп'ютерні системи та мережі». 2014. № 806. С. 275-283.
10. Пономарьов Ю.В., Притула М.Г., Химко О.М., Чекурін В.Ф. Автоматизація управління ГТС: стан та перспективи розвитку з використанням MES. Нафтогазова галузь України. 2015. № 5. С. 40-45.
11. Menzel C., Mayer R.J. The IDEF Family of Languages. Handbook on Architectures of Information Systems. International. Handbooks on Information Systems. 2006. P. 215-249.
12. Bernus P., Nemes L. A framework to define a generic enterprise reference architecture and methodology. Computer Integrated Manufacturing Systems. 1996. Vol. 9 (3). P. 179-191.
13. Коваль М.В., Багдасар'ян Г.М. До проблеми формування україномовної технічної термінології. Науково-технічне слово. 1993. № 1. С. 75-78.
14. Назаренко І.В., Ференець В.Д., Суханов Д.Є., Николайчук М.Я. Побудова і моделювання уніфікованих систем управління виконавчими механізмами об'єктів газотранспортної системи. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2014. № 1(2). С. 41-48.
15. Розпочато промислову експлуатацію автоматизованої системи управління SAP. Трубопровідний транспорт. 2013. № 1(79). С. 4.
16. Чекурін В.Ф., Химко О.М. Моделювання системи виявлення та ідентифікації витоків в магістральних газопроводах. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: «Технічні науки». 2018. Т. 29(68). Ч. 2. № 1. С. 52-57.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИЙ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА
ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОТРАНСПОРТНЫМИ СИСТЕМАМИ**

С использованием методологии IDEF0 и эталонной модели PERA проведен анализ функций управления газотранспортными системами (ГТС). На этой основе определены основные функции программной системы для автоматизации управления ГТС. Детализированы функции автоматизации оперативного управления магистральными газопроводами. Результаты могут быть использованы при разработке архитектуры системы автоматизации управления ГТС

Ключевые слова: *управление предприятиями, модель PERA, методология IDEF0, автоматизация, программные комплексы, MES-системы.*

**FUNCTIONAL MODELING OF THE PROGRAM COMPLEX
FOR AUTOMATION OF MANAGEMENT BY GAS TRANSMISSION SYSTEMS**

With application of the IDEF0 methodology and the reference model PERA analysis of functions for management by gas transmission system (GTS) has been performed. On this basis the main functions of program system for automation of the management by GTS have been defined. The functions for operational management by the gas mains are defined in detail. The results can be used for development of the system for automation of GTS management.

Key words: *Enterprise management, PERA model, IDEF0 methodology, management automation, software complexes, MES.*

УДК 004.896

Шевченко В.В.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Засць С.С.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Богачов Є.В.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Коробцов Є.І.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

СИСТЕМА ДІАГНОСТИКИ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ НА ВЕРСТАТАХ ІЗ ЧПК

У статті розглядається система діагностики працездатності різального інструменту в умовах автоматизованого виробництва, яка базується на вимірюванні сигналу акустичної емісії та потужності різання. Вона дозволяє контролювати інтенсивність зношування різального інструменту та прогнозувати його працездатність, що дає можливість підвищити точність, якість та ефективність механообробки.

Ключові слова: діагностика, процес різання, автоматизація, різальний інструмент, зношення, працездатність різального інструменту.

Вступ. Виробничі обсяги мають чітку тенденцію до зростання, вимоги до нової продукції змушують шукати нові технології виробництва та вдосконалювати вже відомі. За таких умов для виготовлення якісної продукції у великих кількостях необхідно проводити ретельний моніторинг і контроль виробництва на всіх етапах виготовлення виробів. Надзвичайно важливою складовою частиною є діагностика працездатності різального інструменту безпосередньо в момент процесу механічного оброблення деталі. Натепер існує безліч систем діагностики різального інструменту, заснованих на вимірі сигналу акустичної емісії, сили різання, електричних параметрів тощо, які дозволяють відслідковувати стан різального інструменту безпосередньо в процесі різання [1]. Незважаючи на все це, проблема підвищення надійності, точності, швидкодії, а також простота технічного використання систем діагностики залишається актуальною. Удосконалення існуючих систем діагностики має бути орієнтованим на підвищенні точності, надійності

технічної простоти реалізації в умовах автоматизованого виробництва.

Постановка проблеми. У процесі механічного оброблення робочі поверхні різального інструменту піддаються впливу різних роду, зокрема фізико-механічного та хімічного складу, що зменшує працездатність різального інструменту через вплив пластичної деформації, пошкодження чи зношення інструменту. Поступово зростаючий розмір зношення як на задній, так і на передній поверхні інструмента призводить до руйнування конструктивних елементів різального інструмента. Унаслідок цього, знижується якість і точність механічного оброблення, зростає відсоток браку, знижується продуктивність. Виробництво стає недоцільним і економічно збитковим [4].

Тому вкрай необхідним є використання системи діагностики працездатності різального інструменту, безпосередньо в процесі механічного оброблення, що дасть можливість своєчасно проводити заміну різального інструменту, а також

виключить можливість непередбаченого виходу з ладу самого інструменту, втрати працездатності.

Система діагностики працездатності різального інструменту повинна забезпечувати отримання точної інформації про стан різального інструменту, проводити контроль стану різального інструменту в режимі реального часу, містити непередбачені відмови у своїй роботі, а також знизити ймовірність неправильної оцінки працездатності різального інструменту і неправильних дій системи автоматизованого контролю процесу оброблення. Також система діагностики повинна мати можливість використання в умовах автоматизованого виробництва без особливих конструктивних змін технологічно-оброблювальних систем (далі – ТОС) [5].

Постановка завдання. Метою роботи є удосконалення існуючих систем діагностики шляхом створення системи на основі контролю параметрів акустичної емісії та потужності різання.

Виклад основного матеріалу досліджень. Процес різання супроводжується різноманітними фізико-хімічними явищами (механічними, електричними, тепловими, адгезійними, дифузійними тощо), які виникають в результаті взаємодії інструменту із заготовкою. Усі ці явища у своїх параметрах несуть відображену інформацію про процес різання, знаючи їх залежність від зносу, можна оцінити величину зносу різального інструменту, а також залишкову стійкість [6].

На підставі проведених експериментальних досліджень, можна зробити висновок, що найбільш інформативними параметрами, із яких можна з упевненістю судити про стан різального інструменту, є акустична емісія і потужність різання [2].

Тому, система діагностики працездатності різального інструменту має бути заснована на вивченні сигналу акустичної емісії та потужності різання.

Але переважальним параметром вважається акустична емісія зони різання, яка виникає внаслідок дії домінуючих фізико-механічних процесів різання і повністю характеризує процеси, які виникають під час різання [3], тому в цій системі, основна оцінка стану інструменту і коригування процесу обробки, буде проводитися за сигналом акустичної емісії (далі – АЕ).

Ця система діагностики працездатності різального інструменту має два контури контролю. Перший контур – швидко реагуюча підсистема аварійної зупинки, яка на підставі потужності різання, у випадку її виходу з допустимої межі, виробляє

швидко, але безпечно (без непередбачуваних наслідків) аварійну зупинку. Аварійна зупинка може бути викликана різким підвищення сили різання, причиною чого може бути затуплення різального інструменту, наявність у матеріалі заготовки твердих включень або непередбачуване збільшення глибини різання при чорновому обробленні деталі. Також основною причиною аварійної зупинки може бути пошкодження інструмента. Усі ці непередбачені фактори легко відстежити і відреагувати на них, аналізуючи зміни потужності різання [7].

Другий контур – підсистема оцінки і прогнозування стану різального інструменту, що здійснюється на основі комбінаційного параметра АЕ [3], який має вигляд:

$$W_M = \frac{A^2 * N_{\Sigma}}{P_c}, \quad (1)$$

де $A^2 * N_{\Sigma}$ – потужність акустичної емісії; A – амплітуда сигналу АЕ; N_{Σ} – активність сигналу АЕ; P_c – потужність різання [11].

Значення амплітуди і активності сигналу АЕ визначається аналізом вимірюваного сигналу акустичної емісії, а потужність різання розраховується за такою формулою [8]:

$$P_c = \frac{V_c * t * f_n * k_{c0.4} * k_{p\phi} * k_{pf}}{60 * 10^3}, \quad (2)$$

де V_c – швидкість різання; t – глибина різання; f_n – подача на оберт; k_{pf} – поправочний коефіцієнт на величину подачі; $k_{p\phi}$ – поправочний коефіцієнт на головний кут у плані; $k_{c0.4}$ – питома сила різання, залежить від виду і властивостей оброблюваного матеріалу і дорівнює нормальній силі різання при зрізанні стружки перетином 1 мм² з подачею 0.4 мм/об.

Знаючи співвідношення комбінаційного параметра АЕ (W_M) і величини зносу різального інструмента, проводиться аналіз ступеня зносу різального інструмента h_u , розраховується інтенсивність зносу і проводиться моделювання математичних моделей зносу різального, за якими здійснюється прогнозування зношення інструмента. Аналізуючи ступінь зношення, інтенсивність зношення і прогнозоване раніше зношення, робиться висновок про можливість коригування режимів оброблення для зниження зношення [9].

Математична модель зношення різального інструменту виглядає так:

$$h_u = \Delta h_u + \frac{k_w * j_u * A^2 * N_{\Sigma}}{V_c * t * f_n * k_{c0.4} * k_{p\phi} * k_{pf}}, \quad (3)$$

де Δh_u – наявне зношення, мм; j_u – інтенсивність зношення ($j_u = \frac{h_u(i)}{h_u(i-1)}$); k_w – поправочний коефіцієнт щодо співвідношення

зношення інструмента і комбінаційного параметра АЕ, який визначається експериментально для різних комбінацій матеріалів «інструмент – деталь» і заноситься в базу даних.

Розрахунок прогнозованого зношення різального інструменту здійснюється за такою формулою [10]:

$$h_{\text{прогноз}}(i + 1) = j_u * \left(\frac{h_u(i) + h_u(i - 1)}{2} \right). \quad (4)$$

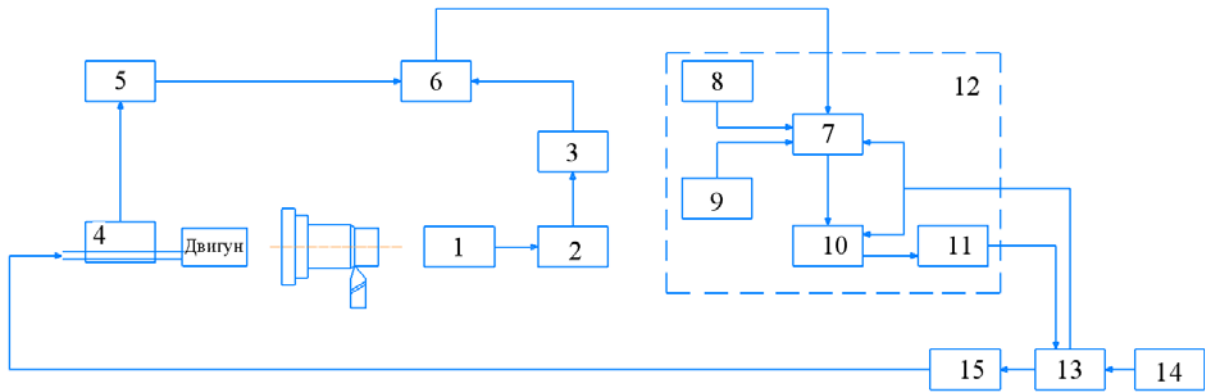


Рис. 1. Блок-схема системи діагностики працездатності різального інструмента в умовах автоматизованого виробництва

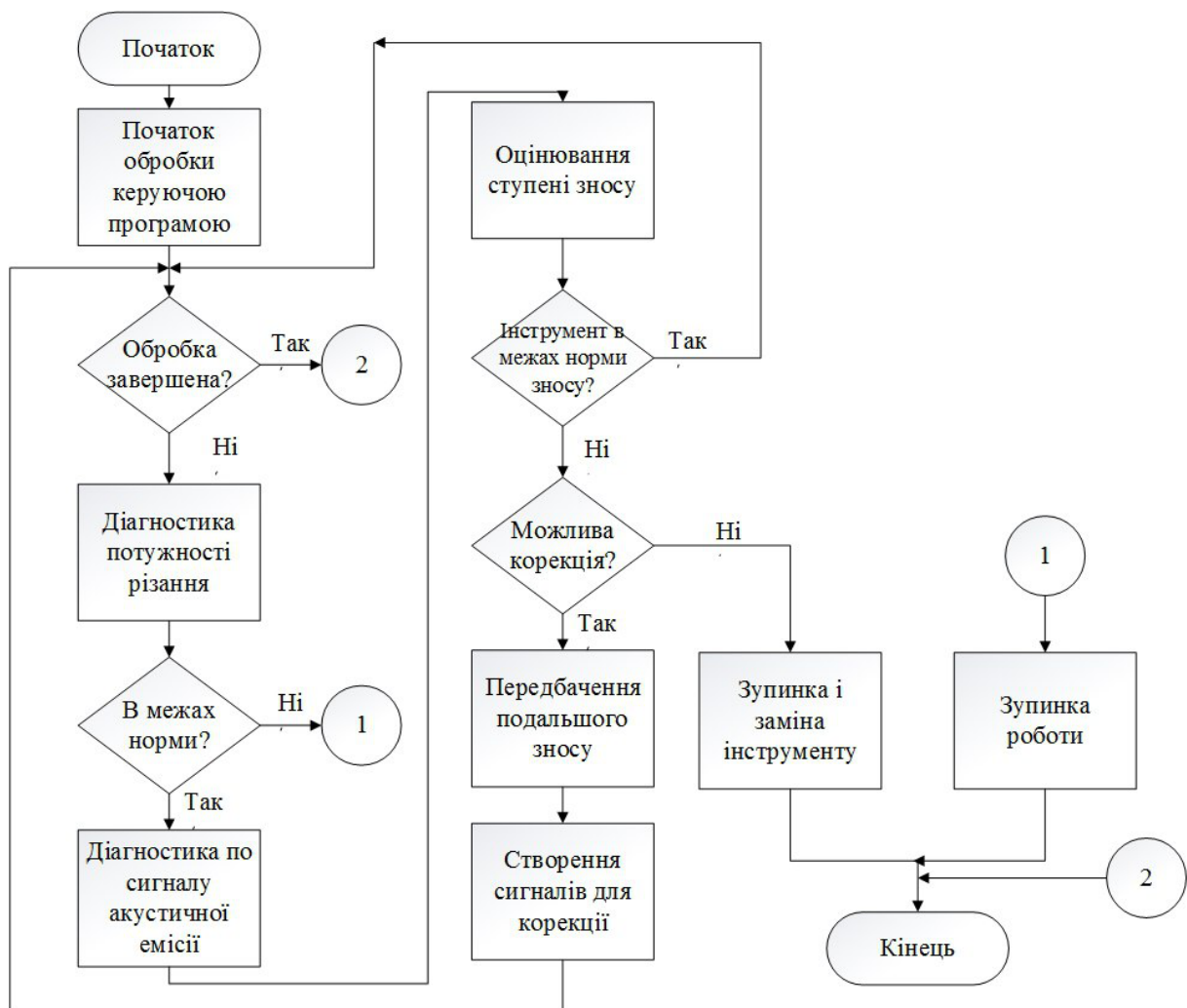


Рис. 2. Алгоритм функціонування системи діагностики працездатності різального інструменту

Загальна функціональна блок-схема системи діагностики працездатності різального інструменту представлена на рис. 1, а алгоритм функціонування системи діагностики різального інструменту представлений на рис. 2.

Система діагностики працездатності різального інструменту складається з датчика вимірювання сигналу акустичної емісії 1 (рис. 1), сигнал від якого, через підсилювач 2 і фільтр низьких частот 3, надходить на вхід аналого-цифрового перетворювача (АЦП) 6. Інший діагностичний сигнал від датчика вимірювання потужності різання 4, через підсилювач 5, також надходить на вхід АЦП. Подальше оброблення й аналіз параметрів проводиться за допомогою ЕОМ 12, до складу якої входить: блок оцінки інтенсивності і розміру зносу 7, де на підставі даних про максимальне і мінімальне значення потужності різання 8 здійснюється моніторинг аварійного стану, у разі виходу значення потужності різання з допустимих меж на виконуючий механізм 15 (блок керування двигуном, блок керування приводом подання тощо.) подаються відповідні сигнали аварійної зупинки. Також у блоці 7 спостерігається інтенсивність і значення зношення різального інструменту, у якому використовується поправочний коефіцієнт k_w , який знаходиться в БД 9. При оцінюванні зношення інструменту враховуються режими роботи ТОС, які передаються блоку 7 від блоку ЧПК 13, який керує процесом оброблення на основі керуючої програми 14. Після визначення зношення дані

про нього, передаються на блок 10, де відбувається моделювання процесу оброблення, за допомогою якого обчислюється залишкова стійкість інструмента, а також проводиться прогнозування зношення інструмента на основі даних, отриманих від ЧПК. У блоці 11 формуються керуючі, корекційні сигнали зі зміни режимів оброблення, які надходять на блок ЧПК. Якщо корекція процесу оброблення неможлива, то здійснюється зупинка процесу оброблення або заміна різального інструменту. У блоці ЧПК, на основі керуючих сигналів від блоку 11, вносяться зміни в команди управління, які надходять на виконуючі механізми 15.

Висновки. Представлена система діагностики працездатності різального інструменту, яка базується на зміні сигналу акустичної емісії і потужності різання, дає можливість проводити більш ефективний контроль зношення і відмови різального інструмента, підвищує надійність і точність як процесу механічного оброблення, так і технологічно-оброблюваної системи (далі – ТОС) загалом, дозволяє зменшити кількість бракованих деталей, що є вимогою до автоматизованого виробництва. Подальшим розвитком, на основі цієї системи, може бути розроблено систему автоматизованого контролю стану всіх вузлів ТОС і процесу оброблення в цілому, що дасть можливість не тільки абсолютно виключити непередбачені відмови оброблювальних систем, підвищити точність і надійність ТОС, а також підвищити якість і надійність кінцевої продукції.

Список літератури:

1. Григорьев С.Н. Диагностика автоматизированного производства. Москва: Машиностроение, 2011. 600 с.
2. Шевченко В.В. Контроль состояния режущего инструмента с помощью электрических сигналов. Сборник научных трудов V научно-технической конференции Приборостроение: возможности и перспективы. (Киев, 25-26 апреля 2006 г.). Киев, 2006. С. 112-113.
3. Подураев В.Н., Барзов А.А., Горелов В.А. Технологическая диагностика резания методом акустической эмиссии. Москва: Машиностроение, 1988. 56 с.
4. Остафьев В.А., Тымчик Г.С., Шевченко В.В. Адаптивная система управления. Механизация и автоматизация управления. 1983. № 1. С. 18–20.
5. Скороход А.А., Шевченко В.В. Система диагностики работоспособности режущего инструмента в условиях автоматизированного производства. Современные научные исследования и инновации. 2014. № 4. Ч. 1. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2014/04/33014> (дата звернення: 12.03.2018).
6. Залога В.А., Зинченко Р.Н., Шаповал Ю.В. Современное состояние вопроса о диагностике состояния режущего инструмента при фрезеровании. Резание и инструмент в технологических системах. 2013. № 83. С. 118-126.
7. Симута М.О., Румбешта В.О., Підвисоцька В.С. Діагностика технічного стану різального інструмента при обробці. Вісник НТУУ «КПІ». Серія ПРИЛАДОБУДУВАННЯ. 2010. № 39. С. 111-116.
8. Деревянченко А.Г., Павелко В.Д., Андреев А.В. Диагностирование состояния режущих инструментов при прецизионной обработке. Одесса: Астропринт. 1999. 195 с.
9. Подураев В.Н., Барзов А.А. Анализ и прогнозирование процесса резания методом акустической эмиссии. Перспективы развития режущего инструмента. 1978. С. 323-328.

10. Алешин А.К., Гуцин В.Г. Метод диагностики состояния инструмента. Вестник научно-технического развития. 2009. № 2. С. 3-6.

11. Шевченко В.В., Заєць С.С., Олінійчук А.І. Аналіз акустичної емісії в процесах механічного оброблення з використанням вейвлет-пакетів. Вісник Нац. техн. ун-ту «ХПІ» : зб. наук. пр. Сер. : Нові рішення в сучасних технологіях. 2017. № 7(1229). С. 233-238.

СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НА СТАНКАХ С ЧПУ

В данной статье рассматривается система диагностики работоспособности режущего инструмента в условиях автоматизированного производства, основанная на измерении сигнала акустической эмиссии и мощности резания. Она позволяет контролировать интенсивность износа режущего инструмента и прогнозировать его работоспособность, что позволяет повысить точность, качество и эффективность механообработки.

Ключевые слова: диагностика, процесс резки, автоматизация, режущий инструмент, износ, работоспособность режущего инструмента.

DIAGNOSTICS SYSTEM OF THE CUTTING TOOL ON MACHINE-TOOL WITH NUMERICAL CONTROL

In this paper we consider the system of diagnostics of the efficiency of the cutting tool in the conditions of automated production, which is based on the measurement of the acoustic emission signal and cutting power. It allows you to control the intensity of wear and tear of the cutting tool and predict its efficiency, which makes it possible to improve the accuracy, quality and efficiency of machining.

Key words: diagnostics, cutting process, automation, cutting tool, tool wear, working tool of cutting tool.

УДК 004.056.53

Щанов П.Ф.

Национальный технический университет Украины
«Харьковский политехнический институт»

Томашевский Р.С.

Национальный технический университет Украины
«Харьковский политехнический институт»

Бородай В.О.

Военно-медицинский клинический центр Северного региона

Горбулич А.В.

Харьковская медицинская академия последипломного образования

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ И ПЛАНИРОВАНИЕ БИМ-АНАЛИЗА ДЛЯ МОНИТОРИНГА КРОВОПОТЕРЬ

В работе приведены результаты исследования возможности применения результатов метода биоимпедансометрии для мониторинга скрытых и спонтанных кровотечений. Показана существующая проблема учета кровопотерь при реанимационных, операционных и реабилитационных мероприятиях. Предложено использование, в качестве информативных параметров, спектральных свойств биоимпедансного сигнала, а именно, коэффициента межспектральной корреляции исходного измерительного сигнала и его линейного преобразования. В работе детально рассмотрены существующие биофизические модели, обосновывающие перспективность использования биоимпедансного метода для подобных задач, и приведены расчетные эмпирические выражения для определения объема жидкостных сегментов человеческого организма. Приведено математическое обоснование метода межспектральной корреляции, основанное на вычислении корреляционных показателей коэффициентов вейвлет-разложения исходного сигнала и его линейного преобразования. В работе приведены результаты экспериментальных исследований по апробации данного метода при фиксированных заборах венозной крови. С использованием критериальной T-статистики была проведена количественная оценка эффективности вариантов выбора пространственного размещения измерительных электродов при биоимпедансометрии. Полученные результаты позволяют сделать вывод о возможности и перспективности предложенного метода для мониторинга в режиме реального времени начала скрытых и спонтанных кровотечений, а также позволяют сформировать рекомендации относительно размещения измерительных электродов на теле пациента.

Ключевые слова: кровопотеря, активный мониторинг, биоимпедансный анализ, вейвлет-преобразование, межспектральная корреляция, T-статистика.

Постановка проблемы. Проблема учета объема кровопотерь имеет исключительную важность не только для выбора стратегии любых реанимационных мероприятий при травматических ампутациях, но и для диагностики закрытых травм и послеоперационных осложнений. Существующие методы [1-2] контроля таких кровопотерь несовершенны и исключают возможность мониторинга в режиме реального времени, что оказывается критическим, особенно для случаев острой кровопотери.

Анализ литературных источников показал большую перспективность использования метода биоимпедансометрии для исследования состояния сосудистого русла и жидких сред организма, что дает определенные надежды на эффективное применение данного метода для контроля скрытых кровопотерь.

Постановка задачи. Цель работы – разработка метода активного мониторинга скрытых и спонтанных кровопотерь в процессе послеоперационной реабилитации на основе биоимпедансного анализа организма пациента.

Анализ литературных источников и последних исследований. Согласно общепринятой классификации различают три степени кровопотери: легкая, средняя и тяжелая [2-3].

Обычно, при расчете ориентировочного объема кровопотери рассчитывается шоковый индекс, который равен отношению значения частоты пульса к значению систолического артериального давления.

Более точным является метод оценки объема кровопотери, основанный на комплексном подходе, учитывающем для определения кровопотери гемодинамические показатели (табл. 1).

Биоимпедансный метод основан на измерении импеданса Z всего тела или отдельных сегментов тела с использованием специальных приборов – биоимпедансных анализаторов [4-8]. Электрический импеданс биологических тканей имеет два компонента: активное R и реактивное сопротивление X_c , связанные соотношением (1):

$$Z^2 = R^2 + X_c^2. \quad (1)$$

Эквивалентная схема биообъекта, называемая также моделью Фрике-Морзе [9-10], содержит сопротивление внеклеточной жидкости $R_{вкж}$, сопротивление клеточной жидкости $R_{кж}$ и емкость мембран C_m . Чтобы определить объем внеклеточной жидкости, необходимо измерять импеданс на постоянном токе, так как в этом случае клеточные мембраны остаются непроницаемыми, и внутриклеточная жидкость не влияет на результат измерения. Для определения общей жидкости организма, необходимо измерять импеданс на бесконечно большой частоте, когда ток проходит через клетку [9-15].

В классическом представлении для биоимпедансометрии (далее – БИМ) существует несколько физических моделей состава тела, основные из которых, модель однородного тела и модель смеси [16-18].

Базовым элементом однородной модели тела человека для оценки содержания жидкости в орга-

низме является цилиндр с площадью сечения S и высотой L и постоянным удельным сопротивлением – ρ [19-21] (рис. 1).

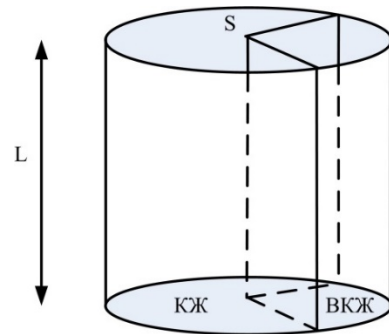


Рис. 1. Цилиндрическая однородная модель организма

Цилиндр разбит на два сектора, один из которых наполняют все клетки организма, другой – проводящий электролит внеклеточной жидкости.

Объем цилиндра V , при этом рассчитывается как произведение поперечного сечения S на его высоту L .

$$V = SL. \quad (2)$$

Сопротивление цилиндрического тела определяется формулой (1), а объем проводящей компоненты [22]

$$V = \frac{\rho L^2}{R}. \quad (3)$$

Модель однородного тела не учитывает тот факт, что непроводящие компоненты распределены внутри объема проводящей среды и поэтому плотность тока пространственно неоднородна.

Биоимпедансометрия бывает трех видов: локальная – измерение импеданса отдельного участка тела; сегментальная – измерение биоимпеданса отдельной части тела; интегральная – измерение биоимпеданса всего организма.

Кроме того, по количеству использованных частот при измерении биоимпеданса тела выделяют: одночастотную БИМ, двухчастотную, мультичастотную и спектроскопию [23].

Таблица 1

Оценка объема кровопотери

Объем кровопотери (в дм³) при массе тела кг			ОЦК %	АД сист мм.рт.ст	Индекс шока	АД сист мм.рт.ст	ОЦК %	Объем кровопотери (в дм³) при массе тела кг		
60	70	80						60	70	80
2,8	2,5	2,1	50	40	3,0	0	55	2,3	2,7	3,1
1,5	2,2	1,9	45	50	3,5	40	50	2,1	2,5	2,8
2,1	1,9	1,6	38	70	2,0	50	45	1,9	2,2	2,5
1,7	1,5	1,3	30	80	1,5	70	38	1,6	1,4	2,1
1,0	0,9	0,8	18	90	1,0	90	0	0,8	1,0	1,1
травма							операция			

Представляет интерес использование частотно-временных свойств БИМ-сигналов, коррелированных с динамикой кровоснабжения организма [24]. Такие сигналы позволяют получать контрольную информацию в режиме реального времени, отслеживая локализованную во времени нестационарность кровотока при случайном факторном влиянии (изменение объема сосудистого русла).

Математическое обоснование метода межспектральной корреляции. Рассмотрим результат измерения биоимпедансометрии на нескольких частотах как случайные процессы. Известно, что при коррелированности гармоник исходных процессов $x(t)$ и $y(t)$, последние становятся спектрально-нестационарными [25]. Такую нестационарность можно выявить, вычисляя функцию когерентности [26], которая определяется выражением [27].

$$\gamma_{xy}(\omega) = \frac{|f_{xy}(\omega)|}{[f_x(\omega) \cdot f_y(\omega)]^{1/2}}, \quad (4)$$

где $f_{xy}(\omega)$ – взаимная спектральная плотность стационарно связанных сигналов $x(t)$ и $y(t)$; $f_x(\omega)$ и $f_y(\omega)$ – спектральные плотности нестационарности любого из процессов $x(t)$ и $y(t)$ будем иметь условие

$$0 < \gamma_{xy}(\omega) < 1. \quad (5)$$

Рассмотрим теперь некоторый случайный измерительный сигнал $x(t)$ существующий на конечном интервале T времени его наблюдения. Для выявления спектральных свойств такого сигнала воспользуемся его двумерным частотно-временным (по масштабу a и сдвигу b) вейвлет-преобразованием, осуществляя свертку сигнала $x(t)$ с некоторой базисной вейвлет-функцией $\psi(t)$ [27].

$$W_x(a, b) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt. \quad (6)$$

Для дискретного непрерывного вейвлет-преобразования результаты свертки будут представлены множеством вейвлет-коэффициентов $W_x(a_j, b_i) = \eta_{ji}$, $j = \overline{1, h}$, $i = \overline{1, m}$ [27], где h – количество масштабов, m – число сдвигов. Известно, что такая модель непрерывного вейвлет-преобразования увеличивает взаимную коррелированность получаемых вейвлет-коэффициентов [26]. Для уменьшения последней продифференцируем (например k раз) анализирующий вейвлет $W[x(t)]$, что эквивалентно, исходя из свойств вейвлет-преобразования, дифференцированию реализации сигнала $x(t)$.

$$\frac{d^k}{dt^k} W[x(t)] = W\left[\frac{d^k}{dt^k} x(t)\right]. \quad (7)$$

Обозначим полученные, при таком дифференцировании, вейвлет-коэффициенты как $W_y(a_j, b_i)$. Будем рассматривать основной и продифференцированный спектры, как реализации $V_{ji} = W_y(a_j, b_i)$ и $U_{ji} = W_y(a_j, b_i)$ системы (V, U) для случайных величин V и U .

Для процессов $x(t)$ и $y(t)$, условие (5) для функции когерентности (4) приводит к условию

$$0 < |R_{VU}| < 1, \quad (8)$$

где

$$R_{VU} = \frac{|K_V|}{[\sigma_V^2 \cdot \sigma_U^2]^{1/2}}, \quad (9)$$

K_{VU} – ковариация (совместный центральный момент 2-го порядка) между спектрами V_{ji} и U_{ji} ; σ_V^2, σ_U^2 – дисперсии спектров V_{ji} и U_{ji} .

Учитывая, что коэффициент линейной парной корреляции R_{VU} нормирован ($-1 < R_{VU} < 1$), имеет смысл убрать ограничение по модулю для этого коэффициента. В этом случае снимается ограничение и на знак ковариации K_{VU} , которая определяется выражением.

$$K_{VU} = (N-1)^{-1} \sum_{j=1}^h \sum_{i=1}^m (V_{ji} - \bar{V})(U_{ji} - \bar{U}), \quad (10)$$

где $N = h \cdot m$;

\bar{V}, \bar{U} – средние значения вейвлет-спектров $V_{j,i} = W_x \cdot (a_j, b_i)$ и $U_{j,i} = W_y(a_j, b_i)$.

По отношению к спектрам $v(a, b)$ и $v(a, b)$ сигнала $U(t)$ и его линейного преобразования $V_U(t)$, функция когерентности может быть трансформирована в коэффициент нормированной межспектральной корреляции (как аналога функции автокогерентности [26]):

$$R_v = \frac{M[v(a, b) \cdot v(a, b)]}{M[v(a, b)^2]^{1/2} \cdot M[v(a, b)^2]^{1/2}}. \quad (11)$$

Фактически, R_v – это нормированный совместный момент второго порядка случайных величин $v(a, b)$ и $v(a, b)$.

В случае активного мониторинга кровопотерь, то есть получения и обработки информативных параметров состояния организма (в данном случае кровеносной системы) особый интерес будут представлять показатели нестационарности по времени (в случае вейвлет-преобразования – по сдвигу).

Использование ММК для активного мониторинга кровопотерь. Входным сигналом при использовании ММК для активного мониторинга кровопотерь будет являться дискретизированный БИМ-сигнал x_k на нескольких частотах, например, $x(20)_k, x(100)_k$ и $x(500)_k$, на частотах 20, 100 и 500 кГц соответственно. При этом k – номер

временного отсчета, $i=0..n$. Линейно-преобразованный сигнал, в нашем случае первую производную, обозначим dx_i .

Проведем вейвлет-преобразование сигнала с окном шириной b . Выбор материнского вейвлета и ширины окна будет проведен в последующих работах. В данной работе использовался вейвлет Морлей с шириной окна 30. Результаты вейвлет-преобразования сигнала и его линейного преобразования будут представлять собой две матрицы коэффициентов $X_{i,j}$ и $dX_{i,j}$.

Коэффициент спектральной нестационарности по сдвигу будет иметь вид:

$$RSM_j = \frac{\sum_{i=0}^{a-1} [(X_{i,j} - Mx_i) \cdot (dX_{i,j} - Mdx_i)]}{\sqrt{\sum_{i=0}^{a-1} (X_{i,j} - Mx_i)^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=0}^{a-1} (dX_{i,j} - Mdx_i)^2}}. \quad (12)$$

Где $Mx_i = \frac{1}{b} \cdot \sum_{j=0}^{b-1} X_{i,j}$, $Mdx_i = \frac{1}{b} \cdot \sum_{j=0}^{b-1} dX_{i,j}$ – математические ожидания по масштабу вейвлет-коэффициентов сигнала $X_{i,j}$ и его линейного преобразования $dX_{i,j}$

Разработанный метод дает возможность получения дополнительной информации о нестационарности спектров более высоких порядков. Например, для спектра второго порядка (спектра мощности) коэффициент спектральной нестационарности по сдвигу будет иметь вид

$$RSD_j = \frac{\sum_{i=0}^{a-1} [(X_{i,j} - Ddx_i) \cdot (dX_{i,j} - Ddx_i)]}{\sqrt{\sum_{i=0}^{a-1} (X_{i,j} - Ddx_i)^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=0}^{a-1} (dX_{i,j} - Ddx_i)^2}}, \quad (13)$$

где

$$Dx_i = \frac{1}{b} \cdot \sum_{j=0}^{b-1} (X_i - Mx_i), \quad Ddx_i = \frac{1}{b} \cdot \sum_{j=0}^{b-1} (dX_i - Mdx_i).$$

В качестве интегрального показателя, можно использовать среднее значение коэффициента корреляции на окне наблюдения для спектра первого

$$RSM = \frac{\sum_{i=0}^{a-1} [(Mx_i - Mx1) \cdot (Mdx_i - Mdx2)]}{\sqrt{\sum_{i=0}^{a-1} (Mx_i - Mx1)^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=0}^{a-1} (Mdx_i - Mdx2)^2}}, \quad (14)$$

и второго порядка

$$RSD = \frac{\sum_{i=0}^{a-1} [(Dx_i - Bx1) \cdot (Bdx_i - Bdx2)]}{\sqrt{\sum_{i=0}^{a-1} (Bx_i - Bx1)^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=0}^{a-1} (Bdx_i - Bdx2)^2}}. \quad (15)$$

Значимое изменение гемодинамики сосудистого русла, которое можно интерпретировать как внешнее факторное влияние систему сосудокровь, можно оценить по значимому изменению коэффициента межспектральной корреляции (на временном участке). Проверка значимости различий коэффициентов возможна по одному из стандартных статистических тестов (например, Т-статистика) с учетом заданного уровня риска.

Апробация разработанного метода. Обсуждение результатов. Для достижения поставленной цели была проведена серия тестовых активных (с детерминированными моментами начала и окончания отбора фиксированного объема крови) экспериментов. Эксперимент был проведен на базе Военно-медицинского клинического центра Северного региона.

Была проведена серия из 9 измерений с различными пациентами. Отбор крови осуществлялся медицинским персоналом, объем фиксированный – 450 мл. Измерения БИМ-сигналов осу-

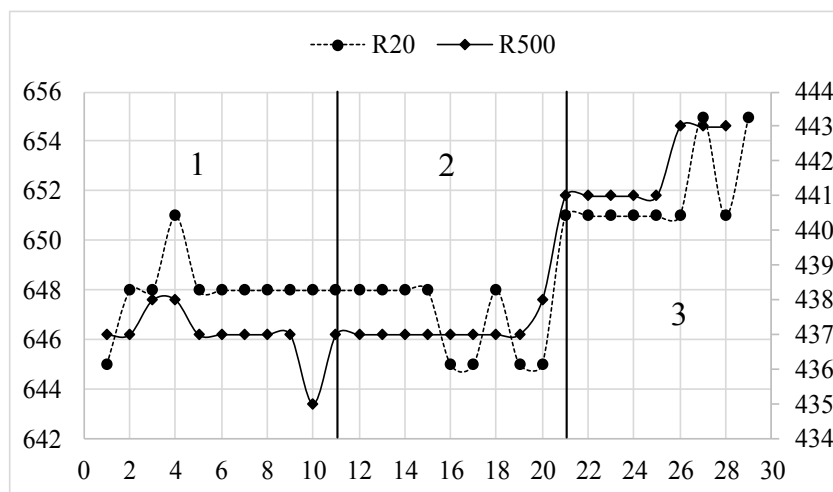


Рис. 2. Типичные реализации БИМ-сигналов для частот 20 и 500 кГц

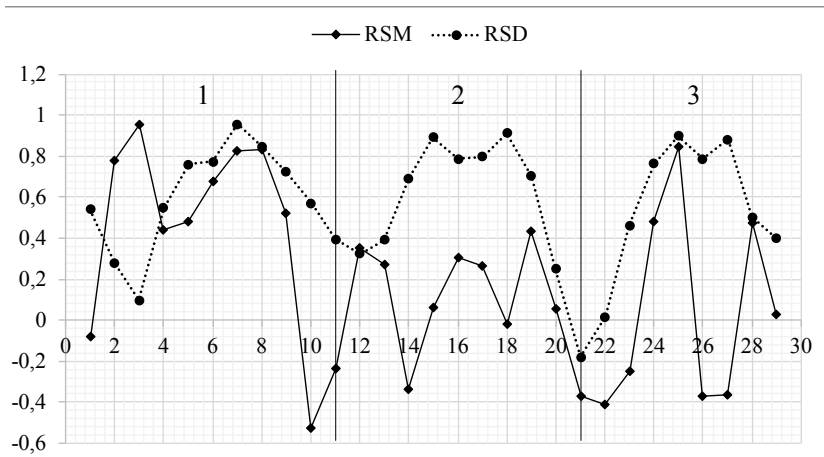


Рис. 3. Результаты оценивания КМК (RSM, RSD) для 20 кГц

шествялось на 3 частотах – 20, 100 и 500 кГц. Для получения первичного сигнала была использована четырех-электродная схема получения БИМ-сигнала с четырьмя различными вариантами наложения электродов.

На рисунке 2 приведены типичные реализации БИМ-сигналов для частот 20 и 500 кГц. На этом рисунке отмечены границы, разделяющие полный период наблюдения пациента на три

фазы: фаза 1 – отсутствие кровопотери (начальная фаза); фаза 2 – наличие кровопотери (активная фаза); фаза 3 – отсутствие кровопотери (конечная фаза).

На рисунке 3 приведены результаты оценивания КМК (RSM, RSD) для 20 кГц, рассчитанных по уравнениям (12, 13).

В таблице 2 представлены результаты оценивания КМК RSM и RSD для четырех вари-

Таблица 2

Значения КМК (RSM и RSD) для четырех вариантов расположения электродов

Вариант	Фаза	Число отсчетов БИМ-сигнала	КМК	
			RSM	RSD
Треть левого предплечья – середина плеча левой руки	1	6	-0,11017	0,661
	2	13	-0,20723	0,352
	3	8	-0,11288	0,626
Ладонь – середина плеча левой руки	1	6	0,29983	0,931
	2	7	0,14814	0,931
	3	12	-0,17992	0,9296
Запястье левой руки – голеностоп левой ноги	1	10	0,4902	0,6089
	2	12	0,0315	0,4976
	3	7	0,121143	0,6704
Запястье левой руки – голеностоп правой ноги	1	6	0,424833	-0,0988
	2	8	0,1735	0,21
	3	5	0,0548	0,3982

Таблица 3

Значения Т-статистики для четырех вариантов пространственного разделения электродов на теле пациента (частота – 20 кГц; КМК – RSM)

Пациент	1	2	3	4
Расположение	Треть левого предплечья – середина плеча левой руки	Ладонь – середина плеча левой руки	Запястье левой руки – голеностоп левой ноги	Запястье левой руки – голеностоп правой ноги
Условное расстояние	d_1	d_2	d_3	d_4
Значение Т-статистики. Фаза 1-2	0,5711	0,8139	3,3348	4,4575
Значение Т-статистики. Фаза 2-3	-0,6101	1,9693	-0,5372	-0,5974

антов пространственного расположения БИМ-преобразователей на теле пациента.

Для тестирования различий коэффициентов корреляции RSM, RSD для смежных фаз эксперимента (фазы 1-2 и 2-3) был выбран стандартный тест на значимость [28], критериальную T-статистику которого можно использовать для количественной оценки эффективности вариантов выбора тех или иных составляющих общего плана эксперимента. В таблице 3 даны значения T-статистик для четырех пациентов с различными вариантами установки первичных преобразователей БИМ-сигналов (пар электродов, установленных на различных пространственно-разделенных участках тела пациента).

Таблица 3 наглядно показывает уменьшение КМК для фазы 2 по отношению к фазе 1 (T-статистика положительна). Это указывает на возрастание динамики спектральной нестационарности БИМ-сигнала на интервале времени, соответствующем этой фазе. Фактически начало кровопотери сопровождается уменьшением КМК по отношению к предыдущей фазе (фазе 1), а окончание кровопотери приводит к увеличению КМК по отношению к фазе 2. В таблице 6 только одно (затонировано) значение T-статистики можно считать промахом, поскольку ее знак для фазы 2-3 положителен. Для таблицы 3 был использован коэффициент RSM, поскольку именно для него, в отличие от коэффициента RSD, таблицы 2 наблюдалась качественная динамика изменения КМК при переходах от фазы 1 к фазе 2 и от фазы 2 к фазе 3.

Таблица 6 составлена с учетом ранжирования (по увеличению значения) геометрических расстояний между электродами, что соответствует условию

$$d_1 < d_2 \dots < d_4. \quad (16)$$

Из таблицы 6 видно, что наибольшее значение T-статистики, несущей информацию об изменении КМК на границе двух фаз, максимально для расстояния d_4 ($T = 4,4575$). Это расстояние геометрически максимально и позволяет обосновать выбор варианта размещения датчиков на теле пациента. Фактически, это задача планирования метрологической составляющей, связанная с условной оптимизацией варианта по максимуму целевой функции в виде T-статистики. Такая оптимизация условна, поскольку число начальных условий ограничено в данном варианте количеством пациентов, хотя общее число вариантов стремится к бесконечности. Однако любое ограничение вариантов дает возможность, например, на основе таблицы 6 выбрать

вариант, который близок к известным биофизическим моделям, подкрепленным максимизацией T-статистики.

Анализ результатов, представленных во второй строке таблицы 3, указывает на их неоднозначность, что позволяет сделать вывод об эффективности использования КМК только в задачах обнаружения начала кровопотери.

Таблица 3 дает возможность не только качественного (по знаку T-статистики), но и количественного (по ее величине) анализа вариантов выбора одного из двух решений:

γ_0 : различия между КМК сравниваемых фаз отсутствует; (17)

γ_1 : КМК соседних фаз статистически различны, (18)

причем при положительном знаке T-статистики обоснованность выбора решения γ_1 (начало кровопотери) производится исходя из нормативных требований теории статистических решений [28-29], когда T-статистика превышает критическое значение при заданном уровне значимости. Для уровня значимости $\alpha = 0,05$ значение критической статистики равно 1,645.

Таким образом, планирование эксперимента по активному мониторингу появления кровопотери должно обеспечивать максимальное длину пути прохождения сканирующего тока БИМ-сигнала, за счет выбора мест фиксации электродов по варианту «левая рука – правая нога».

Выводы. Проведенные исследования указывают на перспективность информационно-измерительной процедуры контроля динамических параметров нестационарности БИМ-сигналов в задачах обнаружения скрытых кровотечений. Особо важным является возможность автоматизации активного мониторинга в рамках уже существующих компьютеризированных информационных систем медицинского назначения. Такая автоматизация базируется на построении плана биомедицинского эксперимента, в котором используется скользящее наблюдение БИМ-сигнала с помощью сдвоенного окна наблюдения. Такое окно представляет два последовательных интервала времени, для каждого из которых вычисляется независимое значение КМК (например, RSD), а сравнение этих КМК проводится с помощью T-статистики. Если в ходе сравнения получено решение γ_1 согласно моделям (17, 18), то начало кровопотери соответствует положительному знаку T-статистики. При этом статистическая значимость достоверного решения будет не ниже 0,95.

Список літератури:

1. Вказівки з воєнно-польової хірургії / за ред.: Я.Л. Заруцький, А.А. Шудрак; Чалчинська Н.В.; Військ.-мед. департамент МО України. Київ: 2014. 400 с.
2. Йовенко И.А., Кобеляцкий Ю.Ю., Царев А.В. Интенсивная терапия кровопотери, коагулопатии и гиповолемического шока при политравме: Медицина неотложных состояний. № 4. 2016. С. 64-71.
3. Хартиг В.О. Современная инфузионная терапия. Парентеральное питание. 1982. 469 с.
4. Earthman M.C., Traugher D., Dobrat J., Howell W. Bioimpedance Spectroscopy for Clinical Assessment of Fluid Distribution and Body Cell. *Nutr Clin Pract*. August, 2007. 22(4). P. 389-405.
5. Jaffrin M.Y., Morel H. Body fluid volumes measurements by impedance: A review of bioimpedance spectroscopy (BIS) and bioimpedance analysis (BIA) methods. *Med Eng Phys*, 2008. № 30(10). P. 1257-1269.
6. Kushner R.F., Schoeller D.A. Estimate of total body water by bioelectrical impedance analysis. *Am J Clin Nutr*. 1986. № 44. P. 417-424.
7. Gudivaka R., Schoeller D.A., Kushner R.F., Bolt M.J.G. Single – and multifrequency models for bioelectrical impedance analysis of body water compartments. *J Appl Physiol* 1999. № 87. P. 1087-1096.
8. Grimnes S., Martinssen Ø.G. Bioimpedance and electricity basics. Academic Press. 2000. 471 p.
9. Seoane F., Abtahi S., Abtahi F. Seoane Fernando Mean Expected Error in Prediction of Total Body Water. A True Accuracy Comparison between Bioimpedance Spectroscopy and Single Frequency Regression Equations. *BioMed Research International*. 2015. № 11.
10. Zink M.D., Weyer S., Pauly K., Napp A. Feasibility of bioelectrical impedance spectroscopy measurement before and after thoracentesis. *BioMed Research International*. 2015. P. 9.
11. Ward L.C., Czerniec S., Kilbreath S.L. Quantitative bioimpedance spectroscopy for the assessment of lymphedema. *Breast Cancer Res treat*. 2009. № 117. P. 541-7.
12. Ward L.C. Bioelectrical impedance analysis: proven utility in lymphedema risk assessment and therapeutic monitoring. *Lymphat Res Biol*. 2006. № 4. P. 51-6.
13. Ward L.C., Czerniec S., Kilbreath S.L. Operational equivalence of bioimpedance indices and perometry for the assessment of unilateral arm lymphedema. *Lymphat Res Biol*. 2009. №7. P. 81-85.
14. King R.J., Clamp J.A., Hutchinson J.W., Moran C.G. Bioelectrical impedance: a new method for measuring post-traumatic swelling. *J Orthop Trauma*. 2007. № 21. P. 462-8.
15. Halter R.J., Hartov A., Heaney J.A., Paulsen K.D., Schned A.R. Electrical impedance spectroscopy of the human prostate. *IEEE Trans Biomed Eng*. 2007 Jul. № 54(7). P. 1321-1327.
16. Николаев Д.В., Пушкин С.В., Гвоздикова Е.А., Смирнов А.В. Полисегментные методы в БИА. Обзор по материалам зарубежных публикаций. Шестая научно-практическая конференция. Москва: Главный клинический госпиталь МВД России. 2004. С. 115-127.
17. Пеккер Я.С., Бразилковский К.С., Усов В.Ю. Электроимпедансная томография. Томск: Изд-во «НТЛ», 2004. 192 с.
18. Danilov A.A., Nikolaev D.V., Rudnev S.G., Salamatova V.Yu., Vassilevski Yu.V. Modelling of bioimpedance measurements: unstructured mesh application to real human anatomy. *Russ. J. Numer. Anal. Math. Modelling*. 2012. V.27, № 5. P. 431-440.
19. Martinsen O.G., Nordbotten B., Grimnes S., Fossan H., Eilevstjønn J. Bioimpedance-Based Respiration Monitoring With a Defibrillator. *Biomedical Engineering, IEEE Transactions*. 2014. P. 1858-1862.
20. Danilov A.A., Kramarenko V.K., Nikolaev D.V., Rudnev S.G., Salamatova V.Yu., Smirnov A.V., Vassilevski Yu.V. Sensitivity field distributions for segmental bioelectrical impedance analysis based on real human anatomy. *J. Phys.: Conf. Series*. 2013. P. 434-437.
21. Deurenberg P., Tagliabue A., Schouten F.J.M. Multifrequency impedance for the prediction of extracellular water and total body water. *Brit. J. Nutr*. 1995. №3. P. 349-358.
22. Nordbotten B.J., Martinsen O.G., Grimnes S. Methods for calculating phase angle from measured whole body bioimpedance modulus. *International Conference on Electrical Bioimpedance. Journal of Physics*. 2010. № 224. P. 1-4.
23. Николаев Д.В., Смирнов А.В., Бобринская И.Г., Руднев С.Г. Биоимпедансный анализ состава тела человека. Москва: «Наука», 2009. 392 с.
24. Щапов П.Ф., Томашевський Р.С., Ткачук Б.В., Павлюк В.М. Інформаційна технологія статистичного управління процедурою ультрафільтрації при програмному гемодіалізі: ПНТУ Системи управління, навігації та зв'язку. ISSN 2073-7394. № 1 (47). Полтава, 2018. ст. 153-159
25. Merry R.J.E., Steinbuch M. and van de Molengraft M.J.G. Wavelet Theory and Applications a literature study. *Eindhoven Univer of Technol. Dep. of Mechanical Engin. Control Systems Technol. Group*, 2005, 41 p.
26. Lee D.T.L. and Yamamoto A. Wavelet analysis theory and application. Hewlett-Packard Company. 1994, P. 44-52.

27. Voskoboynikov Yu.E., Gochakov A.V., Kolker A.B. Filtratsii signalov i izobrazheniy: Fure i veyvlet algoritmyi (s primerami v Mathcad). Novosib. gos. arhitektur.-stroit. un-t (Sibstrin), 2010, 188 s. ISBN 978-5-7795-0519-2

28. Поллард Дж. Справочник по вычислительным методам статистики / Пер. с англ. В.С Занадворова; Под ред. и с предисл. Е.М. Четыркина. Москва: Финансы и статистика, 1982. 344 с.

29. Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента / Пер. с англ. Москва: Мир, 1981. 520 с.

МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ І ПЛАНУВАННЯ БІМ-АНАЛІЗУ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ КРОВОВТРАТИ

У роботі наведено результати дослідження можливості застосування результатів методу біоімпедансометрії для моніторингу прихованих і спонтанних крововтрат. Показано існуючу проблему обліку крововтрат при реанімаційних, операційних і реабілітаційних заходах. Запропоновано використання як інформативних параметрів спектральних властивостей біоімпедансного сигналу, зокрема коефіцієнта міжспектральної кореляції вихідного вимірювального сигналу і його лінійного перетворення. У роботі детально розглянуто існуючі біофізичні моделі, що обґрунтовують перспективність використання біоімпедансного методу для таких завдань, наведено розрахункові емпіричні вирази для визначення обсягу рідинних сегментів людського організму. Наведено математичне обґрунтування методу міжспектральної кореляції, засноване на обчисленні кореляційних показників коефіцієнтів вейвлет-розкладу вихідного сигналу і його лінійного перетворення. У роботі наведено результати експериментальних досліджень з апробації цього методу при фіксованих зборах венозної крові. Із використанням критеріальної Т-статистики була проведена кількісна оцінка ефективності варіантів вибору просторового розміщення вимірювальних електродів при біоімпедансометрії. Отримані результати дозволяють зробити висновок про можливість і перспективність запропонованого методу для моніторингу в режимі реального часу початку прихованих і спонтанних крововтрат, а також дозволяють сформулювати рекомендації щодо розміщення вимірювальних електродів на тілі пацієнта.

Ключові слова: крововтрата, активний моніторинг, біоімпедансний аналіз, вейвлет-перетворення, міжспектральна кореляція, Т-статистика.

APPLICATION POSSIBILITIES AND PLANNING OF BIM-ANALYSIS FOR MONITORING BLOOD LOSS

The results of the study of the possibility of applying the results of the bioimpedance method for hidden and spontaneous bleeding monitoring are presented. The current problem of blood loss metering for during resuscitation, surgery and rehabilitation activities is shown. The use, as informative parameters, of the spectral properties of the bioimpedance signal, namely, the coefficient of inter-spectral correlation of the original measurement signal and its linear transformation, is proposed. In work, the existing biophysical models that substantiate the prospects of using the bioimpedance method for similar problems are considered in detail. Calculated empirical expressions for determining the volume of liquid segments of the human body are presented. The mathematical substantiation of the method of inter-spectral correlation based on the calculation of the correlation coefficients of the wavelet-decomposition coefficients of the original signal and its linear transformation is given. The results of experimental studies on the approbation of this method for fixed venous blood sampling are presented in the work. Using criterial T-statistics, a quantitative evaluation of the effectiveness of the options for choosing the spatial placement of measuring electrodes in bioimpedance was carried out. The obtained results allow us to conclude that the proposed method is feasible and promising for real-time monitoring of the onset of latent and spontaneous bleeding. Also, the obtained results make it possible to formulate recommendations for the placement of measuring electrodes on the patient's body.

Key words: blood loss, active monitoring, bioimpedance analysis, wavelet transformation, inter-spectral correlation, T-statistics.

ЭНЕРГЕТИКА

УДК 621.316.72

Васюченко П.В.

Украинская инженерно-педагогическая академия

Кирисов И.Г.

Украинская инженерно-педагогическая академия

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ РЕЖИМА НАГРУЗКИ

В статье рассмотрены вопросы уменьшения потерь в силовых трансформаторах. Определены способы минимизации потерь в силовых трансформаторах, которые необходимо внедрять в практику эксплуатации.

Ключевые слова: система электроснабжения промышленных предприятий, потери в силовых трансформаторах, реактивная мощность.

Постановка проблемы. Системы электроснабжения (СЭС) действующих промышленных предприятий (ПП) Украины относятся к числу объектов с повышенным уровнем потерь. Причиной этому является устаревшее оборудование, неудовлетворительное состояние и несоответствие современным стандартам методов учета и регулирования энергопотреблением, отставания, касающиеся внедрения автоматизированных систем учета и контроля энергопотребления.

Анализ последних исследований и публикаций. Несмотря на то, что уровень потерь электроэнергии (ЭЭ) за последние 5-7 лет снизился до 12,72% [1–5], это все еще существенно превышает экономически обоснованный уровень потерь. Современное состояние действующих СЭС свидетельствует о нарушении технологии потребления ЭЭ, недостоверности и неточности оценки потерь ЭЭ во внутрицеховых сетях и наглядно отображает проблемы, требующие реконструкции и технического переоснащения внутрицеховых сетей, совершенствования методов их эксплуатации.

Постановка задания. Для повышения эффективности электропотребления необходимо снижение непроизводительных потерь электроэнергии в элементах СЭС. Одним из путей решения этой проблемы является создание оптимального

режима работы трансформаторных подстанций (ТП) при условии обеспечения надежного питания узла нагрузки.

Учитывая сложившуюся в современных условиях стабильную неравномерность суточных графиков электрических нагрузок, требующую изменения схемы питания узла нагрузки, рассмотрим возможные варианты переключений в зависимости от загрузки трансформаторов с целью экономии электроэнергии и определим функциональную зависимость потерь активной мощности трансформаторов при изменении электрической нагрузки.

Изложение основного материала исследования. Как известно, потери в трансформаторах в симметричном номинальном режиме складываются из потерь в стали и меди:

$$\Delta P_i = \Delta P_{xxi} + \Delta P_{кзi} K_3^2, \quad (1)$$

где ΔP_{xx} , $\Delta P_{кз}$ – потери х.х. и потери к.з. – справочные данные трансформаторов.

K_3 – коэффициент загрузки i -го трансформатора.

Для большинства внутрицеховых систем электроснабжения характерно использование двухтрансформаторных подстанций (ПС), поэтому переход на режим работы с одним трансформатором в послеаварийном режиме требует анализа

уровня надежности, предусмотрев возможные последствия полного погашения напряжения во внутрицеховой сети [1].

Суммарные потери двухтрансформаторной подстанции (рис. 1) складываются из потерь в трансформаторах мощностью S_1 и S_2 :

$$\Sigma \Delta P = \Sigma \Delta P_{xx1} + \Sigma \Delta P_{кз1} K_{з1}^2 \quad (2)$$

Потери в оставшемся в работе трансформаторе в послеаварийном режиме определяются как потери при нагрузке $S_{11} + S_{12}$:

$$\Delta P_1 = \Delta P_{xx1} + [(S_{11} + S_{12}) / S_1]^2 \cdot P_{кз1}, \quad (3)$$

при одинаковой мощности трансформаторов, а при разных установленных мощностях необходимо определить потери с учетом конкретных паспортных данных трансформатора, оставшегося в работе:

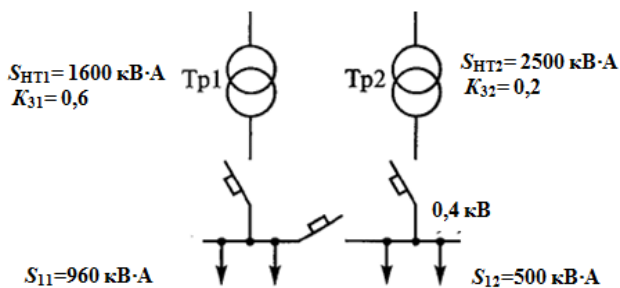


Рис. 1. Расчетная схема трансформаторной подстанции

S_1, S_2 – мощность трансформаторов;
 S_{11}, S_{12} – нагрузка трансформаторов.

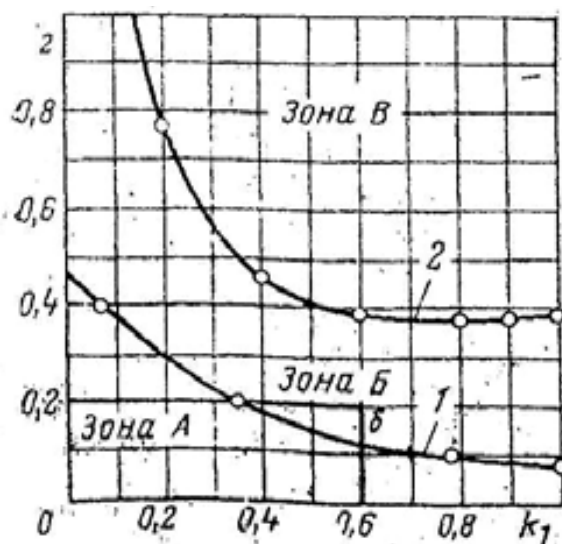


Рис. 2. Зоны наименьших суммарных потерь мощности при различных нагрузках двух трансформаторов разной мощности ($S_1 = 1600$ кВ·А, $S_2 = 2500$ кВ·А)

Зоны А и Б – при подключении всей нагрузки к трансформатору меньшей и большей мощности.
Зона В – при подключении к обоим трансформаторам.

$$\Delta P_2 = \Delta P_{xx2} + [(S_{11} + S_{12}) / S_2]^2 \cdot P_{кз2}. \quad (4)$$

Из сопоставления потерь, определяемых по формулам (2) и (4), с учетом:

$S_{11} = K_1 \cdot S_1$ и $S_{12} = K_2 \cdot S_2$, где $0 < K_1 < 1$ и $0 < K_2 < 1$, получим:

$$K_1 = (S_1 \cdot P_{xx2} / S_2 \cdot 2P_{xx1} \cdot K_2) - K_2 / 2P_{кз1} (P_{кз1} \cdot S_2 / S_1 - P_{кз2} \cdot S_1 / S_2) \quad (5)$$

$$K_2 = (S_2 \cdot P_{xx1} / S_1 \cdot 2P_{xx2} \cdot K_1) + K_1 / 2P_{кз2} (P_{кз1} \cdot S_2 / S_1 - P_{кз2} \cdot S_1 / S_2). \quad (6)$$

На рис. 2 функции (5) и (6) изображены в виде кривых 1 и 2. При одинаковых мощностях трансформаторов $S_1 = S_2$ формулы (5) и (6) упрощаются и график функции

$$K_1 = P_{xx} / 2 P_{кз} \cdot K_2 \quad (7)$$

принимает вид, приведенный на рис. 3.

На рис. 2 показаны зоны нагрузок с оптимальным (по минимуму потерь электроэнергии) числом рабочих трансформаторов.

Зона Б является зоной наименьших потерь при переключении всей нагрузки на один трансформатор мощностью S_1 или S_2 . Во всех остальных случаях оптимальной является работа двух трансформаторов.

Приведем пример расчета потерь при переключении всей нагрузки на трансформатор меньшей и большей мощности и сравним их с потерями при работе двух трансформаторов.

Пример: $S_1 = 1600$ кВ·А

$P_{xx1} = 3,3$ кВт

$P_{кз1} = 18$ кВт

$K_{з1} = 0,6$

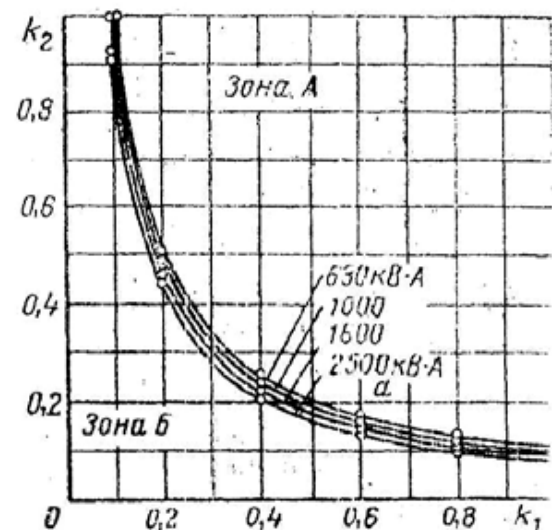


Рис. 3. Зоны наименьших суммарных потерь мощности при различных нагрузках двух трансформаторов одинаковой мощности

Зоны А – при работе двух трансформаторов.
Зона Б – при переключении всей нагрузки на один трансформатор.

Нагрузка: $S_{I1} = S_1 \cdot K_{31} = 1600 \cdot 0,6 = 960 \text{ кВ}\cdot\text{А}$
 $S_2 = 2500 \text{ кВ}\cdot\text{А}$
 $P_{xx2} = 4,6 \text{ кВт}$
 $P_{к32} = 25 \text{ кВт}$
 $K_{32} = 0,2$

Нагрузка: $S_{I2} = S_2 \cdot K_{32} = 2500 \cdot 0,2 = 500 \text{ кВ}\cdot\text{А}$

Потери активной мощности при переключении всей нагрузки на трансформатор меньшей мощности:

$$\Delta P_1 = \Delta P_{xx1} + [(S_{I1} + S_{I2})/S_1]^2 \cdot P_{к31} = 3,3 + [(960 + 500)/1600]^2 \cdot 18 = 18,5 \text{ кВт}$$

Потери активной мощности при переключении всей нагрузки на трансформатор большей мощности:

$$\Delta P_2 = \Delta P_{xx2} + [(S_{I1} + S_{I2})/S_2]^2 \cdot P_{к32} = 4,6 + [(960 + 500)/2500]^2 \cdot 25 = 13,1 \text{ кВт, точка б на рис.2.}$$

Потери мощности при работе двух трансформаторов:

$$\Delta P_1 = 9,78 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_2 = 5,6 \text{ кВт}$$

$$\Sigma \Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2 = 15,38 \text{ кВт.}$$

Оптимальное число работающих трансформаторов в приведенном примере, обеспечивающих минимум потерь, – один трансформатор мощностью 2500 кВ·А при подключении всей нагрузки с коэффициентом загрузки $K_3 = 0,6$.

Современное состояние использования трансформаторных мощностей свидетельствует о том, что их загрузка составляет в среднем не более 35%. Это приводит к значительным потерям. Поэтому задача выбора оптимальных режимов работы трансформаторов является актуальной.

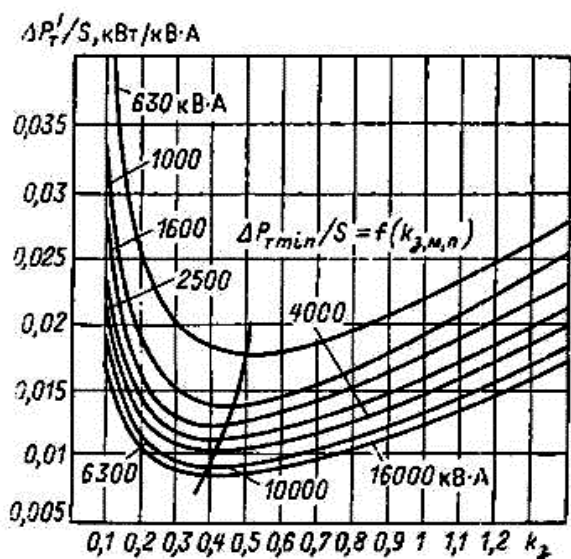


Рис. 4. Зависимость удельных приведенных потерь мощности $\Delta P'_T/S_{ном.т.}$ в трансформаторах серии ТМ от коэффициента загрузки K_3

Оптимальная загрузка трансформаторов соответствует, как правило, максимальному значению КПД трансформатора:

$$\eta_T = P_2/P_1 = 1 - [(\Delta P_{31} + \Delta P_{32} + \Delta P_m) / (P_2 + \Delta P_{31} + \Delta P_{32} + \Delta P_m)] = 1 - \Delta P'_T / (P_2 + \Delta P'_T), \quad (8)$$

где P_1 – мощность, поступающая из сети;

P_2 – мощность, отдаваемая трансформатором во вторичную сеть,

Активная мощность на выходе трансформатора определяется по формуле:

$$P_2 = K_3 \cdot S_{н.тр} \cdot \cos \varphi, \quad (9)$$

где φ – угол сдвига фаз между напряжением U_2 и током I_2 на выходе трансформатора;

$\Delta P_m = \Delta P_{xx}$ – магнитные потери, определяемые потерями на вихревые токи и потери на перемагничивание (гистерезис);

$\Delta P_{31}, \Delta P_{32}$ – электрические потери, связанные с нагревом первичной и вторичной обмоток;

$\Delta P'_T$ – приведенные потери активной мощности в трансформаторе.

Исследование зависимости удельных приведенных потерь мощности $\Delta P'_T/S_{ном.т.}$ от коэффициента загрузки трансформатора (Рис. 4) свидетельствует об интенсивном росте удельных потерь в трансформаторах (серия ТМ мощностью от 630 до 1600 кВ·А) при низких коэффициентах загрузки. А работа трансформатора при K_3 ниже 0,3 неэкономична.

Передача реактивной мощности (РМ) вызывает потери активной мощности и энергии в элементах сети. Поэтому снижение перетоков РМ уменьшает потери активной мощности. Если в узле нагрузки РМ уменьшается на величину $Q_{кy}$, то потери активной мощности определяются по выражению:

$$\Delta P'' = (Q_p - Q_{кy})^2 \cdot R / U_n^2 \quad (10)$$

Снижение потерь активной мощности вследствие уменьшения РМ составит:

$$\delta P = \Delta P' - \Delta P'' = (2Q_p \cdot Q_{кy} - Q_{кy}^2) \cdot R / U_n^2 \quad (11)$$

Из уравнения (10) видно, что снижение потерь активной мощности зависит от степени компенсации РМ $a = Q_{кy} / Q_p$.

Если в уравнение (11) подставить значение $Q_{кy} = a \cdot Q_p$, то получим:

$$\delta P = Q_p^2 \cdot a(2 - a) R / U_n^2 \quad (12)$$

Это выражение положено в основу установления зависимости изменения потерь активной мощности в элементах электрических сетей и удельных потерь $\Delta P''/\Delta P'$ при различной степени компенсации РМ – a . Анализ этой зависимости показывает, что наибольшее снижение потерь

активной мощности достигается при степени компенсации $a=1$ – полной компенсации.

Однако установка компенсирующих устройств (КУ) целесообразна в том случае, если эффект снижения потерь активной мощности и энергии при компенсации РМ (КРМ) будет больше приведенных затрат, связанных с приобретением, монтажом и эксплуатацией КУ:

$$\Sigma \mathcal{E}_k = \mathcal{E}_{op} - \mathcal{Z}_k > 0, \quad (13)$$

где \mathcal{E}_k – эффект КРМ;

\mathcal{E}_{op} – эффект снижения потерь активной мощности;

\mathcal{Z}_k – приведенные затраты на КУ.

Эффект снижения потерь активной мощности при КРМ определяется выражением:

$$\mathcal{E}_{op} = \delta P \cdot \tau_p \cdot \beta', \quad (14)$$

где δP – снижения потерь активной мощности, кВт;

τ_p – среднее значение времени потерь от перетоков РМ, ч;

β' – стоимость 1 кВт·ч потерь активной электроэнергии, грн/(кВт·ч);

Затраты на установку и эксплуатацию КУ определяют:

$$\mathcal{Z}_k = Q_{ky} \cdot T_{MAX} \cdot \beta'_{ky}, \quad (15)$$

где Q_{ky} – мощность КУ, квар;

T_{MAX} – годовое число часов использования максима нагрузки, ч/год;

β'_{ky} – стоимость 1 квар·ч, полученного от КУ, грн/(квар·ч).

Степень КРМ, которая обеспечит максимальный эффект, определяется аналитически из уравнения [2]:

$$\Sigma \mathcal{E}_k = Q_p^2 \cdot a(2-a)R \cdot \tau_p \cdot \beta' / U_n^2 - a \cdot Q_p \cdot T_{MAX} \cdot \beta'_p.$$

Производная суммарного эффекта по степени компенсации:

$$d \Sigma \mathcal{E}_k / da = Q_p^2 \cdot R \cdot \tau_p \cdot \beta' [(2-a) + (-1)a] / U_n^2 - Q_p \cdot T_{MAX} \cdot \beta'_p = 0.$$

Упростив уравнение, получим:

$$Q_p [2 Q_p \cdot R \cdot \tau_p \cdot \beta' (1-a) / U_n^2 - T_{MAX} \cdot \beta'_p] = 0. \quad (16)$$

Решив (16) относительно a , получим формулу:

$$a = 1 - T_{MAX} \cdot \beta'_p \cdot U_n^2 / 2 Q_p \cdot R \cdot \tau_p \cdot \beta'. \quad (17)$$

Умножив обе части (17) на Q_p , получим:

$$Q_{ky} = Q_p - T_{MAX} \cdot \beta'_p \cdot U_n^2 / 2 \cdot R \cdot \tau_p \cdot \beta'. \quad (18)$$

Это уравнение позволяет получить мощность КУ, которая при расчетной реактивной мощности Q_p обеспечивает максимальную эффективность компенсации РМ [3].

Внедрение в промышленное производство современных технологических процессов, вызывающих несимметрию нагрузки (дугосталеплав-

ление), искажение формы кривой напряжения (вентильные преобразователи), а также размах изменения напряжения (сварочное производство), снижает показатели качества электроэнергии (ПКЭЭ) и приводит к увеличению потерь мощности и электроэнергии в элементах сети.

Для разработки мероприятий по снижению дополнительных потерь при некачественной электроэнергии необходимо доступными для эксплуатационного персонала методами определить величину потерь мощности при несимметрии и несинусоидальности напряжения [4].

Дополнительные потери при несимметрии напряжения:

$$\Delta P_{TK2U} = K_{2U}^2 (\Delta P_{xx} + \Delta P_{k3} / U_{k3}^2), \quad (19)$$

где K_{2U} – коэффициент несимметрии напряжения по обратной последовательности;

U_{k3} – напряжения к.з., относительные единицы – справочные данные трансформатора.

Дополнительные потери мощности при несинусоидальности напряжения:

$$\Delta P_{TKU} = \Delta P_{xx} \sum_{v=2}^{\infty} U_v^2 + 0,607 \cdot \frac{\Delta P_{k3}}{U_{k3}^2} \sum_{v=2}^{\infty} \frac{1 + 0,05v^2}{v\sqrt{v}} \cdot U_v^2, \quad (20)$$

где v – порядок гармоники,

Uv – напряжение v -ой гармоники,

Первое слагаемое выражения (20) – дополнительные потери х.х., второе – нагрузочные потери в том числе и от вихревых токов ($0,05v^2$).

Как свидетельствуют расчеты и наблюдения, потери х.х. значительно ниже нагрузочных ($\Delta P_{xx} \ll \Delta P_{k3} / U_{k3}^2$), поэтому при расчете суммарных дополнительных потерь при несимметрии и несинусоидальности напряжения можно воспользоваться выражением:

$$\Delta P_{TK} = (K' K_{2U}^2 + K'' \sum_{v=2}^{\infty} \frac{1 + 0,05v^2}{v\sqrt{v}} \cdot U_v^2) \cdot S_{нмп}, \quad (21)$$

где $K' = \Delta P_{k3} / \mu^2 \cdot S_{н.тр}$;

$K'' = 0,607 \cdot \Delta P_{k3} / \mu^2 \cdot S_{н.тр}$,

μ для цеховых трансформаторов принимают равным 0,075.

Учитывая то, что в общей структуре затрат электроэнергии на её транспортирование и распределение часть потерь электроэнергии в трансформаторах превышает 20%, требование к их снижению экономически обоснованы [5].

В настоящее время в промышленно развитых странах осваивают выпуск высокоэффективных трансформаторов со сниженными потерями х.х. и нагрузочными потерями. В Европе замена трансформаторов на современные обеспечивают экономию электроэнергии, равную 2 миллиардам евро.

В результате реализации мероприятий в европейском трансформаторостроении потери х.х. для условного трансформатора (напряжением 220 кВ мощностью 200 МВ·А) за последние 50 лет снижены более чем втрое, а нагрузочные потери вдвое.

Потери х.х. приносят убытки в несколько раз больше, чем нагрузочные потери, составляя основную часть капитальных затрат. Убытки от потерь х.х. особенно существенны для трансформаторов малых мощностей (до 1000 кВ·А).

Снижения потерь х.х. достигается за счет:

- 1) повышения качества электротехнической стали с повышенной магнитной проницаемостью со сниженными удельными потерями на перемагничивание и вихревые токи;
- 2) проектирования сердечника трансформатора для работы с низким уровнем индуктивности;
- 3) применения аморфных сталей, потери в которых в 3-4 раза меньше чем в обычных сталях;
- 4) использования листовой стали со сниженной толщиной листа (до 0,18 мм).

Использование высокотемпературных сверхпроводниковых материалов дает возможность существенного снижения нагрузочных потерь,

массы трансформатора до 40%, стоимости электрооборудования и существенного повышения эффективности передачи электроэнергии. Снижению нагрузочных потерь способствует использование медных проводов вместо алюминиевых.

Выводы. При эксплуатации систем промышленного электроснабжения следует стремиться к максимально возможному использованию установленных трансформаторных мощностей.

Компенсация реактивной мощности снижает технологические потери электроэнергии в элементах распределительных сетей. Экономическая целесообразность компенсирующих устройств определяется сравнением эффекта снижения потерь активной мощности с приведенными затратами, связанными с приобретением, монтажом и эксплуатацией компенсирующих устройств.

Минимизировать потери активной мощности в цеховых трансформаторах возможно путем оптимизации трансформаторных мощностей в нормальном и послеаварийном режимах. Снижение потерь активной мощности в силовых трансформаторах обеспечивается улучшением качества электроэнергии, а также обновлением трансформаторного парка, выполненного по высокоэффективным технологиям.

Список литературы:

1. Дерский В.Г. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в распределительных сетях. Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. 2009. № 6. С. 20.
2. Карпов Е.А. Особенности компенсации реактивных составляющих токов гармоник в электрических сетях с нелинейными нагрузками. Тезисы докладов научно технической конференции. Мариуполь. 1990. С. 24.
3. Дерский В.Г. Моделирование задач энергосбережения в энергопередающих компаниях. Энергетика та електрифікація. 2010. № 11. С. 27.
4. Журавлев Д.В. Экономическая эффективность трансформаторно-реакторного устройства при повышении качества электрической энергии. Энергетика та електрифікація. 2013. № 8. С. 15.
5. Энергосберегающее оборудование. Восточноевропейский журнал передовых технологий. 2012. № 6. С. 12.

ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ЗАХОДИ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІД ЧАС ЗМІНИ РЕЖИМУ НАВАНТАЖЕННЯ

У статті розглянуті питання зменшення втрат у силових трансформаторах. Визначені способи мінімізації втрат у силових трансформаторах, які необхідно впроваджувати в практику експлуатації.

Ключові слова: система електропостачання промислових підприємств, втрати в силових трансформаторах, реактивна потужність.

ENERGY SAVING MEASURES IN THE OPERATION OF POWER TRANSFORMERS WHEN CHANGING THE MODE OF THE LOAD

In the article the questions of reduction of losses are considered in power transformers. The methods of minimization of losses are certain in power transformers that must be inculcated in practice of exploitation.

Key words: system of supply industrial enterprise, loss in power transformer, reactive power.

Крот О.П.

Харківський національний університет будівництва та архітектури

МЕТОД АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ ДЛЯ ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ТЕРМІЧНОГО ЗНЕШКОДЖЕННЯ ВІДХОДІВ

Використання термічного знешкодження твердих побутових відходів дозволяє знизити вплив на навколишнє середовище. Це поновлюване джерело енергії, яке не вимагає видобутку та обробки. Для спалювання відходів використовують багато технологій, які залежать від фізико-хімічних, енергетичних та екологічних показників. Вибір способу термічного знешкодження є важливою задачею. У цьому дослідженні пропонується використовувати багатокритеріальний метод прийняття рішень щодо вибору технології. Був застосований метод аналізу ієрархій. Матриці парних порівнянь заповнювались експертами. Розглянуті такі технології спалювання: в барабанних печах, термічна переробка відходів із використанням піролізу, спалювання на механічних колосникових решітках, у шарових топках, спалювання в цементних печах, спалювання в киплячому шарі.

Ключові слова: тверді побутові відходи, термічна обробка, експертна оцінка, багатокритеріальний вибір, метод аналізу ієрархій.

Постановка проблеми. Спалювання відходів – це метод знешкодження відходів, при якому високі температури використовуються для достатнього окиснення горючих компонентів у відходах. У порівнянні з полігонами і компостуванням спалювання є більш ефективним у роботі з муніципальними відходами через декілька переваг, таких як заняття порівняно невеликого простору, значне зменшення обсягу відходів і можливість отримання теплової та електричної енергії. Необхідно забезпечити, щоб процес спалювання відходів був нешкідливий для навколишнього середовища і здоров'я населення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За даними Євростату [1], країни Європейського Союзу досить широко використовують сміттєспалювальні підприємства, 27% побутового сміття в країнах Європи спалюється. Данія, Франція, Німеччина, Нідерланди, Швеція та Швейцарія мають найбільші встановлені потужності зі спалювання у відсотках від загального обсягу ТПВ. Спалювання також широко використовується за межами Європи. ТПВ є потенційним джерелом енергії як у розвинених, так і в країнах, що розвиваються [2; 3].

Термічне знешкодження відходів може здійснюватися різними методами: спалювання, газифікування і піроліз. Для цього використовуються різні конструкції печей, а саме камерні, барабанні, циклонні, з киплячим шаром та інші [4]. У про-

цесі спалювання відходів у печах існує кілька температурних зон: підсушування; підготовка відходів до спалювання; запалювання; горіння; допалювання. Горіння твердих відходів починається, коли температура шару досягає приблизно 600°C. Для якомога більш повного окиснення органічної частини відходів печі спалювання повинні забезпечити перемішування твердих відходів у процесі горіння для кращого проникнення кисню повітря в масу відходів. Для повного знешкодження токсичних компонентів у печі зберігаються і підтримуються досить високі температури, наприклад, у зоні допалювання температура складає від 1100 до 1500°C в залежності від природи спалюваних відходів. Застосування обертової печі для спалювання сміття дозволяє стабілізувати процес спалювання, забезпечити повне спалювання органічної частини сміття і забезпечити безперервне видалення шлаку. Основною вимогою до проектів по спалюванню відходів є використання високоєфективної системи очистки димових газів.

Для спалювання непідготовлених відходів, неоднорідних твердих побутових відходів застосовуються установки з обертовими барабанними печами або з рухомою колосниковою решіткою. Установки для спалювання в обертових печах більш універсальні, тому що вони можуть бути застосовані до руйнування твердих відходів, шлаків і контейнерних відходів, а також рідин. Через це вони найчастіше зустрічаються в комерційних

проектах. Обертюва піч являє собою горизонтальну циліндричну вогнетривку оболонку, встановлену на невеликому ухилі. Обертання корпусу забезпечує транспортування відходів через піч, а також поліпшує перемішування палаючих твердих відходів. Застосування водяного охолодження в установках з колосниковими печами дозволяє поліпшити управління горінням і переробляти відходи з більш високою теплою згорання. Печі з нерухомою колосниковою решіткою і пристроєм для переміщення відходів (наприклад, штовхачем) мають менше рухомих частин, але вимагають попередньої обробки відходів (наприклад, подрібнення і сортування). Для спалювання порівняно невеликих кількостей відходів добре підходять модульні установки з камерами допалювання. Для спалювання тонко подрібнених відходів зі стабільними властивостями, наприклад сміттевого палива, добре підходять печі з киплячим шаром. Існує досвід використання цементних печей для спалювання відходів.

Відомими є приклади застосування багатокритеріального аналізу для створення системи управління відходами в містах на основі існуючих правових статей та потоку утворених відходів [5] та приклади оцінки майданчика для розташування сміттєспалювальних заводів [6].

Нами запропоновано використати багатокритеріальний аналіз для вибору раціональної технології спалювання для конкретних умов. Зазвичай вибір технології був складною і важливою інженерною задачею. Тому для її розв'язання запропоновано застосувати метод ієрархій [7].

Формулювання цілей статті. За допомогою методу аналізу ієрархій вирішити задачу багатокритеріального вибору технології і обладнання термічного знешкодження відходів.

Виклад основного матеріалу. Установки порівнювалися за такими критеріями: найменший рівень негативного впливу на навколишнє середовище; залежність ефективності спалювання від попереднього сортування сміття, подрібнення і однорідності; можливість реалізації виробленої теплової та/або електричної енергії в загальну мережу за відповідними тарифами; складність обладнання (ремонтпридатність, простота його обслуговування, експлуатаційна надійність, ресурс), питомі капітальні витрати на тонну сміття; використання допоміжного палива; кількість шлаків (золи), що утворюються; характеристики відходів (фізико-хімічні властивості). Порівнювалися п'ять установок: спалювання в барабанних печах, термічна переробка відходів

з використанням піролізу, спалювання на механічних колосникових решітках в шарових топках, спалювання в цементних печах, спалювання в киплячому шарі.

Під час кількісної оцінки критерію діяльності системи за сукупністю параметрів необхідно провести ієрархічне представлення впливаючих факторів. Для цього застосовується метод аналізу ієрархій, який є одним із способів проведення складних експертиз. Метод аналізу ієрархій передбачає декомпозицію проблеми на більш прості складові частини.

Етапи застосування методу аналізу ієрархій. Попереднє ранжування критеріїв, у результаті якого вони розташовуються в порядку убывання важливості (значимості). Попарне порівняння критеріїв за важливістю за дев'ятибальною шкалою зі складанням відповідної матриці (таблиці) розміру $(n \times n)$. Система парних відомостей призводить до результату, який може бути представлений у вигляді обернено симетричної матриці. Елементом матриці $a(i, j)$ є інтенсивність прояву елемента ієрархії i відносно елемента ієрархії j , що оцінюється за шкалою інтенсивності від 1 до 9, де оцінки мають наступне значення: рівна важливість – 1; помірна перевага – 3; суттєва перевага – 5; значна перевага – 7; дуже велика перевага – 9; в проміжних випадках ставляться парні оцінки: 2, 4, 6, 8.

Під час проведення попарних порівнянь в основному ставляться такі питання в процесі порівняння елементів А і Б: який із них важливіший або має більший вплив; який із них більш ймовірний; який із них має більшу перевагу?

У результаті формується матриця парних порівнянь A порядку n . У процесі заповнення матриці якщо елемент i важливіше елемента j , то клітина (i, j) , відповідна рядку i і стовпцю j , заповнюється цілим числом, а клітина (j, i) , відповідна рядку j і одну i , заповнюється зворотним числом (дробом).

Обчислення власних векторів: перемножуючи елементи в кожному рядку, видобути корінь n -го ступеня, де n – число елементів. Отриманий таким чином стовпець чисел нормалізується діленням кожного числа на суму всіх чисел. Інший спосіб полягає в нормалізації елементів кожного стовпця матриці і потім в усередненні кожного рядка. Таким чином, ми можемо визначити не тільки порядок пріоритетів кожного окремого елемента, але і величину його пріоритету [8; 9]. Ранжування елементів, які аналізуються з використанням матриці парних порівнянь, здійснюється на основі обчислення головного власного вектора

даної матриці. Головний власний вектор визначається рівністю $AW = \lambda_{max}W$, де λ_{max} – максимальне власне значення матриці A .

Індекс узгодженості в кожній матриці i для всієї ієрархії може бути розрахований таким чином. Спочатку підсумовується кожен стовпець суджень, потім сума першого стовпця помножується на величину першої компоненти нормалізованого вектора пріоритетів, сума другого стовпця – на другу компоненту і т. д. Потім отримані числа підсумовуються. Таким чином можна отримати величину, що позначається λ_{max} . Для індексу узгодженості маємо $IC = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$, де n – число порівнюваних елементів. Для оберненосиметричної матриці завжди $\lambda_{max} \geq n$.

Матриці парних порівнянь заповнені експертами мають такий вигляд:

– за критерієм найменший рівень негативного впливу:

$$AC1 := \begin{pmatrix} 1 & 7 & 2 & 9 & 2 \\ 0.14 & 1 & 0.5 & 5 & 4 \\ 0.5 & 2 & 1 & 1 & 1 \\ 0.11 & 0.2 & 1 & 1 & 1 \\ 0.5 & 0.25 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

– за критерієм залежність від підготовки сміття:

$$AC2 := \begin{pmatrix} 1 & 9 & 8 & 1 & 3 \\ 0.11 & 1 & 0.5 & 1 & 1 \\ 0.125 & 2 & 1 & 0.14 & 0.33 \\ 1 & 7 & 7 & 1 & 6 \\ 0.33 & 1 & 3 & 0.167 & 1 \end{pmatrix}$$

– за критерієм можливість реалізації виробленої енергії:

$$AC3 := \begin{pmatrix} 1 & 9 & 3 & 9 & 3 \\ 0.11 & 1 & 0.11 & 5 & 1 \\ 0.33 & 9 & 1 & 7 & 1 \\ 0.11 & 0.2 & 0.14 & 1 & 0.14 \\ 0.33 & 1 & 1 & 7 & 1 \end{pmatrix}$$

– за критерієм питомі капітальні витрати на тону сміття:

$$AC4 := \begin{pmatrix} 1 & 7 & 3 & 5 & 3 \\ 0.14 & 1 & 0.2 & 5 & 1 \\ 0.33 & 5 & 1 & 7 & 3 \\ 0.2 & 0.2 & 0.14 & 1 & 1 \\ 0.33 & 1 & 0.33 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

– за критерієм використання допоміжного палива:

$$AC5 := \begin{pmatrix} 1 & 3 & 1 & 1 & 3 \\ 0.33 & 1 & 0.33 & 1 & 1 \\ 1 & 3 & 1 & 1 & 3 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 7 \\ 0.33 & 1 & 0.33 & 0.14 & 1 \end{pmatrix}$$

– за критерієм кількість шлаків (золи), що утворюються:

$$AC6 := \begin{pmatrix} 1 & 3 & 7 & 1 & 7 \\ 0.33 & 1 & 0.33 & 1 & 5 \\ 0.14 & 3 & 1 & 0.14 & 3 \\ 1 & 5 & 7 & 1 & 7 \\ 0.14 & 0.2 & 0.33 & 0.14 & 1 \end{pmatrix}$$

– за критерієм характеристики відходів (фізико-хімічні властивості):

$$AC7 := \begin{pmatrix} 1 & 3 & 4 & 1 & 4 \\ 0.33 & 1 & 0.33 & 1 & 5 \\ 0.25 & 3 & 1 & 0.14 & 3 \\ 1 & 5 & 7 & 1 & 7 \\ 0.25 & 0.2 & 0.33 & 0.14 & 1 \end{pmatrix}$$

Матриця парних порівнянь для оцінки рівня критеріїв:

$$K1 := \begin{pmatrix} 1 & 9 & 7 & 7 & 9 & 9 & 7 \\ 0.11 & 1 & 0.2 & 0.14 & 0.33 & 2 & 7 \\ 0.14 & 5 & 1 & 0.2 & 1 & 2 & 4 \\ 0.14 & 7 & 5 & 1 & 8 & 8 & 8 \\ 0.11 & 3 & 1 & 0.125 & 1 & 3 & 5 \\ 0.11 & 0.5 & 0.5 & 0.125 & 0.33 & 1 & 8 \\ 0.14 & 0.14 & 0.25 & 0.125 & 0.2 & 0.125 & 1 \end{pmatrix}$$

Показники однорідності суджень експертів для складених матриць менше $0,1$, що свідчить про відсутність суперечності складених матриць парних порівнянь.

Були отримані значення векторів пріоритетів, отримані за результатами обробки експертних матриць парних порівнянь і відповідні ієрархії. Останнім кроком була операція зважування нормованих власних векторів альтернатив вагами критеріїв, які нами були отримані на початку виконання розрахунку і містяться у власному векторі матриці критеріїв.

Висновки. Спалювання в барабанних печах має найвищу оцінку за критеріями: ремонтпридатність, простота обслуговування, експлуатаційна надійність, ресурс (3,632) та найменша залежність ефективності спалювання від попереднього сортування сміття (3,882); термічна переробка відходів із використанням піролізу за критерієм «залежність ефективності спалювання від попереднього сортування сміття» має найнижчий показник (0,702); спалювання на механічних колосникових решітках за критерієм «доцільність отримання теплової та електричної енергії» (3,184); спалювання в цементних печах «найменша залежність ефективності спалювання від

попереднього сортування сміття» (3,926), «кількість відходів, що утворюються» (3,797); спалювання в киплячому шарі за всіма критеріями має низькі значення. Найбільш вагомий критерій – найменший рівень негативного впливу на навколишнє середовище (6,808). Виконані розрахунки

є прикладом реалізації методу аналізу ієрархій, виконаний з залученням експертів. Для кожного окремого конкретного випадку результати можуть відрізнятися від результатів, отриманих у цьому прикладі. Результати будуть залежати від оцінок, наданих експертами.

Список літератури:

1. Municipal waste generation and treatment, by type of treatment method. Eurostat, 2017. URL: <http://ec.europa.eu/eurostat/data/browse-statistics-by-theme> (дата звернення 16.03.2018).
2. Diego Moya, Clay Aldás, Germánico López, Prasad Kaparaju. Municipal solid waste as a valuable renewable energy resource: a worldwide opportunity of energy recovery by using. Waste-To-Energy Technologies. Energy Procedia. 2017. No. 134. P. 286–295. doi: 10.1016/j.egypro.2017.09.618.
3. Diego Moya, Clay Aldás, David Jaramillo, Esteban Játiva, Prasad Kaparaju. Waste-To-Energy Technologies: an opportunity of energy recovery from Municipal Solid Waste, using Quito – Ecuador as case study. Energy Procedia. 2017. No. 134. P. 327–336. doi: 10.1016/j.egypro.2017.09.537.
4. Niessen W.R. Combustion and incineration processes. New York: Basel Dekker, 2002. 715 p.
5. Generowicz A., Kowalski Z., Kulczycka J. Planning of waste management systems in urban area using multi-criteria analysis. Journal of Environmental Protection. 2011. № 2. P. 736-743 doi:10.4236/jep.2011.26085.
6. Hui Hu, Xiang Li, Anh Dung Nguyen and Philip Kavan. A critical evaluation of waste incineration plants in wuhan (china) based on site selection, environmental influence, public health and public participation. International journal of environmental research and public health. 2015. № 12. P. 7593-7614. doi:10.3390/ijerph120707593.
7. Саати Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий: пер. с англ. М.: Радио и связь, 1993. 316 с.
8. Лялин В.Е., Хайбулин Р.Г. Применение метода анализа иерархий для оценки эффективности установок термического уничтожения отравляющих веществ. Штучный интеллект. 2008. № 4. С. 103–108.
9. Balubaid M., Alamoudi R. Application of the analytical hierarchy process (AHP) to multi-criteria analysis for contractor selection. American journal of industrial and business management. 2015. Vol.05, № 09. С. 581–589.

МЕТОД АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ ДЛЯ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ОТХОДОВ

Использование термического обезвреживания твердых бытовых отходов позволяет снизить влияние на окружающую среду. Это возобновляемый источник энергии, который не требует добычи и обработки. Для сжигания отходов используют многие технологии, которые зависят от физико-химических, энергетических и экологических показателей. Выбор способа термического обезвреживания является важной задачей. В этом исследовании предлагается использовать многокритериальный метод принятия решений по выбору технологии. Был применен метод анализа иерархий. Матрицы парных сравнений заполнялись экспертами. Рассмотрены такие технологии сжигания: в барабанных печах, термическая переработка отходов с использованием пиролиза, сжигание на механических колосниковых решетках, в слоевых топках, сжигание в цементных печах, сжигание в кипящем слое.

Ключевые слова: твердые бытовые отходы, термическая обработка, экспертная оценка, многокритериальный выбор, метод анализа иерархий.

A METHOD FOR THE ANALYSIS OF HIERARCHIES FOR SELECTION OF RATIONAL EQUIPMENT A WASTE INCINERATION

The use of thermal neutralization of solid household waste can reduce the impact on the environment. It is a renewable energy source that does not require extraction and processing. For the incineration of waste, many technologies are used, which depend on physical, chemical, energy and environmental indicators. The choice of the method of thermal neutralization is an important task. In this study, it is proposed to use a multi-criterion method of decision-making on the choice of technology. The method analysis of hierarchies was applied. Matrices of paired comparisons were filled with experts. Such combustion technologies are considered: in rotary kilns, thermal processing of waste using pyrolysis, combustion on grate furnace, in layer furnaces, combustion in cement kilns, incineration in fluidized beds.

Key words: solid household waste, incineration, expert evaluation, multi-criteria choice, method analysis of hierarchies.

Олійник Ю.С.

Українська інженерно-педагогічна академія

ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ У СУЧАСНИХ УМОВАХ

У статті розглянуто ефективність використання сонячних батарей. Проаналізовано умови, за яких їх ефективність є максимальною. Значну увагу приділено перспективам розвитку та використання сонячних батарей. Порівняно вартість 1 кВт/год. електроенергії, що було вироблено за допомогою сонячної енергії, з тією, що вироблено традиційними станціями. Розглянуто проблеми дефіциту енергетичних ресурсів, їх вплив на роботу електричних станцій. Підкреслено переваги використання сонячних електростанцій. Стисло розглянуто недоліки сонячних електростанцій.

Ключові слова: відновлювальні джерела енергії, енергетичні ресурси, ефективність, енергія Сонця, сонячні батареї, електрична енергія, електричні станції, перспективи використання.

Постановка проблеми. Зменшення обсягів природних ресурсів, що необхідні електричним станціям для вироблення електричної енергії, призвело до активного пошуку альтернативних рішень. Таким рішенням стало використання відновлювальних джерел енергії. Більший відсоток екологічності та практично нескінченні запаси призводять до того, що все більше країн світу, виходячи з кліматичних умов та можливостей використання тієї чи іншої відновлювальної енергії, розширюють використання та розглядають подальше активне впровадження нетрадиційних станцій.

Серед традиційних джерел електричної енергії все більшу популярність набувають нетрадиційні джерела енергії, зокрема енергія вітру, води чи сонця. Наразі відновлювальна енергетика є суттєвим напрямом та важливою складовою частиною розвитку енергетичної галузі. Цей напрям, як найбільш перспективний, визнано у всій Європі, завдяки чому кожний рік все більші площі охоплюють електричні станції з відновлювальним джерелом енергії.

Обмеженість та постійне зменшення запасів природних джерел енергії призводять до більш активного використання та подальшого впровадження відновлювальних джерел енергії.

У статті зроблено акцент на використанні сонячних електростанцій, застосування яких йде дуже широкими кроками.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розвиток енергозбереження та економія палива та енергетичних ресурсів країни дедалі швидше

призводять до широкого виростання відновлювальних джерел енергії. Перспективним напрямом вважається розвиток сонячної енергетики. Перетворення енергії Сонця в електричну енергію є основою енергозберігаючої політики держави [1, с. 37].

Наразі тема про відновлювальні джерела енергії та станції, що виробляють електричну енергію на їх основі, є дуже актуальною та популярною. Велика кількість авторів не лише на вітчизняному просторі, а й за межами України приділяють цьому питанню достатню увагу та висловлюють свої думки. Так, автори у роботі «Solarenergy: Potentialand future prospects» [7] вважають, що, оскільки у всьому світі виникає зростаючий попит на енергію, то для його задоволення здійснюється розвиток нових технологій сонячної енергії, який вважається одним із ключових рішень. Також автори у «Solarenergy: Potentialand future prospects» розглядають недоліки, які притаманні розвитку сонячної енергетики та наголошують на технічних проблемах у галузі використання сонячної енергії [7].

Європейські країни приділяють багато уваги використанню нетрадиційних джерел енергії, серед яких сонячна енергетика займає почесне місце. При цьому вони також вирішують проблеми щодо підготовки кадрів, які зможуть у майбутньому повністю використовувати та розвивати сонячну енергетику. Автори роботи «Rethinking solar energy education on the dawn of the solar economy» [8] розглядають інтегрований курс із сонячної енергії, який містить знання з різних

галузей науки, техніки, менеджменту та економіки. Випускники кваліфікації «SolarMaster» повинні бути такими, які, закінчивши навчання, будуть спроможні розуміти, розвивати та розповсюджувати енергію Сонця – один із стратегічних ресурсів країни. Таке навчання готує майбутніх професіоналів, які зможуть повністю використовувати та встановлювати високоякісні сонячні енергетичні системи та будуть постійно поглиблювати та розширяти свої знання щодо сонячної енергії, що, на думку авторів «Rethinking solar energy education on the dawn of the solar economy», є надійним джерелом електричної енергії [8].

Автори роботи «Energy and exergy analyses of various typical solar energy applications: A comprehensive review» [9] справедливо стверджують, що дуже швидко використання викопного палива та глобальне потепління викликало зменшення запасів палива. Тому існує необхідність застосування екологічно чистих енергетичних ресурсів задля повного задоволення потреб населення в електричній енергії [9]. Автори вважають, що саме сонячна енергія є найбільш ефективним та чистим джерелом енергії, а також дешевим, багатим і вічним джерелом відновлюваної енергії, за допомогою якого можливо подолати залежність сучасного суспільства від звичайних видів палива та ресурсів [9]. Загалом, автори роботи «Energy and exergy analyses of various typical solar energy applications: A comprehensive review» розробили рекомендації щодо широкого застосування сонячних станцій із різноманітною метою: кондиціонування, охолодження, нагрівання за допомогою сонячної енергії [9].

Постановка завдання. Мета статті – проаналізувати використання сонячної енергії в країнах Європи та України. Зробити аналіз щодо подальшого впровадження та поширення сонячних електростанцій на території України. Проаналізувати перспективи Харківської області щодо майбутніх перспектив побудови та експлуатації сонячних електростанцій.

Виклад основного матеріалу дослідження. Економічний розвиток будь-якої країни залежить від енергетичної галузі. Розвинуті країни приділяють велику увагу відновлювальним джерелам енергії, оскільки паливні ресурси мають обмежені запаси. Постійно зростаючі ціни на енергоносії також негативно впливають на енергетичну галузь у цілому. не завжди правильно розраховану вартість. Зменшення запасів вугілля, нафти та інших невідновлювальних джерел енергії є вагомим причиною для пошуку альтернативи.

Енергія Сонця як альтернативне джерело енергії вже давно використовується багатьма країнами Європи. Доведено переваги, які мають сонячні електростанції.

Сонце – вільний енергоресурс для виробництва електричної енергії. У процесі роботи сонячної електростанції не здійснюється жодних викидів в атмосферу. Матеріали, із яких виготовлено сонячні батареї, можуть бути використані вдруге [10].

У багатьох дослідження неодноразово зустрічається дата 2050 року – межа використання сонячної енергії, якої необхідно досягти. До цього моменту доля електричної енергії, виробленої сонячними електростанціями, повинна скласти приблизно 25% [5].

Дослідження сонячної енергії як альтернативного джерела енергії здійснюються досить давно. Ще у 1954 році було виготовлено перші сонячні батареї на основі кремнію.

Відсутність постійного фінансування в галузі відновлювальних джерел енергії в Україні не заважає регулярно підвищувати обсяг потужностей сонячних електростанцій.

Виробництво електричної енергії за допомогою сонячної енергії має переваги та є вдалою альтернативою електричній енергії, що виробляють традиційні електричні станції. Серед цих переваг необхідно звернути увагу на відсутність забруднення навколишнього середовища.

На Землі один квадратний метр, що є у середньому значенням, може збирати близько 4 кВт/год. сонячної енергії кожного дня. Наприклад, у пустелі за день із її квадратного метра можливо зібрати близько 6 кВт/год. енергії Сонця.

Якщо звернути увагу на використання сонячних електростанцій у світовому масштабі, то необхідно зауважити, що в США у 2016 році побудова та використання нових сонячних електростанцій зросла на 95% та в загальному обсязі склала приблизно 14 ГВт. Активну позицію у використанні сонячних батарей займає житловий сектор. Приблизно 53% усіх потужностей використовуються саме житловими будинками. Наприклад, у штаті Каліфорнія, який, до речі, є лідером із використання сонячної енергії, майбутнє впровадження сонячних батарей здійснюється на етапі проектування житла. Енергія сонця набуває популярності та випереджає інші традиційні джерела енергії на кілька кроків.

Німеччина визнана лідером розвитку сонячної енергетики. Сонячна енергетика розвинута на досить високому рівні: у 2016 році енергія,

що була вироблена сонячними електростанціями, склала 7% від загальної кількості. Це зумовлено політикою держави, яка направлена на заохочення впровадження та подальше використання сонячної енергії [10]. Отже, ця країна демонструє великі можливості для використання енергії Сонця (завдяки серйозній фінансовій підтримці від державних органів влади).

Якщо використати досвід країн Європейського Союзу та Північної Америки, які застосовують електричну енергію, вироблену сонячними електростанціями вночі. Це застосування має промислові масштаби в США завдяки тій енергії Сонця, що було накопичено вдень [3]. Окрім того, що сонячні електростанції не шкодять навколишньому середовищу, вони ще є майже безшумними. Це є суттєвою перевагою для використання енергії Сонця в побутовому секторі.

Безумовно, відновлювальні джерела енергії мають переваги, серед яких можна визначити такі:

- майже необмежений запас джерела енергії, тобто енергії Сонця. Залежно від кліматичних умов того чи іншого регіону, а Україна щодо цього має досить багатий потенціал, доцільно побудувати сонячні електростанції;

- виробництво електричної енергії на основі енергії Сонця триває без забруднення навколишнього середовища викидами CO₂;

- обслуговування обладнання сонячної станції не є складним;

- сонячні електростанції є безпечними та мають достатній ступінь надійності;

- перевагою є той факт, що сонячні електростанції можна застосовувати у віддалених сільських районах; їх місце розташування не залежить від наявності запасів вугілля чи інших паливних ресурсів;

- у зв'язку з швидким поширенням використання нетрадиційних джерел енергії, прискорюється процес окупності;

- компактні модульні сонячні батареї, якщо розглядати їх використання на прикладі приватного будинку, можуть бути частиною дизайну споруди.

Але сонячні електростанції мають і недоліки. Основний із них – тривалий термін окупності сонячних батарей. Тому багато підприємств не можуть собі цього дозволити. Також серед недоліків можна визначити такі:

- для побудови сонячної електростанції необхідно задіяти досить великі площі. 1 МВт потужності сонячної електростанції приблизно розташовується на 1,5 га площі [3];

- завищені початкові витрати, оскільки є необхідність у додаткових пристроях (акумулятори, контролери, інвертори), які значно збільшують витрати на побудову сонячної електростанції;

- відсутність чітких та постійних механізмів фінансування;

- нестача кваліфікованих кадрів;

- якщо погодні умови характеризуються високою хмарністю, то виробництво електричної енергії за допомогою сонячних електростанцій суттєво знижується;

- нерозвинута інфраструктура [7, с. 894].

Використання сонячної енергії є актуальним питанням. Ця актуальність зумовлена розширенням меж застосування сонячних електростанцій залежно від метеорологічних властивостей того чи іншого регіону. Проводяться дослідження, які відповідають важливими напрямкам розвитку науки та техніки в галузі використання нетрадиційних джерел енергії.

Для того, щоб зрозуміти стан сонячної енергетики в Україні, необхідно проаналізувати проект Дорожньої карти розвитку відновлюваної енергетики України на період до 2020 року [4, с. 1-10]. Згідно з цим документом, лідером із використання сонячної енергії є Одеська область [4, с. 6], у якій натеper уведено 226,869 МВт потужності. Вінницька та Миколаївська області також дуже інтенсивно (порівняно з іншими регіонами України) використовують сонячні електростанції: 100,710 МВт [4, с. 1] та 82,869 МВт [4, с. 6] відповідно.

Згідно з планом розвитку сонячної енергетики до 2020 року [4, с. 8], Харківська область, на жаль, не є лідером щодо побудови та подальшого впровадження сонячних електростанцій. Як видно з [4, с. 1], заплановане введення потужностей складає 0,207 МВт. Порівняно з іншими регіонами України ця цифра дуже мала.

Перспективи подальшого розвитку та використання сонячних електростанцій в Україні є дуже поширеними. Так, у 2019 році у Вінницькій області заплановано ввести близько 67 МВт потужностей. Житомирська область планує ввести 115 МВт потужностей. Херсонська область, справедливо використовуючи свої кліматичні умови, планує вводити з 2017 по 2020 роки досить великі потужності сонячних електростанцій [4, с. 8-9].

Вартість виробленої електричної енергії за допомогою сонячних електростанцій є досить серйозним перешкодою для швидкого розвитку та масштабного використання сонячної енергії.

Тариф, що існує для продажу сонячної енергії, є однією з важливих переваг для інвесторів та саме завдяки цим цифрам сонячна енергетика в Україні розвивається досить швидко. За даними [2], на початок 2017 року для фотоелектричних станцій комерційного типу ставка складала 0,15 євро за 1 кВт/год. електричної енергії. Ця ставка буде зберігатися для тих сонячних електростанцій, що запрацюють упродовж 2017-2019 років. Потім тариф буде знижуватися. Тут необхідно зауважити, що для промислових сонячних електростанцій, що запрацювали у 2015 році, тариф знаходиться в межах 0,17 євро за 1 кВт/год. електричної енергії; у 2016 – 0,16 євро за 1 кВт/год. електричної енергії. Якщо порівняти ці значення з тарифами для сонячних електростанцій, що є власністю приватних господарств, то там тарифи лежать у таких межах: у 2015 році – 0,18 євро за 1 кВт/год. електричної енергії, у 2016 році – 0,172 євро за 1 кВт/год. електричної енергії та для тих, що запрацюють у 2017-2019 роках – 0,163 євро за 1 кВт/год. електричної енергії.

Висновки. Отже, аналізуючи все вищезазначене, можна зауважити, що нетрадиційні електричні станції, а саме сонячні електростанції, мають значні переваги та стрімкий розвиток як у країнах Європи, так і в нашій країні. Про це свідчить багато досліджень та наукових публікацій вітчизняних та закордонних авторів. Швидкий розвиток у галузі нетрадиційної енергетики з використанням досвіду розвинутих європейських країн сприяють швидкому поширенню та подальшому використанню сонячних електростанцій досить швидкими темпами.

Учені багатьох країн пропонують розробити та втілити програму науково-дослідних рішень та конструкторських розробок щодо використання сонячної енергії.

У перспективі сонячна енергія буде розширювати масштаби свого використання. Сонячну енергію, вироблену за допомогою сонячної енергії, може бути використано для освітлення вулиць, під'їздів житлових будинків, для освітлення рекламних бордів на вулицях міста [10].

Список літератури:

1. Олійник Ю.С., Машкова О.В. Эффективность солнечных батарей. Сборник научных трудов: Актуальные научные исследования в современном мире. Вып. 1(33), Ч. 1. Переяслав-Хмельницкий. 2018. С. 37-39.
2. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. URL: <http://sae.gov.ua/uk/ae/sunenergy>.
3. Информационный ресурс о применении солнечной энергии и энергосбережении. URL: <http://solarsoul.net/solnechnyj-potencial-ukrainy-2017>.
4. Проект Дорожньої карти розвитку сонячної енергетики в Україні на період до 2020 року. URL: http://sae.gov.ua/sites/default/files/SONTSE_Dodatok_2_30_04_2017.pdf (дата звернення 20.03.2018)
5. Кенжаев З. Т. Состояние и перспективы развития солнечной энергетики. Молодой ученый. 2017. № 37. С. 6-7. URL: <https://moluch.ru/archive/171/45649/> (дата обращения: 20.03.2018).
6. Дубинин Д.В., Лаевский Е.В. Энергетическая эффективность работы солнечных батарей в реальных режимах эксплуатации. Известия Томского политехнического университета. 2015. Т. 326. № 3. С. 58-62.
7. E. Kabir, P.Kumar, S. Kumar, A.A. Adelodun, Ki-Hyun Kim. Solarenergy: Potential and future prospects. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 82. Part 1. February 2018. P. 894-900. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.094>.
8. R. Ciriminna, F. Meneguzzo, M. Pecoraino, M. Pagliaro. Rethinking solar energy education on the dawn of the solar economy. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 63. September 2016. Pages 13-18. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.008>.
9. S. Sansaniwal, V. Sharma, J. Mathur. Energy and energy analyses of various typical solar energy applications: A comprehensive review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 82, P. 1. February 2018. P. 1576-160. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.07.003>.
10. Бирюков А.Р., Саразов А.В. Использование альтернативных источников энергии. Солнечная энергетика, применение солнечных модулей. Проблемы и перспективы использования энергии солнца. Современная техника и технологии. 2014. № 7. URL: <http://technology.snauka.ru/2014/07/4178> (дата обращения: 24.03.2018).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

В статье рассмотрена эффективность использования солнечных батарей. Проанализированы условия, при которых их эффективность максимальна. Значительное внимание уделено перспективам развития и использования солнечных батарей. Сопоставлена стоимость 1 кВт•ч электроэнергии, которая была произведена с помощью солнечной энергии, с той, которая была произведена традиционными станциями. Рассмотрены проблемы и дефицит энергетических ресурсов, их влияние на работу электрических станций. Подчеркнуто преимущества использования солнечных электростанций. Кратко рассмотрены недостатки солнечных электростанций.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, энергетические ресурсы, эффективность, энергия Солнца, солнечные батареи, электрическая энергия, электрические станции, перспективы использования.

USING SOLAR BATTERIES IN MODERN CONDITIONS

The article considers the efficiency of using solar panels. The condition under which their effectiveness is maximal is analyzed. Considerable attention is paid to the prospects for the development and use of solar cells. The cost of 1 kilowatt-hour of electricity generated by solar energy is comparatively comparable to that produced by traditional stations. The problems and deficiencies of energy resources, and their influence on the work of power stations are considered. The advantages of using solar power plants are emphasized. The disadvantages of solar power stations are briefly reviewed.

Key words: renewable energy sources, energy resources, efficiency, energy of sun, solar panels, electric energy, electric power stations, prospects of use.

УДК 628.144.2:62-824

Черная В.О.

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского

Мельник О.Е.

ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

Омельченко А.В.

Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского

ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И СПОСОБОВ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ В АВАРИЙНЫХ РЕЖИМАХ

Рассматриваются режимы работы насосных установок коммунального и промышленного водоснабжения и водоотведения. Рассмотрены виды и причины аварийных режимов при функционировании насосных станций. Рассмотрены виды запорно-регулирующей арматуры, используемой на насосных станциях, и способы управления ею. Проанализированы особенности и условия перевода асинхронных электрических машин в режим конденсаторного торможения. Представлены результаты лабораторных исследований особенностей работы насосной установки при внезапном отключении электроснабжения. Подтверждена практическая возможность и целесообразность применения конденсаторного торможения приводного асинхронного двигателя насоса для защиты оборудования насосной станции от последствий отключения электропитания.

Ключевые слова: насосная станция, электротехнический комплекс, аварийный режим, защита, гидравлический удар.

Постановка проблемы. Электротехнические комплексы коммунального и промышленного водоснабжения и водоотведения представляют сложные электрогидравлические объекты, надежность работы которых влияет на важные звенья жизнедеятельности населения.

При эксплуатации насосных установок (далее – НУ) различного предназначения возникают режимы аварийного отключения электропитания, приводящие к непредсказуемым последствиям. В системах водоснабжения перерыв в энергопитании НУ сопровождается авариями в водоводах, выходом из строя трубопроводной арматуры, пульсациями давления в трубопроводной сети, повышенными вибрациями технологического оборудования, снижением коэффициента полезного действия насосного агрегата, что приводит к вынужденному простоям оборудования насосной станции (далее – НС).

Как правило, причиной разрушения коммуникационных сетей систем водоснабжения являются гидравлические удары, следующие

непосредственно за аварийным отключением двигателей насосов от электрической сети. Процесс протекания гидроудара зависит от наличия на НС запорно-регулирующей арматуры и условий ее срабатывания, от параметров гидроагрегата и трубопроводной сети [1]. Так, в электротехнических комплексах шахтного водоотлива с большой геодезической глубиной шахт, величина гидроудара, возникающего в результате внезапной остановки насосного оборудования, в десятки, а в некоторых случаях и в сотни раз, превышает максимально допустимые значения.

При этом на большинстве НС отсутствуют средства защиты электромеханического и гидравлического оборудования от аварийных режимов работы. Существующие средства гидрозащиты (обратные и предохранительные клапаны, гасители гидроудара) не являются эффективными, поскольку их срабатывание происходит по факту возникновения аварии, что приводит к повышению давления в трубопроводной системе выше номинального [2,3]. Применение устройств для

обеспечения бесперебойного питания потребителей также не исключает возможность возникновения аварийных ситуаций в энергосистеме.

Таким образом, современные гидротранспортные комплексы характеризуются отсутствием эффективных средств предупреждения развития аварийных режимов при перерывах в электропитании, что обуславливает снижение срока службы технологического оборудования, увеличение времени вынужденного простоя НС, снижение надежности и эффективности функционирования гидротранспортного комплекса в целом.

Анализ последних исследований и публикаций. В [4] представлены результаты анализа основных характеристик запорной арматуры гидротранспортных комплексов и указана необходимость разработки оптимальных законов управления арматурой для повышения надежности функционирования установок.

Для уменьшения величины гидравлического удара и повышения надежности и эффективности работы НУ в [5] предложен оптимальный закон управления запорно-регулирующей арматурой.

В [6] предложен критерий выбора оптимального места установки средств защиты трубопроводных систем от гидроударов.

Анализ существующих на данный момент устройств защиты НК от гидроудара показал, что в большинстве случаев трубопроводная арматура не позволяет в полной мере осуществить защиту технологического оборудования гидротранспортной системы в аварийных режимах, в том числе при внезапном отключении энергопитания на НС.

Постановление задания. Цель статьи – лабораторные исследования режимов работы электротехнического комплекса насосной установки и способов защиты электромеханического и гидравлического оборудования от последствий аварийного отключения электропитания.

Изложение основного материала исследований. Одним из эффективных способов защиты НК от превышения давления в трубопроводной системе, возникающего при перерывах энергоснабжения, является способ, основанный на использовании конденсаторных батарей для возбуждения приводного двигателя насоса [1]. Данный способ позволяет исключить возникновение гидравлического удара в гидротранспортной сети, использовать энергию потока жидкости для управления насосным комплексом в послеаварийный период с одновременной рекуперацией энергии в сеть, которая может быть направлена на питание вспомогательных потребителей (например, для

управления электрическим двигателем задвижки, управляемого гидроклапана и т. д.). Таким образом, повышается надежность и эффективность работы гидротранспортных комплексов в целом, а также продлевается срок службы оборудования за счет снижения количества поломок, связанных с аварийными отключениями электропитания.

Как известно, электрические машины, в том числе и асинхронные двигатели, которые являются основным видом электрического привода насосов, обратимы и могут работать как в двигательных, так и в тормозных режимах. Если к валу асинхронной машины (далее – АМ), подключенной к сети, приложить статический момент, то, преодолевая момент сопротивления, двигатель будет работать в двигательном режиме, потребляя мощность из сети. Если момент сопротивления на валу отсутствует, то ротор АМ будет вращаться с синхронной скоростью. При этом энергия, которая потребляется из сети, будет расходоваться на покрытие потерь (электрических и механических). Если с помощью приводного двигателя вращать ротор АМ со сверхсинхронной скоростью, то последний перейдет в генераторный режим, генерируя электрическую энергию в сеть.

Однако особенностью режима конденсаторного торможения является ограниченность зоны торможения [7, с. 18-25]. Самовозбуждение АМ наступает только при частоте, большей, чем величина нижней критической частоты самовозбуждения, а прекращается – при частоте, величина которой больше верхней критической частоты самовозбуждения, выше которой самовозбуждение невозможно. Значения верхней и нижней критических частот самовозбуждения зависят как от параметров двигателя, так и от величины емкости конденсаторной батареи.

Нижняя критическая частота самовозбуждения определяется в соответствии с выражением:

$$\omega_{к.н} \approx \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}, \quad (1)$$

где $L = L_{1\sigma} + L_{\mu}$ – индуктивность контура статора; C – емкость конденсаторных батарей.

Верхняя критическая частота самовозбуждения рассчитывается согласно со следующим выражением:

$$\omega_{к.в} \approx \frac{1}{\sqrt{L_k \cdot C}}, \quad (2)$$

где $L_k = L_{1\sigma} + L_{2\sigma}$ – полная индуктивность колебательного контура.

Расчет емкости конденсаторных батарей, согласно описанной в [7, с. 27] методике, производится по формуле:

$$C = \frac{1}{2\pi f \cdot x_c}$$

В условиях лаборатории кафедры систем электроснабжения и энергетического менеджмента Кременчугского национального университета имени Михаила Остроградского на базе лабораторной модели гидротранспортной системы (рис. 1) коллективом авторов были проведены экспериментальные исследования режима конденсаторного торможения АМ, в ходе которых были рассмотрены 2 случая:

внезапный останов насоса с последующим перетоком жидкости в подающий трубопровод (рис. 2), т. е. режим неуправляемости комплекса;

аварийное отключение энергоснабжения и подключение конденсаторных батарей (рис. 3).

Для возбуждения и регулирования частоты вращения АМ мощностью 0,55 кВт использованы конденсаторы емкостью $C1=22$ мкФ и $C2=24$ мкФ. То есть регулирование скорости может осуществляться в две ступени путем последовательного включения конденсаторов к статорной обмотке двигателя (рис. 1).

Рассмотрим первый случай (рис. 1). После остановки насоса 1 происходит реверс рабочей жидкости, раскручивая агрегат в обратную

сторону. При этом развиваемый насосом напор составляет 5 м. В момент времени 3,2 сек к статорным обмоткам АМ подключают конденсаторные батареи емкостью 22 мкФ, в результате этого происходит самовозбуждение АМ и она генерирует энергию, величина которой составляет 60 В; частота вращения АГ равна 52% номинальной; давление в трубопроводе снижается до величины 4 м; ток, протекающий по обмотке статора, равен 325 мА. В момент времени, равный 5,6 сек, подключается дополнительная емкость 24 мкФ, т.о. суммарная емкость составляет 46 мкФ. При этом наблюдается снижение скорости до величины, равной 35% номинальной; величина генерируемого напряжения составляет 38 В, статорного тока – 311 мА, давление в водоводе существенно не изменяются.

Рассмотрим второй случай (рис. 3). До момента времени 4,5 сек. насос работает в номинальном режиме, после чего происходит отключение приводного двигателя насоса от сети, имитируя потерю энергоснабжения. Вследствие малой инерции вращающихся масс насосного агрегата останавливается в течение короткого промежутка времени, который составляет 0,3 сек. В трубопроводной сети наблюдается повышение давления. Далее опыт повторяется, однако после отключения элек-

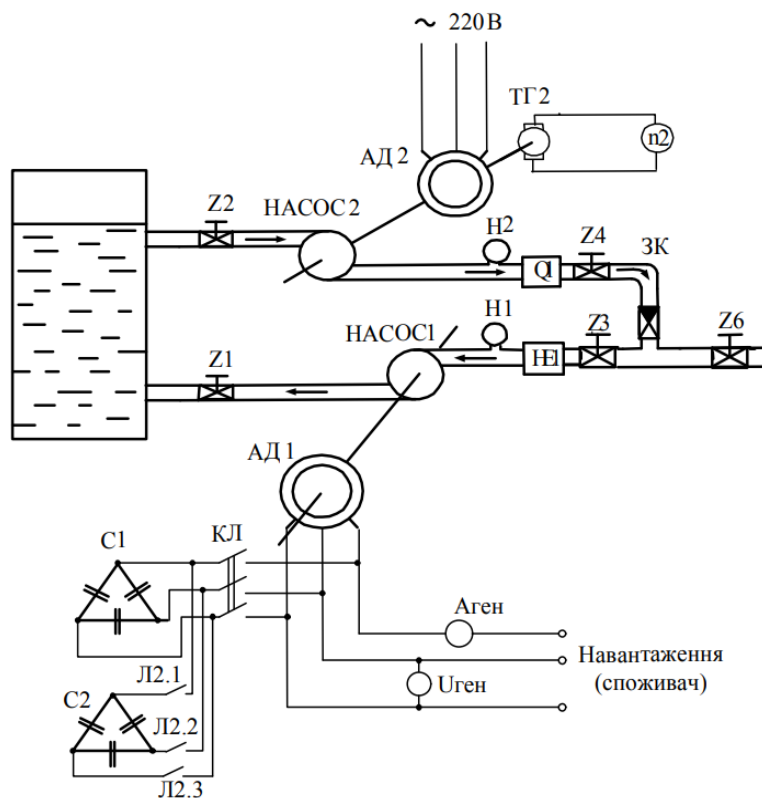
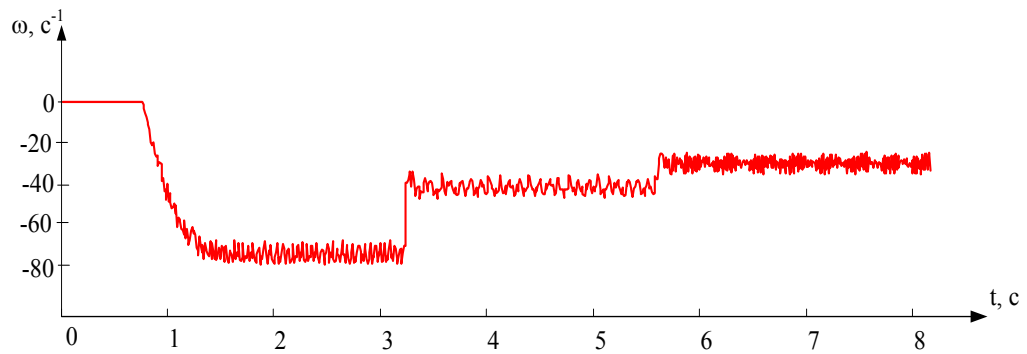
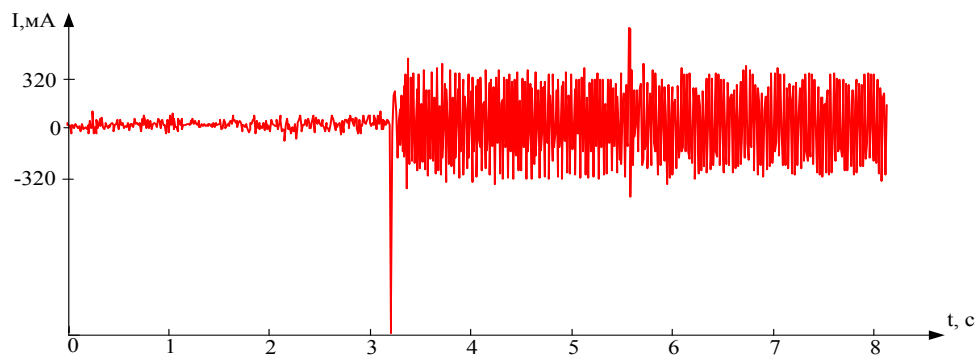


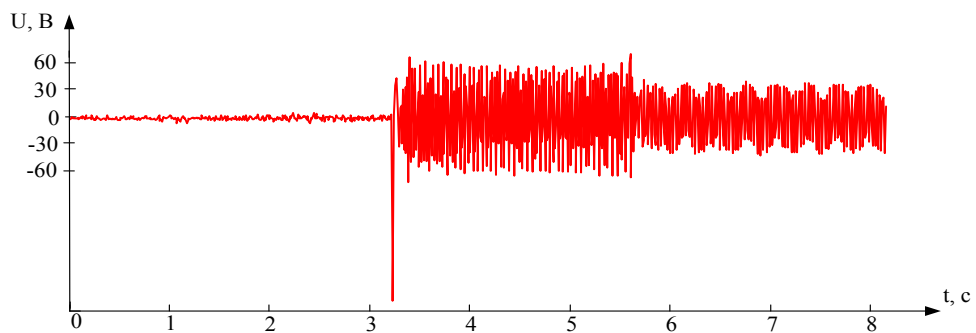
Рис. 1. Участок технологической схемы лабораторной установки



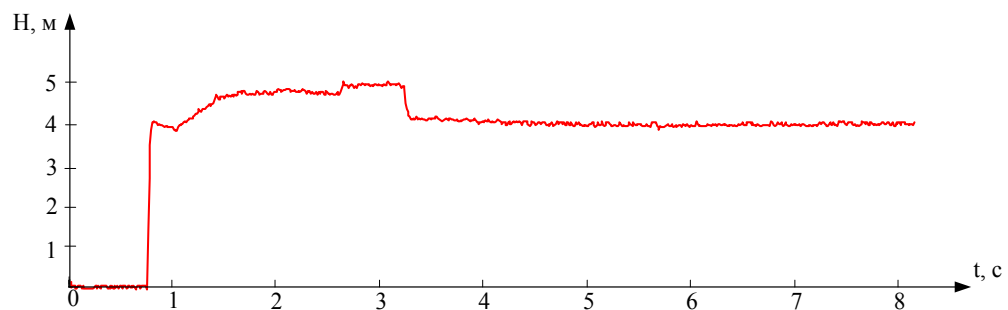
а)



б)



в)



г)

Рис. 2. Графики изменения частоты вращения (а), тока статора (б), напряжения АМ (в) и давления на выходе насоса (г) при внезапной остановке насоса и реверсе жидкости

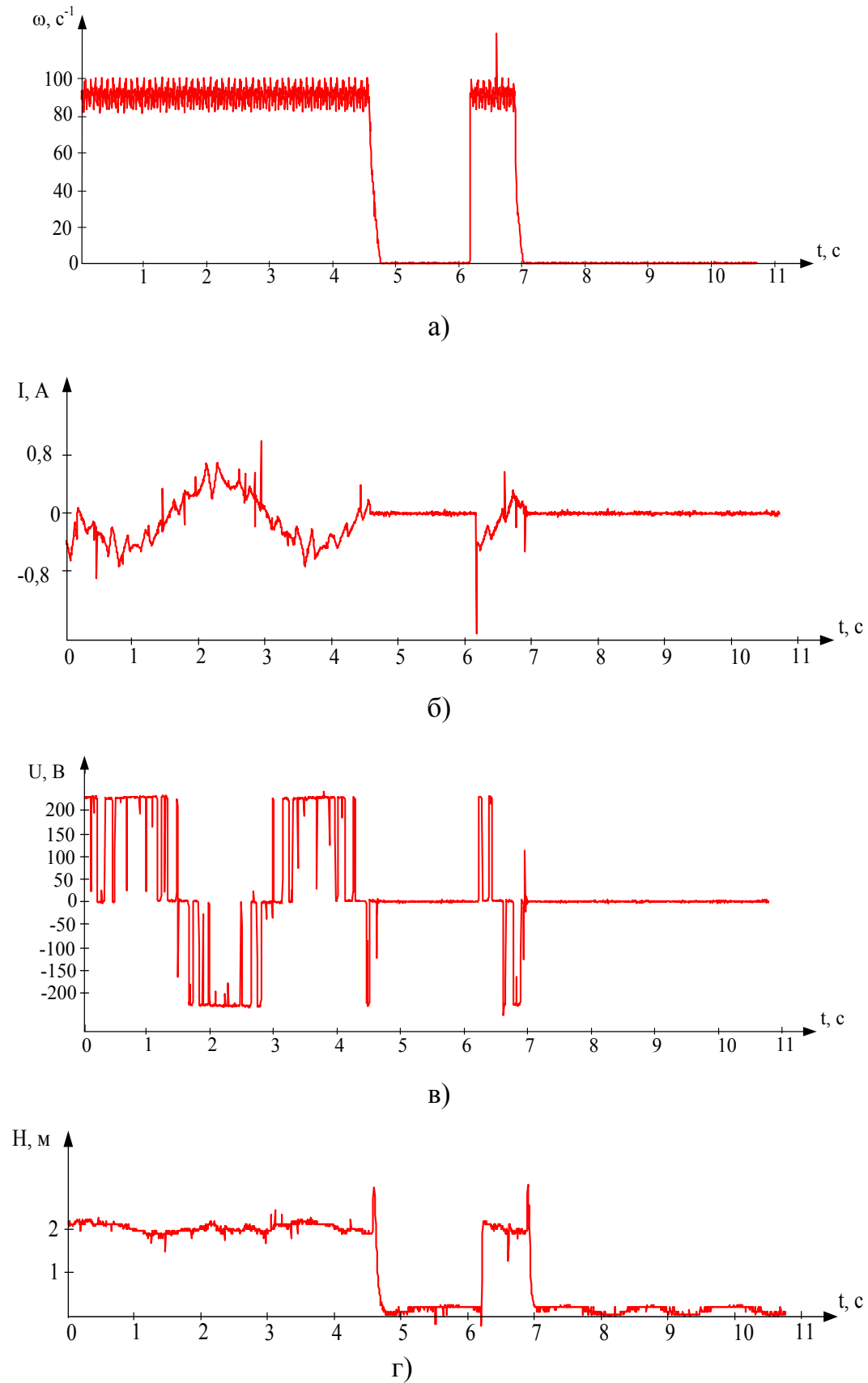


Рис. 3. Графики изменения частоты вращения (а), тока статора (б), напряжения АМ (в) и давления на выходе насоса (г) при аварийном отключении электроэнергии и подключении конденсаторных батарей

тродвигателя происходит подключение конденсаторов емкостью 22 мкФ, которые обеспечивают самовозбуждение АМ. В результате этого на валу насосного агрегата создается тормозной момент, что приводит к интенсивному снижению скорости двигателя в течение 0,15 с. Вследствие существования нижней критической скорости самовозбуждения происходит потеря возбуждения, процесс генерирования энергии прекращается.

Анализ полученных результатов свидетельствует о возможности использования режима конденсаторного торможения для управления насосным комплексом в послеаварийный период. В случае аварийного отключения электроснабжения электромеханическая система исполняет роль управляющего органа, полностью или частично снижая воздействия гидравлических ударов, пульсаций давления, возникающих в трубопроводной системе (давление в трубопроводе не превышает допустимого значения). А подключенные к двигателю конденсаторы обеспечивают снижение реверсивной частоты вращения насосного агрегата и одновременное генерирование элек-

трической энергии, которая может быть использована для питания потребителей, например, управляемой задвижки. В свою очередь, повышается надежность и эффективность функционирования гидротранспортного комплекса в целом.

Выводы:

1) проанализированы особенности работы гидротранспортного комплекса при отключении электропитания, а также несовершенство существующих средств защиты оборудования от аварийных режимов;

2) Предложена методика расчета емкости конденсаторных батарей для перевода асинхронного двигателя насоса в режим конденсаторного возбуждения в случае обрыва электропитания и обратного тока жидкости;

3) Проведены лабораторные исследования, доказывающие возможность применения конденсаторного торможения АМ при перерывах электроснабжения гидротранспортного комплекса и обратном токе жидкости, а также эффективность защиты технологического оборудования от последствий обрыва электропитания.

Список литературы:

1. Коренькова Т.В., Михайличенко Д.А., Черная В.О. Расширение функциональных возможностей электроприводов насосных установок при аварийном отключении энергопитания. Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. 2007. Вип. 7(44). Ч. 2. С. 30–34.
2. Михайличенко Д.А., Коренькова Т.В. К созданию систем управления насосными станциями при аварийных режимах работы. Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. 2004. Вип. 3(26). С. 89–95.
3. Коренькова Т.В., Алексеева Ю.А., Михайличенко Д.А. Система защиты насосной установки от гидроудара с емкостным накопителем в силовом контуре. Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. 2005. Вип. 6(35). С. 68–72.
4. Коренькова Т.В., Кравец А.М. Особенности динамических режимов в гидротранспортных системах с управляемой трубопроводной арматурой. Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. 2007. Вип. 3(44). Ч. 2. С. 162–167.
5. Кравец А.М., Коренькова Т.В. Особенности частотного управления электроприводом трубопроводной арматуры в гидротранспортном комплексе. Вісник Кременчуцького державного університету імені Михайла Остроградського. 2010. Вип. 3(62). Ч. 1. С. 18–21.
6. Кононенко А.П., Овсянников В.П., Оверко М.В. Программное дросселирование как метод защиты водоотливной установки от гидравлического удара. Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Гірничо-електромеханічна». 2013. Вип. 1. С. 96–103.
7. Кашкалов В.И. Конденсаторное торможение асинхронных двигателей. Москва, 1977. 120 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА СПОСОБІВ ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ НАСОСНОЇ УСТАНОВКИ В АВАРІЙНИХ РЕЖИМАХ

Розглядаються режими роботи насосних установок комунального і промислового водопостачання і водовідведення. Розглянуто види та причини аварійних режимів при функціонуванні насосних станцій. Розглянуто види запірно-регулюючої арматури, що використовується на насосних станціях, і способи управління нею. Проаналізовано особливості та умови переведення асинхронних електричних машин в режим конденсаторного гальмування. Представлено результати лабораторних досліджень особливостей роботи насосної установки у разі раптового відключення електропостачання. Підтверджено практичну можливість та доцільність застосування конденсаторного гальмування приводного асинхронного двигуна насоса для захисту обладнання насосної станції від наслідків відключення електроживлення.

Ключові слова: насосна станція, електротехнічної комплекс, аварійний режим, захист, гідравлічний удар.

RESEARCH OF MODES OF FUNCTIONING AND METHODS OF PROTECTION OF ELECTRICAL ENGINEERING COMPLEX OF PUMPING UNIT IN EMERGENCY REGIMES

The modes of operation of pumping installations for municipal and industrial water supply and sanitation are considered. The types and causes of emergency regimes in the operation of pumping stations are considered. Types of shut-off and control valves used at pumping stations and methods of controlling it are considered. The features and conditions for the transfer of asynchronous electric machines to the regime of capacitor braking are analyzed. The results of laboratory studies of the operation modes of a pumping unit are presented in the event of a sudden power failure. The practical possibility and purposefulness of the application of the capacitor braking of the drive asynchronous pump motor to protect the pumping station equipment from the consequences of switching off the electric power was confirmed.

Key words: pumping station, electrical complex, emergency mode, protection, capacitor electric braking.

РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 622.272

Калініченко О.В.

ДВНЗ «Криворізький національний університет»

УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ПІДЗЕМНИХ ГІРНИЧИХ РОБІТ З УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ НА НИХ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ГІРСЬКОГО МАСИВУ

Робота присвячена вирішенню актуальної проблеми вдосконалення концепцій системного управління процесами підземних гірничих робіт. Виконано аналіз впливу застосованих систем розробки на характер порушень денної поверхні. Наведено варіант математичного моделювання підземного видобутку з епюрами та величиною деформацій. Обґрунтовано спосіб, що гарантує неможливість провалів і просідань денної поверхні на основі застосування систем розробки з твердіючою закладкою. Зосереджено увагу на окремих технологічних схемах, які припускають утилізацію пустих порід і відходів збагачення у відпрацьованому просторі очисних блоків.

Ключові слова: гірський масив, підземна розробка, напружено-деформований стан, твердіюча закладка, утилізація пустих порід.

Постановка проблеми. У Криворізькому залізничному басейні протягом десятків років складалася унікальна ситуація зі збереженням денної поверхні в межах діючих і закритих ліквідованих шахт. У результаті тривалої і інтенсивної експлуатації родовищ Кривбасу підземним способом утворилися значні площі підроблених гірничими роботами територій. Порушення денної поверхні з воронками, провалами і зонами обвалення були викликані застосуванням на підземних гірничих роботах, під час відпрацювання верхніх горизонтів, різних варіантів систем розробки з обваленням руди і вміщуючих порід, а також камерних систем розробки. У першому випадку, при м'яких нестійких рудах, спостерігалися досить плавні просідання денної поверхні з формуванням прогнозованих зон обвалення.

Під час використання камерних систем розробки формування зон обвалення відбувалося стрибкоподібно, в залежності від обсягу камерної виїмки, міцності рудної стелини і вміщуючих порід. У цьому випадку прогнозування зон обвалення було і є більш складним завданням, оскільки в розрахунки вступають фізико-механічні властивості гірських порід, що мають більш високу міцність. У зв'язку із цим, під час обвалення покрівлі камер можлива неповна посадка

стелин, що, у свою чергу, може призвести до формування мінікамери, облік і контроль яких практично неможливі. Посадка таких мінікамери, розташованих поряд із денною поверхнею, може призвести до незапланованих провалів денної поверхні через багато років після відпрацювання покладів і повного закриття шахт.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням теорії і практики моніторингу та управління напружено-деформованим станом масиву при підземному видобутку залізних руд присвячена велика кількість робіт. Серед даних робіт виділяються класичні роботи, присвячені вивченню фізичних явищ, що відбуваються в масиві гірських порід, а також інструктивні, спрямовані на визначення допустимих розмірів штучних підземних споруд [1–5]. В.В. Царіковській і В.В. Саковіч у своїх роботах за визначенням геометричних параметрів склепистих і шатрових оголень стелин відзначають, що надання їм зазначених форм дозволяє підвищити стійкість за рахунок скорочення в них зони дії розтягуючих напружень [3; 6]. Стелини зі склепистою і шатровою формами оголень можуть бути більш стійкими.

Серед робіт, присвячених дослідженням пружно-деформованого стану масиву, найбільш повними є роботи проф. М.М. Протод'яконова

[7], В.Д. Слесарьова [8], Г.Н. Кузнецова [9], С.В. Ветрова [10], В.Ф. Трумбачьова, Е.А. Мельнікова [11] та інших дослідників [12–14].

Постановка завдання. Підземна розробка магнетитових кварцитів на за технологією «камера-цілик» призвела до формування в надрах величезної кількості пустот, що обчислюються мільйонами кубічних метрів. Ці порожнечі становлять потенційну небезпеку в разі їх обвалення.

Таким чином, розвиток наукових основ моніторингу та управління процесами взаємодії полів напружено-деформованого стану масиву під час формування штучних підземних споруд, дослідження і розробка технологічних рішень, що запобігають утворення провалів земної поверхні при підземному видобутку залізних руд, є актуальною науково-технічною проблемою, що має важливе народногосподарське значення.

Виклад матеріалу та результати. Площа підроблених гірничими роботами територій з оцінки державного проектного інституту «Кривбаспроект» становить 3 600 га, в тому числі площа воронки обвалення в межах мульди зрушення гірських порід в полях діючих та ліквідованих шахт становить порядку 1030 га [15]. Дані території мають тенденцію до розширення з причини продовження видобутку залізних руд підземним способом.

Так, наприклад, під час відпрацювання покладів магнетитових кварцитів на ш. Гігант-Гли-

бока колишнього РУ ім. Держинського в надрах залишилися пустоти, існуючі до сьогодення часу. Математичне моделювання відпрацьованої дільниці покладів магнетитових кварцитів на ш. Гігант-Глибока представлено на рис. 1.

Результати моделювання дають можливість стверджувати, що на денній поверхні величина деформацій досягає 0,50 м. З урахуванням реологічних властивостей гірських порід ця величина буде збільшуватися в часі.

Враховуючи те, що відпрацьовані пустоти знаходяться практично в центрі міста, такий рівень деформацій денної поверхні може призвести, із часом, до руйнування промислових, а можливо, і цивільних об'єктів, які знаходяться в зонах можливого впливу залишених пустот.

Згідно з розрахунками ДП НДГРІ розміри міжкамерних ціликів та фізико-механічні властивості гірських порід (магнетитових кварцитів) на довгий час повинні забезпечити стійкий напружено-деформований стан відпрацьованої дільниці.

Однак, на наш погляд, існує імовірність руйнування міжкамерних ціликів, які залишили між відпрацьованими камерами. Досвід відпрацювання ділянки магнетитових кварцитів у полі ш. ім. Орджонікідзе ПАТ ЦГЗК доводить можливість такого припущення. Розрахункові параметри оголень та розмірів ціликів в умовах ш. ім. Орджонікідзе не забезпечили безпечну технологію під-

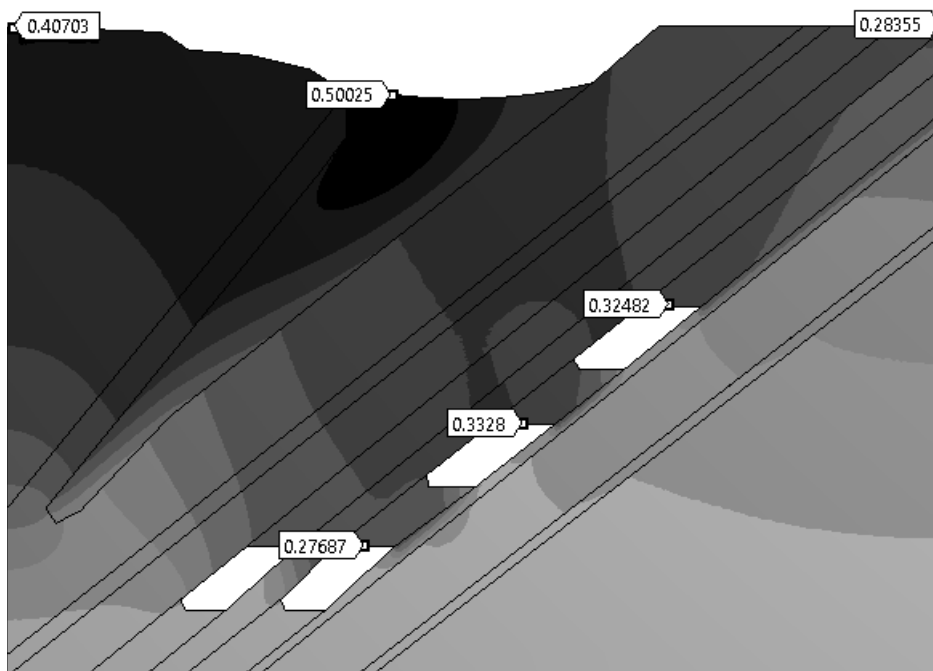


Рис. 1. Епюри та величина деформацій (м) відпрацьованої дільниці покладів магнетитових кварцитів на ш. Гігант-Глибока РУ ім. Держинського

земного видобутку магнетитових кварцитів, що призвело до руйнування МКЦ та раптового просідання денної поверхні.

В умовах відпрацьованої дільниці покладів магнетитових кварцитів на ш. Гігант-Глибока та законсервованих пустот, обсяг яких досягає кількох мільйонів кубічних метрів, випадкове руйнування одного МКЦ може призвести до ланцюгової реакції, наслідки якої можуть бути катастрофічними. Можливість та імовірність руйнування МКЦ досить висока, враховуючи видобуток багатих залізних руд із застосуванням БВР на кар'єрі, який знаходиться практично над відпрацьованою ділянкою родовища магнетитових кварцитів.

У той же час, хоча тектонічна активність у районі Криворізького залізрудного басейну практично відсутня, відголоски землетрусів час від часу порушують гірський масив та можуть спровокувати часткове руйнування запобіжних міжкамерних та міжповерхових ціликів із прогнозованими наслідками.

У даний час підземні гірничі роботи пішли на глибокі горизонти, під час відпрацювання яких вплив очисної виїмки на денну поверхню значно знижено. У цьому випадку практично неможливі несподівані, стрибкоподібні провали на поверхні землі. У той же час має місце плавне її просідання на значно більших площах в зв'язку зі збільшенням розмірів мульди зрушення налягаючих гірських порід під час зниження підземних гірничих робіт.

На наше глибоке переконання, єдиним способом, що гарантує неможливість провалів і просідань денної поверхні, є застосування систем розробки з твердіючою закладкою. Дана технологія дозволяє зберігати непорушеною денну поверхню, використовуючи твердіючу закладку для заповнення відпрацьованого очисного простору. Окремі технологічні схеми припускають утилізацію пустих порід і відходів збагачення у відпрацьованому просторі очисних блоків.

Технологія видобутку руд із твердіючою закладкою виробленого простору є одним з найбільш поширених і перспективних способів підземної розробки рудних. У минулому столітті дана технологія успішно використовувалася під час відпрацювання багатих залізних руд на вищележачих горизонтах шахт РУ ім. Іллча і РУ ім. Комінтерну в Кривбасі. У даний час ця технологія з успіхом використовується для відпрацювання залізних руд в умовах ЗЗРК, а також під час відпрацювання уранових родовищ СхідГЗК.

Найважливішою перевагою технології видобутку руд з твердіючою закладкою виробленого простору є те, що її застосування дозволяє:

1) запобігати обвалення денної поверхні під час попадання в зони зсуву і обвалення промислових і цивільних об'єктів;

2) запобігати розвитку високого гірського тиску, який приводить до можливості розвитку гірських ударів, породних викидів, масових обвалень порід;

3) забезпечити високі показники вилучення руди з надр у складних гірничо-геологічних умовах і великій глибині залягання;

4) ізолювати відходи гірничого виробництва в підземних виробках, знизивши шкідливий вплив побічних продуктів видобутку руд на навколишнє середовище

5) знизити обводненість вміщуючих порід.

Таким чином, технологія видобутку руд із твердіючою закладкою виробленого простору може бути конкурентоспроможною в порівнянні з існуючими технологіями. Крім цього, слід зазначити, що підземна розробка руд із твердіючою закладкою є одним із найбільш ефективних засобів управління гірським тиском, знижуючи вплив гірських порід на конструктивні елементи виїмкових одиниць. Така технологія дозволяє застосовувати високопродуктивні системи розробки з відкритим очисним простором на великих глибинах і використовувати потужну високопродуктивну самохідну техніку на очисних і прохідницьких роботах.

У той же час використання систем розробки з твердіючою закладкою потребує вирішення декількох основних завдань.

По-перше, необхідні дослідження напружено-деформованого стану гірського масиву під час проведення очисних робіт та рекомендації щодо міцності майбутнього штучного закладного масиву.

По-друге, необхідні дослідження з вибору й обґрунтування складів твердіючих сумішей, які на заданий термін твердіння забезпечували б необхідне (нормативне) значення міцності.

Відомо, що нормативна міцність закладки визначається на підставі геомеханічного розрахунку параметрів штучних масивів із закладки перед початком відпрацювання запасів поверхів, виїмкових дільниць і окремих видобувних блоків. Критерієм визначення міцності закладки є забезпечення стійкості штучних закладних масивів на весь період ведення гірничих робіт у видобувних блоках.

Особливістю штучних масивів твердіючої закладки є те, що на кордонах очисного простору ці масиви оголюються. Таке положення вимагає додання закладці такої міцності, яка виключила б руйнування штучних ціликів під дією гірського тиску. Забезпечення розрахункової міцності закладки залежить від цілого ряду властивостей вихідних матеріалів закладки і компонентів твердіючих складів, технологічних факторів приготування сумішей і умов їх тверднення в очисних камерах.

З метою спрощення рішення задачі прогнозування міцності закладки та вибору раціональних складів твердіючих сумішей, що забезпечують нормативне значення міцності для конкретних умов, нами запропонована наступна методика. Базою пропонованої методики є математична модель, що комплексно описує вплив всіх технічних і технологічних факторів на міцність закладки. Дана модель дозволяє без проведення тривалих натурних досліджень і промислових експериментів розраховувати прогнозу міцність закладки, а також підбирати склади твердіючих сумішей, що забезпечують нормативне значення міцності закладки після її затвердіння.

Використання під час виробництва закладочних робіт недорогих інертних заповнювачів поряд з одночасним скороченням дорогих в'язучих компонентів дозволяє знизити собівартість підземного видобутку залізних руд.

Враховуючи екологічні переваги підземного видобутку, а також можливість утилізації поверхневих відвалів пустих порід, використовуваних в якості інертного заповнювача, запропоновані технології дозволяють не тільки раціонально вико-

ристовувати сировинну базу Кривбасу, а й здійснювати високоефективний видобуток корисних копалин екологічно чистими ресурсозберігаючими технологіями.

Висновки. Практика і накопичений досвід роботи гірничодобувних підприємств показують, що сьогоденні витрати на реалізацію заходів щодо попередження можливих надзвичайних ситуацій, пов'язаних із порушеннями денної поверхні у вигляді воронок, провалів і зон обвалення, значно нижчі, ніж витрати на їх ліквідацію в майбутньому.

На наше глибоке переконання, єдиним способом, що гарантує неможливість провалів і просідань денної поверхні, є застосування систем розробки з твердіючою закладкою. При більш високій собівартості видобутку дані системи розробки дозволяють отримати економію в майбутньому, забезпечивши збереження денної поверхні.

При цьому слід сказати, що жодна високорозвинена гірничодобувна країна світу не відпрацьовує родовища корисних копалин у міській межі без наступної закладки виробленого простору. Відмовившись від систем розробки із закладкою виробленого простору в минулому, Криворізький залізорудний басейн зіткнувся з серйозною проблемою сьогодні.

Таким чином, подальші дослідження повинні бути спрямовані не тільки на спостереження і прогнозування зрушень ділянок денної поверхні в зоні підземних гірничих робіт. Сучасні дослідження мають бути спрямовані на розробку і вдосконалення існуючих технологій підземного видобутку залізних руд із тенденцією на перехід до систем розробки із закладкою виробленого простору.

Список літератури:

1. Определение и контроль допустимых размеров конструктивных элементов систем разработки на рудниках Кривбасса. Минчермет УССР. Кривой Рог: НИГРИ, 1987. 75 с.
2. Инструктивные указания по определению параметров этажно- камерных систем разработки по условиям проявления горного давления с увеличением глубины ведения работ на шахтах Кривбасса. Кривой Рог: НИГРИ, 1965. 68 с.
3. Цариковский В.В. и др. Определение геометрических параметров камерных систем разработки в Кривбассе со сводаобразной и шатровой формами обнажения потолочин: инструкция. Кривой Рог: НИГРИ, 1994. 17 с.
4. Влох Н.П., Ушков С.М. К вопросу определения предельного пролета выработанного пространства. Сборник научных трудов НИГРИ. Кривой Рог, 1968. Т.2. С. 112.
5. Визначення та контроль допустимих розмірів конструктивних елементів систем розробки залізних руд: інструкція по застосуванню. СОУ-Н МПП 73.020-142:2010. Київ, 2010. 122 с.
6. Цариковский В.В. Исследование и разработка геомеханического обоснования технологических схем отработки богатых руд с повышенной устойчивостью конструктивных элементов: отчет НИГРИ. № ГР018800522136. Кривой Рог, 1989. 74 с.
7. Протодьяконов М.М. Давление горных пород и рудничное крепление. Ч.1. М.-Л. Новосибирск: Госгортехиздат, 1933. 126 с.

8. Слесарев В.Д. Механика горных пород и рудничное крепление. Москва: Углетехиздат, 1948. 302 с.
9. Кузнецов Г.Н. Определение полной несущей способности кровли подземных выработок. ТР. ВНИМИ. 1950. № 22. С. 231–259.
10. Ветров С.В. Допустимые размеры обнажений горных пород при подземной разработке руд. Москва: Изд. «Наука», 1975. 232 с.
11. Трумбачев В.Ф., Мельников Е.А. Распределение напряжений в целиках и потолочинах камер. Сб. «Исследование распределения напряжений вокруг горных выработок». Углетехиздат, 1959. 44 с.
12. Ступнік М.І., Калініченко В.О., Калініченко О. В., Музика І.О., Федько М.Б., Письменний С.В. Інформаційні технології – складова процесів моніторингу та керування напружено-деформованим станом масиву: Розробка родовищ 2015: щорічний науково-технічний збірник / за ред. В.І. Бондаренко та ін. Дніпропетровськ: Літограф, 2015. С. 175–183.
13. Ступнік М.І., Калініченко В.О., Калініченко О.В. Визначення економічних ризиків від порушень денної поверхні в результаті підземного видобутку руд: зб. наук. праць. Кривий Ріг: Вісник Криворізького національного університету, 2012. Вип. 32. С. 246.
14. Ступнік М.І., Калініченко В.О., Калініченко О.В. Економічна оцінка ризиків можливих геомеханічних порушень денної поверхні в полях шахт Кривбасу. Дніпропетровськ. Науковий вісник Національного гірничого університету. 2012. № 6. С. 126.
15. Сучасні технології розробки рудних родовищ: Збірник наукових праць за результатами роботи II Міжнародної науково-технічної конференції. Кривий Ріг: Видавничий дім, 2012. 140 с.

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАБОТ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ НА НИХ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНОГО МАССИВА

Работа посвящена решению актуальной проблемы совершенствования концепций системного управления процессами подземных горных работ. Выполнен анализ влияния используемых систем разработки на характер нарушений дневной поверхности. Приведен вариант математического моделирования подземной добычи с эпюрами и величиной деформаций. Обоснован способ, гарантирующий невозможность провалов и просадок дневной поверхности на основе применения систем разработки с твердеющей закладкой. Сосредоточено внимание на отдельных технологических схемах, которые предполагают утилизацию пустых пород и отходов обогащения в отработанном пространстве очистных блоков.

Ключевые слова: горный массив, подземная разработка, напряженно-деформированное состояние, твердеющая закладки, утилизация пустых пород.

CONTROL OF UNDERGROUND MINING PROCESSES CONSIDERING IMPACTS OF THE STRESS-STRAIN STATE OF ROCKS

The paper deals with the actual problem of enhancing the concepts of the system of controlling underground mining processes. The paper analyzes the impacts mining systems produce on the character of daylight surface disturbances, presents a version of simulating underground mining operations with strain and strain value diagrams, substantiates the method ensuring impossibility of caving and the daylight surface subsidence on the basis of applying mining systems with consolidating backfill, focuses on flowsheets involving utilization of mining and concentration wastes in dead stopes.

Key words: rock massif, underground mining, stress-strain state, consolidating backfill, utilization of mining wastes.

УДК 621.3:622:519.24

Кобылянский Б.Б.Учебно-научный профессионально-педагогический институт
Украинской инженерно-педагогической академии**Мнухин А.Г.**

Запорожская государственная инженерная академия

НЕПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ СТАТИСТИКА ДЛЯ ОЦЕНКИ ОСОБЕННОСТЕЙ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

На современном этапе технического развития все комплексные системы промышленного производства (в частности, угольной промышленности) требуют автоматизации всего процесса, включающего работу добычного и транспортного оборудования, что нельзя выполнить без детального математического описания всех специфических явлений, характеризующих конкретное производство. Поэтому впервые для решения задачи управления сложными технологическими, многофакторными системами предлагается использование непараметрической статистики, которая в отечественной специальной литературе не нашла должного отражения. И тем не менее, именно такие математические подходы позволяют выполнить корректный прогноз рассматриваемых явлений за пределами имеющихся экспериментальных данных с достаточной для решения большинства практических задач точностью, особенно в тех случаях, когда число самих данных относительно невелико.

Ключевые слова: угольная промышленность, оценка, непараметрическая статистика.

Постановка проблемы. На современном этапе предприятия угольной промышленности оснащены автоматизированными линиями и комплексами, внедряются современные технологические комплексы и участки, гибкие производственные системы. Все это способствует решению двух взаимосвязанных задач, таких как: выпуск более качественной продукции и повышение безопасности производственного процесса. Охрана труда, будучи системой специальных знаний, предназначена в качестве средства обеспечения безопасности технологических процессов и производства [1]. Совершенствованию системы управления охраной труда различных предприятий постоянно уделяется внимание ученых Украины [3–6]. Одним из основных способов оценки техногенного риска на предприятиях повышенной опасности, в частности угольных, является исследование уровня возможного травматизма.

Изложение основного материала. Известно, что высокой аварийности и травматизму на шахтах Украины, особенно на Донбассе, способствуют сложнейшие горно-геологические условия разработки угольных пластов, устаревший шахтный фонд и горно-шахтное оборудование, а также целый ряд других факторов, которые нельзя

не учитывать при анализе травматизма. Известен также такой факт, что изучение различных одинок факторов и их групп требуют различных статистических подходов и математических методов для их практической реализации.

Число шахт с особо опасными условиями труда представлено в табл. 1, из которой видно, что в угольной промышленности Украины 89 % шахт газовые, 60 % – опасные по взрывчатости угольной пыли, 45,2 % – опасные по газодинамическим явлениям (внезапные выбросы угля, породы и газа, горные удары) и 22 % – по самовозгоранию угля.

Вместе с тем анализ причин травматизма и аварийности свидетельствует о значительном удельном весе среди причин этих происшествий человеческого фактора, особенно аварий с групповым травматизмом. Это подтверждают материалы расследования аварий 1 и 2 категорий с групповыми несчастными случаями. Данные материалов расследования аварий и травматизма свидетельствуют о том, что среди их причин значительную роль играет нарушение правил техники безопасности. Для установления и группировки основных причин и тенденции этих явлений необходимо провести более глубокое изучение условий,

Таблиця 1

Число шахт с особо опасными условиями труда

Регион	Общее число шахт с особо опасными условиями труда	Количество шахт – технических единиц по видам опасности										Взрывчатая угольная пыль	Самовозгорание угля
		Выделение метана						Горные удары	Взрывчатая угольная пыль	Самовозгорание угля			
		Всего шахт	в т.ч. по категориям			Внезапные выбросы угля и газа	Всего шахт				Самовозгорание угля		
			I	II	III								
Донецкая обл.	105	47	10	5	3	29	53	13	65	27			
Луганская обл.	70	34	5	2	4	23	20	-	34	11			
Другие области	15	15	4	4	4	3	-	-	15	5			
Украина	190	96	19	11	11	55	73	13	114	43			
Удельный вес шахт, %	100,0	50,6	10,0	5,8	5,8	29,8	38,4	6,8	60,0	22,6			

Таблиця 2

Среднее годовое число аварий и простоев на шахтах Украины

Причины аварий и простоев	Число случаев		%	Потери	
	Всего	Всего		Рабочего времени, ч	Добычи, тыс. т.
Аварии и простои эксплуатационные в т.ч. завалы (обрушения) в лавах	29440	6394	26,2	208859	3745
Отказы горно-шахтного оборудования в т.ч. забойного оборудования	34800	28062	31,0	178757	832
Аварии и простои на главных подъемных установках	548	19005	0,4	145436	4023
Аварии (простои) на шахтном транспорте в т.ч. на конвейерном транспорте	12871	4162	16,9	97028	111
Остановки по предписанию инспекции и участка вентиляции и техники безопасности (ВГБ)	4162	24314	3,8	59006	2471
Прочие опасности, всего	24314	1817	21,7	44113	1934
в т.ч. необеспеченность крепежным лесом	1817	211	3,8	20887	969
Остановки вентиляторов главного проветривания	211	143	21,7	9384	212
Загазованность выработок	143	432	7033	7033	142
Загрязнение (подтопление) выработок	432	6991	2321	6991	24
Всего	112269	112269	100,0	742758	197
					14654

в которых традиционные методы элементарной статистики оказываются недостаточно эффективными.

Химическая и горная промышленность, военные науки, планирование сколько-нибудь серьезных процессов и явлений – везде используются методы математической статистики высокого уровня, базирующиеся на использовании теории распределений, и, в первую очередь, нормальных и квазинормальных распределений. Однако становится очевидным, что по мере усложнения характера протекания рассматриваемых процессов, т. е. при вынужденном использовании других несимметричных распределений, в частности Стьюдента или Колмогорова, для описания массивов экспериментальных данных или их выборок традиционных методов статистики становится уже недостаточно. Даже при полном их соответствии решению ряда задач горной электротехники [2], использование их для прогноза состояния эргатических систем, например, предприятий угольной промышленности, они не позволяют дать корректную оценку рассматриваемому явлению и выполнить прогноз поведения системы в условиях, отличных от рассматриваемых.

В мире ежегодно травмируется до 200 тыс. шахтеров, в том числе 6-10 тыс. человек со смертельным исходом. Наибольшее число травм происходит на шахтах Китайской народной республики, где ежедневно в результате несчастных случаев на угольных шахтах гибнет более 10 шахтеров, а в 1995 году число погибших в этой стране превышало 10 тыс. 400 горняков.

За последние 30 лет даже на относительно малоаварийных польских шахтах произошло 15 взрывов метано-воздушной смеси, при этом пострадало 426 человек, в том числе 219 – смертельно [7]. В этот период имели место 17 катастрофических взрывов газа и пыли на шахтах Российской Федерации, Югославии (4), Японии (5), ЮАР (3), а также в ФРГ, Турции, Перу, Тайване, Мозамбике и др. [7].

Вместе с тем в ведущих угледобывающих странах в послевоенные годы число аварий и катастроф значительно снизилось. Обобщенные данные по соответствующей динамике смертельного травматизма в первой десятке угледобывающих стран представлены в табл. 2, вследствие чего для соответствующего анализа упомянутых данных, характеризуемых малым объемом, требуются иные математические методы, и, в частности, непараметрической статистики.

Для того чтобы правильно понять идеи *непараметрической* статистики (термин был впервые введен Wolfowitz, 1942), следует познакомиться с идеями *параметрической* статистики. Поэтому изначально следует ознакомиться с понятием статистической значимости критерия, основанного на распределении определенной статистики (вы можете просмотреть эту главу, прежде чем продолжить чтение). Говоря кратко, если вы знаете распределение наблюдаемой переменной, то можете предсказать, как в повторных выборках равного объема будет «вести себя» используемая статистика – т.е. каким образом она будет распределена. Пусть, например, имеется 100 случайных выборок, из одной популяции по 100 взрослых человек в каждой. Вычислим среднюю квалификацию (возраст или стаж) субъектов в каждой выборке, т.е. построим выборочное среднее. Тогда распределение выборочных средних можно хорошо аппроксимировать нормальным распределением (более точно, *t*-распределением Стьюдента с 99 степенями свободы). Теперь представьте, что случайным образом извлечена еще одна выборка из работников некоего предприятия, где, по вашим представлениям, проживают люди с возрастом выше среднего. Если средний возраст людей в этой выборке попадает в верхнюю 95% критическую область *t* распределения, то можно сделать обоснованный вывод, что работники этого объединения, действительно, в среднем более высокую квалификацию (чем в целом по промышленности), т.е. что это действительно наиболее хорошо функционирующее предприятие.

Возникает вопрос: «Действительно ли большинство переменных имеют нормальное распределение? В рассмотренном примере использовался тот факт, что в повторных выборках равного объема средние значения (возраста людей) будут иметь *t*-распределение (с определенным средним и дисперсией). Однако это верно, если рассматриваемая переменная имеет нормальное распределение, т.е. что распределение людей определенной квалификации нормально распределено (рис. 1).

Одним из факторов, ограничивающих применения критериев, основанных на предположении нормальности, является объем выборки. До тех пор пока выборка достаточно большая (например, 100 или больше наблюдений), можно считать, что выборочное распределение нормально, даже если вы не уверены, что распределение переменной в популяции является нормальным. Тем не менее, если выборка мала, эти критерии следует использовать только при наличии уверенности,

что переменная действительно имеет нормальное распределение. Однако нет способа проверить это предположение на малой выборке.

Использование критериев, основанных на предположении нормальности, кроме того, ограничено шкалой измерений. Такие статистические методы, как t-критерий, регрессия и т. д. предполагают, что исходные данные непрерывны. Однако имеются ситуации, когда данные, скорее, просто ранжированы (измерены в порядковой шкале), чем измерены точно.

Типичный пример дают группы данных: первую позицию занимает группа с максимальным числом рабочих конкретной специальности, вторую позицию занимает группа с максимальным числом рабочих среди оставшихся групп (среди групп, из которых удалена первая группа) и т. д. Зная рейтинги, а рабочих одной из групп больше числа рабочих другой, но насколько больше, сказать уже нельзя. Представьте, вы имеете 5 групп: А, В, С, D, E, которые располагаются на 5 первых мест. Пусть в текущем месяце мы имели следующую расстановку: А, В, С, D, E, а в предыдущем месяце: D, E, А, В, С. Спрашивается, произошли существенные изменения в рейтингах групп или нет? В данной ситуации, очевидно, мы не можем использовать t-критерий, чтобы сравнить эти две группы данных, и переходим в область специфических вероятностных вычислений (а любой статистический критерий содержит в себе вероятностную калькуляцию!). Мы рассуждаем примерно следующим образом: насколько велика вероятность того, что отличие в двух расстановках групп вызвано чисто случайными причинами или это отличие слишком велико и не может быть объяснено за счет чистой случайности. В этих рассуждениях мы используем лишь ранги или перестановки групп и никак не используем кон-

кретный вид распределения числа объектов изучения на них.

Для анализа малых выборок и для данных, измеренных в бедных шкалах, применяют непараметрические методы, и в частности, краткий обзор непараметрических процедур. По существу, для каждого параметрического критерия имеется, по крайней мере, одна непараметрическая альтернатива.

В целом подход к статистическим критериям в анализе данных должен быть прагматическим и не отягощен лишними теоретическими рассуждениями. Имея в своем распоряжении компьютер с системой STATISTICA, вы легко примените к своим данным несколько критериев. Зная о некоторых подводных камнях методов, вы путем простого экспериментирования выберете верное решение. Развитие сюжета довольно естественно: если нужно сравнить значения двух переменных, то вы используете t-критерий. Однако следует помнить, что он основан на предположении нормальности и равенстве дисперсий в каждой группе. Освобождение от этих предположений приводит к непараметрическим тестам, которые особенно полезны для малых выборок.

Далее имеются две ситуации, связанные с исходными данными: зависимые и независимые выборки, в которых применяется t-критерий для зависимых и независимых выборок соответственно.

Развитие t-критерия приводит к дисперсионному анализу, который используется, когда число сравниваемых групп (шахт, объединений) больше двух. Соответствующее развитие непараметрических процедур приводит к непараметрическому дисперсионному анализу, правда, существенно более бедному, чем классический дисперсионный анализ.

Для оценки зависимости, или, выражаясь несколько высокопарно, степени тесноты связи, вычисляют коэффициент корреляции Пирсона. Строго говоря, его применение имеет ограничения, связанные, например, с типом шкалы, в которой измерены данные, и нелинейностью зависимости, поэтому в качестве альтернативы используются также непараметрические, или так называемые ранговые, коэффициенты корреляции, применяемые, например, для ранжированных данных. Если данные измерены в номинальной шкале, то их естественно представлять в таблицах сопряженности, в которых используется критерий хи-квадрат Пирсона с различными вариациями и поправками на точность.

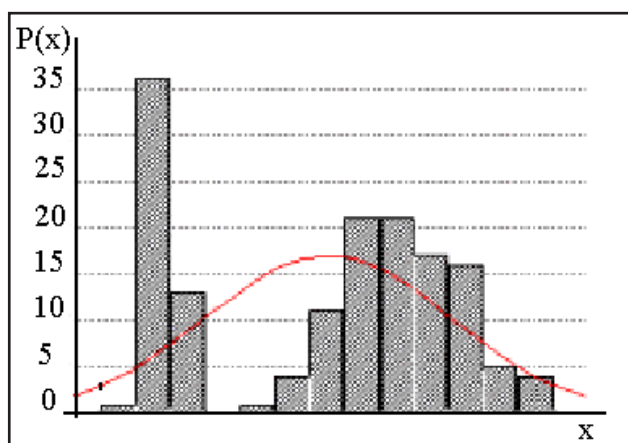


Рис. 1. Сопоставление законов распределения

Итак, по существу имеется всего несколько типов критериев и процедур, которые нужно знать и уметь использовать в зависимости от специфики данных. Вам нужно определить, какой критерий следует применять в конкретной ситуации.

Непараметрические методы наиболее приемлемы, когда объем выборок мал. Если данных достаточно (например, $n > 100$), часто не имеет смысла использовать непараметрическую статистику. Если размер выборки очень мал (например, $n = 10$ или меньше), то уровни значимости для тех непараметрических критериев, которые используют нормальное приближение, можно рассматривать только как грубые оценки.

Для того чтобы оценить зависимость между двумя переменными, обычно вычисляют коэффициент корреляции Пирсона. Непараметрическими аналогами коэффициента корреляции Пирсона являются коэффициенты ранговой корреляции Спирмена R , статистика Кендалла и коэффициент Гамма.

Коэффициент ранговой корреляции оценивает величину зависимости между переменными, измеренными в порядковых шкалах, т. е. между порядковыми переменными.

Прозрачный способ построения парных коэффициентов корреляции из обобщенного коэффициента корреляции предложил Daniels. Обобщенный коэффициент корреляции определяется формулой:

$$\Gamma = \frac{\sum a_{ij} b_{ij}}{\sqrt{(\sum a_{ij}^2)(\sum b_{ij}^2)}}, \quad (1)$$

где $a_{ij} = a(X_i, X_j)$, $b_{ij} = b(Y_i, Y_j)$ — некоторые функции пар наблюдений X и Y соответственно, суммирование ведется по всем парам i, j .

Заметим, что при $a_{ij} = X_j - X_i$, $b_{ij} = Y_j - Y_i$ получаем обычный коэффициент корреляции Пирсона. Если переменные ранжированы, то мы работаем с рангами. Упорядочим значения X_i по возрастанию, то есть построим вариационный ряд этих величин. Номер величины X_i в этом ряде называется ее рангом и обозначается R_i .

Затем упорядочим значения Y_i в порядке возрастания. Номер величины Y_{ii} в этом ряде называется ее рангом и обозначается S_i . Коэффициент ранговой корреляции Спирмена вычисляется как обобщенный коэффициент парной корреляции с заменой наблюдений их рангами. Формально для обобщенного коэффициента корреляции нужно положить $a_{ij} = R_j - R_i$, $b_{ij} = S_j - S_i$.

Коэффициент Кендалла вычисляется, если в формуле для обобщенного коэффициента поло-

жить $a_{ij} = 1$ при $R_i < R_j$ и $a_{ij} = -1$ при $R_i > R_j$. Величины b_{ij} задаются аналогичными соотношениями с заменой рангов R_{ij} ранги S_i наблюдений Y . Итак, мы ясно видим, что идея всех корреляций возникает из одного и того же источника.

В том случае, когда имеется более двух переменных, то используют коэффициент конкордации Кендалла. Например, он применяется для оценки согласованности мнений независимых экспертов, например, баллов, выставленных одному и тому же явлению или фактору.

Если имеются две категориальные переменные, то для оценки степени зависимости используют стандартные статистики и соответствующие критерии для таблиц сопряженности: хи-квадрат, точный критерий Фишера и др.

Нелегко дать простой и однозначный совет, касающийся использования этих процедур. Каждая имеет свои достоинства и свои недостатки. Например, двухвыборочный критерий Колмогорова-Смирнова чувствителен не только к различию в положении двух распределений, но также и к форме распределения. Фактически он чувствителен к любому отклонению от гипотезы однородности, но не указывает, с каким именно отклонением мы имеем дело.

В общем, если результат исследования является важным и наблюдений немного, то всегда целесообразно испытать непараметрические тесты. Возможно, результаты тестирования (разными тестами) будут различны. В таком случае следует попытаться понять, почему разные тесты дали разные результаты. С другой стороны, непараметрические тесты имеют меньшую мощность, чем их параметрические конкуренты, и если важно обнаружить даже слабые эффекты, следует провести многократные испытания и особенно внимательно выбирать статистику критерия.

Аварии на угольных шахтах относятся, естественно, к случайным событиям. Поэтому для того, чтобы иметь возможность объективно проводить сравнение отдельных шахт, групп шахт (объединений, холдинговых компаний) или изучать отрасль в целом по аварийности, необходимо определить статистически подтвержденные показатели аварийности. Изучая соответствующие литературные источники, например [8], возможно сделать вывод о необходимости использования для анализа данных о горном производстве различных статистических распределений, кроме нормального, в частности логарифмически-нормального, экспоненциального, Вейбулла, гамма

Таблиця 3

Результаты определения закона распределения аварий на ряде крупных шахт Украины

№ п/п	Наименование закона распределения вероятности аварий	Параметры распределения		Число степеней свободы	Оценка достоверности			Уровень значимости	Оценка соответствия
		Наименование	Значение		Фактический	Критерий Пирсона	Теоретический при уровне значимости		
1.	Нормальный	Среднее	413,707	10	148,651	0,05	0,01	0	Не соотв.
		Стандартное отклонение				18,3	23,2		
2.	Логарифмически нормальный	Среднее	451,614	12	24,762	21,0	26,2	7,30 · 10 ⁻³	Не соотв.
		Стандартное отклонение	541,425						
3.	Экспоненциальный	Среднее	413,700	13	45,670	22,4	27,7	1,62 · 10 ⁻³	Не соотв.
		Форма (α)	1,267						
4.	Вейбулла	Масштаб (β)	446,861 · 10 ⁻³	10	16,782	18,3	23,2	0,073	Соотв.
		Форма (α)	1,415						
5.	Гамма-распределение	Масштаб (β)	8,420 · 10 ⁻³	10	15,62	18,3	23,2	0,111	Соотв.
		Форма (α)							

распределения, а, возможно, и некоторых других, в том числе Стьюдента, Пирсона и др.

Для проверки высказанных выше положений данные по аварийности в горной промышленности по 60 шахтам обрабатывались посредством компьютерных технологий. Результаты расчетов проведены в табл. 3, из которой следует, что дальнейшая обработка данных и последующий анализ могут быть реализованы только методами непараметрической статистики.

Классическая статистика хи-квадрат Пирсона замечательна тем, что ее распределение приближается к распределению хи-квадрат, для которого имеются подробные таблицы. Процентные точки распределения хи-квадрат могут быть также эффективно вычислены в системе STATISTICA.

Свойство критерия хи-квадрат (точность аппроксимации распределения статистики распределением хи-квадрат) для таблиц 2 × 2 с малыми ожидаемыми частотами может быть улучшено за счет уменьшения абсолютного значения разностей между ожидаемыми и наблюдаемыми частотами на величину 0,5 перед возведением в квадрат. Эта непрерывность обычно применяется, когда ячейки содержат только малые частоты и некоторые ожидаемые частоты становятся меньше 5 (или даже меньше 10).

Если сумма частот небольшая, то лучше использовать точный критерий Фишера вместо критерия хи-квадрат. Известны рекомендации Кокрена для таблиц 2×2: если сумма всех частот в таблице меньше 20, то следует использовать точный критерий Фишера. Если сумма частот больше 40, то можно применять критерий хи-квадрат с поправкой на непрерывность.

Так как в данных обычно имеются ячейки с малыми частотами (2 и 3), то для улучшения точности критерия хи-квадрат используем указанную поправку. Поскольку нас интересует односторонняя альтернатива, мы делим уровень $p = 0,0012$ пополам и получаем 0,0006.

Нелегко дать однозначное предложение, касающееся использования непараметрических процедур. Каждая непараметрическая процедура в модуле имеет свои достоинства и свои недостатки. Например, двухвыборочный критерий Колмогорова-Смирнова чувствителен не только к различию в положении двух распределений, например, к различиям средних, но также чувствителен и к форме распределения. Критерий Вилкоксона парных сравнений предполагает, что можно ранжировать различия между сравниваемыми наблюдениями. Если это не так, лучше

использовать критерий знаков. В общем, если результат исследования является важным, то всегда целесообразно применить различные непараметрические тесты. Возможно, результаты проверки (разными тестами) будут различны. В таком случае следует попытаться понять, почему разные тесты дали разные результаты. С другой стороны, непараметрические тесты имеют меньшую статистическую мощность (менее чувствительны), чем их параметрические конкуренты, и если важно обнаружить даже слабые отклонения (например, является ли данная пищевая добавка опасной для людей), следует особенно внимательно выбирать статистику критерия.

Выводы. В целом непараметрические методы наиболее приемлемы, когда объем выборок мал. Если данных много (например, $n > 100$), то не имеет смысла использовать непараметрические статистики. Главное здесь состоит в том,

что когда выборки становятся очень большими, то выборочные средние подчиняются нормальному закону, даже если исходная переменная не является нормальной или измерена с погрешностью. Таким образом, параметрические методы, являющиеся более чувствительными (имеют большую статистическую мощность), всегда подходят для больших выборок. Большинство критериев значимости многих непараметрических статистик, описанных далее, основываются на асимптотической теории (больших выборок) поэтому соответствующие тесты часто не выполняются, если размер выборки становится слишком малым.

Таким образом, из изложенного вытекает, что для обработки объемов выборок в сотни данных, характерных для угольной промышленности Украины, наиболее подходят методы непараметрической статистики.

Список литературы:

1. Минько В.М. Охрана труда в машиностроении: учеб. для студ. учреждений сред. проф. образования. М.: Академия, 2012. 256 с.
2. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці: НПАОП 0.00-4.12-05. Х.: Форт, 2005. 40 с.
3. Ступницька Н.В. Підвищення ефективності планування заходів запобігання виробничому травматизму на підприємствах машинобудування: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.26.01 «Охорона праці» / ДУ «Львівська Політехніка». Л., 1999. 22 с.
4. Кружилко О.Є. Удосконалення комплексної оцінки стану охорони праці на підприємствах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 «Охорона праці». К., 2001. 20 с.
5. Гунченко О.М. Вдосконалення системи управління охороною праці на машинобудівних підприємствах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 «Охорона праці». Луганськ, 2007. 20 с.
6. Проблеми стану і необхідності вдосконалення системи управління охороною праці в галузі машинобудування / М.А. Касьянов, В.О. Медяник, О.М. Гунченко, Д.А. Вишневецький. Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2008. № 6(124), ч. 2. С. 3–9.
7. Урбанчик Ю. Малая механизация в горнодобывающей промышленности в свете техники безопасности и производительности труда: Пер. с польск. Катовице: Механизация, 2001. С. 7.
8. Левкин Н.Е. Предотвращение аварий и травматизма в угольных шахтах Украины. Макеевка: МакНИИ, 2002. 392 с.

НЕПАРАМЕТРИЧНА СТАТИСТИКА ДЛЯ ОЦІНКИ ОСОБЛИВОСТЕЙ ГІРНИЧОГО ВИРОБНИЦТВА

На сучасному етапі технічного розвитку всі комплексні системи промислового виробництва (зокрема, вугільної промисловості) вимагають автоматизації всього процесу, включаючи роботу видобувного та транспортного устаткування, що не можна виконати без детального математичного опису всіх специфічних явищ, що характеризують конкретне виробництво.

Тому вперше для рішення задачі управління складними технологічними багатофакторними системами пропонується використання непараметричної статистики, які у вітчизняній спеціальній літературі не знайшли належного відображення. І тим не менше, саме такі математичні підходи дозволяють виконати коректний прогноз розглянутих явищ за межами наявних експериментальних даних ыз достатньою для вирішення більшості практичних завдань точністю, особливо в тих випадках, коли число самих даних відносно невелике.

Ключові слова: вугільна промисловість, оцінка, непараметрична статистика.

**NONPARAMETRIC STATISTICS FOR ASSESSMENT
OF MINERAL PRODUCTION FEATURES**

At the present stage of technical development all the complex system of industrial production and particularly the coal industry, requires automating the entire process including the work of mining and transport equipment, which can not be done without a detailed mathematical description of specific phenomena characterizing the specific production. Therefore, for the first time to solve the problem of managing complex technology, multifactorial systems, provided the use of non-parametric statistics, which are in the national literature is not adequately reflected. Nevertheless, it is such mathematical approaches allow to perform a correct forecast of the phenomena in question beyond the available experimental data sufficient to solve the most practical problems with accuracy, especially in those cases where the number of the data is relatively small.

Key words: coal industry, assessment, nonparametric statistics.

Kosenko A.V.

State Higher Educational Institution
«Kryvyi Rih National University»

WAYS OF INCREASING QUALITATIVE AND QUANTITATIVE RECOVERY PERCENTAGES OF ORE IN CONDITIONS OF DEEP HORIZONS OF THE MINES OF KRIVBASS

The scientific article deals with research of technological solutions that allow increasing the completeness of extracted ore recovery and the quality of ore mass. As a result, it has been established that one of the key solutions to this problem is to increase the intensity of the technological process for the ore drawing from the cleaning rooms through the draw hole. Since this will increase the volume of extraction of pure ore by an average of 5-51%, depending on the mining and geological and mining conditions for the development of deposits of natural-rich iron ores at significant depths.

Key words: *natural-rich iron ores, ore loss, dilution, sub-level caving, undercut, clearing room, actual mining, recovery percentages.*

The problem and its connection with the scientific and practical tasks. The reserves of oxidized natural rich iron ores of Kryvbas are characterized by the content of the useful component in them from 46 to 67% and are developed in the depth range 1200-1400 m [1; 2]. These conditions, due to the active manifestation of geomechanical processes, create the need to constantly increase the share of the technology of sub-level caving, which is characterized, in real terms, by significant of ore loss (16-30%) and dilution of ore mass (15-25%) [3]. These indicators with depth constantly deteriorate by 5-8%, which is accompanied by a decrease in the quality of extracted ore mass on average by 3-4% [3]. At the same time, a decrease in the quality of the extracted ore mass leads to the need to expand the scale of ore enrichment and increase the scale of cleaning of ore [4]. Since iron ore is the most important factor in the formation of the country's budget [1]. Therefore, research and improvement of technological solutions to improve the qualitative and quantitative extraction of minerals in the underground Kryvbas is an urgent task and will provide an opportunity to ensure the competitiveness of the national economy.

Research and publications analysis. Based on the analysis of the theory and experience of using the sub-level caving [2; 5-7] it was established that the reserves of further constructive and technological improvement of them based on the use of stationary and portable mine equipment in the conditions of deep mine horizons are practically exhausted. The exploit-

ation of the productive horizons of the Kryvbas mines for the extraction of natural-rich iron ores is accompanied by a low intensity of actual mining, which varies between 1.2-1.8 tons/m² per day (average 1.5) [8]. This makes it possible to form undercut only in the range of 8-12% of the volume of the stock piled ore of the panel, provided they are stable for the entire lifetime [2]. And this leads to a significant deterioration in the process of ore drawing [9], since the blasting of rock ore is made in practically a «clamped» medium. Therefore, in order to blasting the ore, it is necessary to form undercut that provide the ore loosening factor within 1.2-1.3 [9]. An increase in the volume of undercut will also increase the amount of heading, which will have a positive effect on the recovery percentages [10; 11].

Calculation of sustainable design parameters for underground mining of natural rich iron ore deposits of Kryvbas is carried out according to the approved NIGRI method [12]. This methodology is based on the integral accounting of the deposit development class, the depth of mining, the ore hardness and the adjacent strata and the lifetime of outcrops. Since the depth and natural strength of the ore-rock massif can't be influenced by engineering methods, an increase in the volume of the cleaning room (undercut) is possible provided the lifetime of their outcrops is shortened. This is possible due to increased intensification of actual mining.

Foreign experience in the underground mining of mineral deposits indicates that a significant increase

in labor productivity in the technological process of ore drawing and delivery is impossible without the use of self-propelled machinery [13–15]. But large-scale application of self-propelled machinery in the conditions of Kryvbas is contradicted by complex geomechanical conditions [8; 9]. Therefore, an effective way to increase the productivity of the technological process of ore drawing and delivery in this case is the application of the combined method with the help of the «multi-bucket scraper winches 55LS-2S – self-propelled loading and unloading machine TORO 400E» [16; 18]. The productivity of this complex under medium conditions can reach 1200-1400 ton/shift, which ensures the intensity of ore drawing within the limits of 5.5-6.0 tons/m² per day [16], and in ideal conditions can reach 10-12 tons/m² per day [13].

Formulation of the problem. On the basis of the method of functional characteristics of determining the permissible sizes of structural elements of the underground mining methods of iron ore deposits, it is necessary to investigate the dependence of the value of the parameters of stable outcrops of cleaning room (undercut) spaces depending on mining and geological and mining factors to improve the recovery percentages.

Presentation of the main material and results. The object of the study is the deposit of the iron ore deposit of Krivbass, represented by a plate-like ore body with a hardness coefficient of 4-6 on the scale of Professor M. M. Protodyakonov, with

a thickness of 15-40 m and a pith angle of 35-65°. The adjacent strata of the hanging wall are represented by quartzites with a hardness coefficient of ≥ 8 , and the bottom layer – by killas with a hardness coefficient of ≥ 4 . The geological stress field is geostatic. The height of the sub-level is 40 m, and the length of the panel along the strike of the ore deposit is 25-35 m. It is conditionally assumed that the actual mining is carried out by one cleaning panel for the entire thickness of the ore deposit. During development, a caving zone of collapse from the abandoned workings. The shape of the caving zone of collapse is determined by the depth of mining operations, the thickness and pith angle of incidence of the ore body, the nature of collapse and displacement of the rocks of the hanging wall: without lagging or lagging behind the clearing horizon; with the transition to a closed zone. Mining is conducted at depths of 1200-1400 m by a resource-saving combined system of sub-level caving with blasting and combined mechanized delivery [13].

Based on the technique [12], a calculation program was developed in the software package Exel 10 of the operating system Windows 8 (figure 1).

With the help of the developed program, the possible relative volumes of the primary treatment areas were established by the condition of maximum stability of outcrops of the cleaning room (undercut) and the capabilities of the delivery vehicles. Based on the calculations carried out using the graph-analytical method, graphs of the dependence of the relative vol-

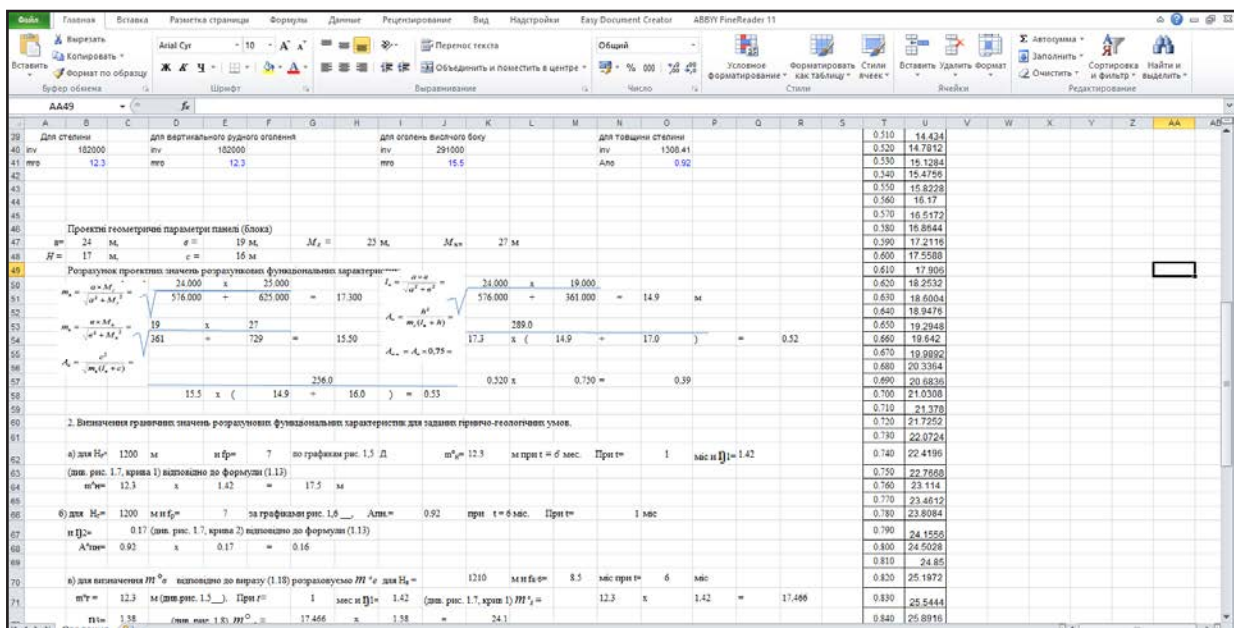


Fig. 1. Fragment of the developed program for calculating the parameters of stable outcrops of structural elements of sub-level caving

ume of the purification cleaning room (undercut) on the thickness of the ore deposit (width of the panel in the cross of the strike) for different intensity of the technological process of ore drawing and delivery of the ore mass, different classes of reservoir development, ore at a different depth of mining (figure 2, figure 3).

From Figure 2 and 3 it can be seen that:

1) for class I mining presented below ores medium strong ($f=4$), and stability in the depth range of 1200-1400 m (see Figure 2 a and Figure 3 a), the specific volume cleaning room (undercut) of the spaces may increase in 7.3- 49.5%;

2) for class II mining deposits presented below ores medium strong ($f=4$), and stability in the range of 1200-1400 meters depth (see Figure 2 b and Figure 3 b), the specific volume cleaning room (undercut) of the spaces may increase in 5-51%;

3) for class I mining presented ores medium strength ($f=6$) and stability in a depth range of 1200-1400 m (see Figure 2 c and Figure 3 c), the specific volume cleaning room (undercut) of the spaces may increase in 7.0-15.8%;

4) for class II mining deposits represented ores medium strength ($f=6$) and stability in the range of 1200-1400 meters depth (see Figure 2 d and Figure 3 d),

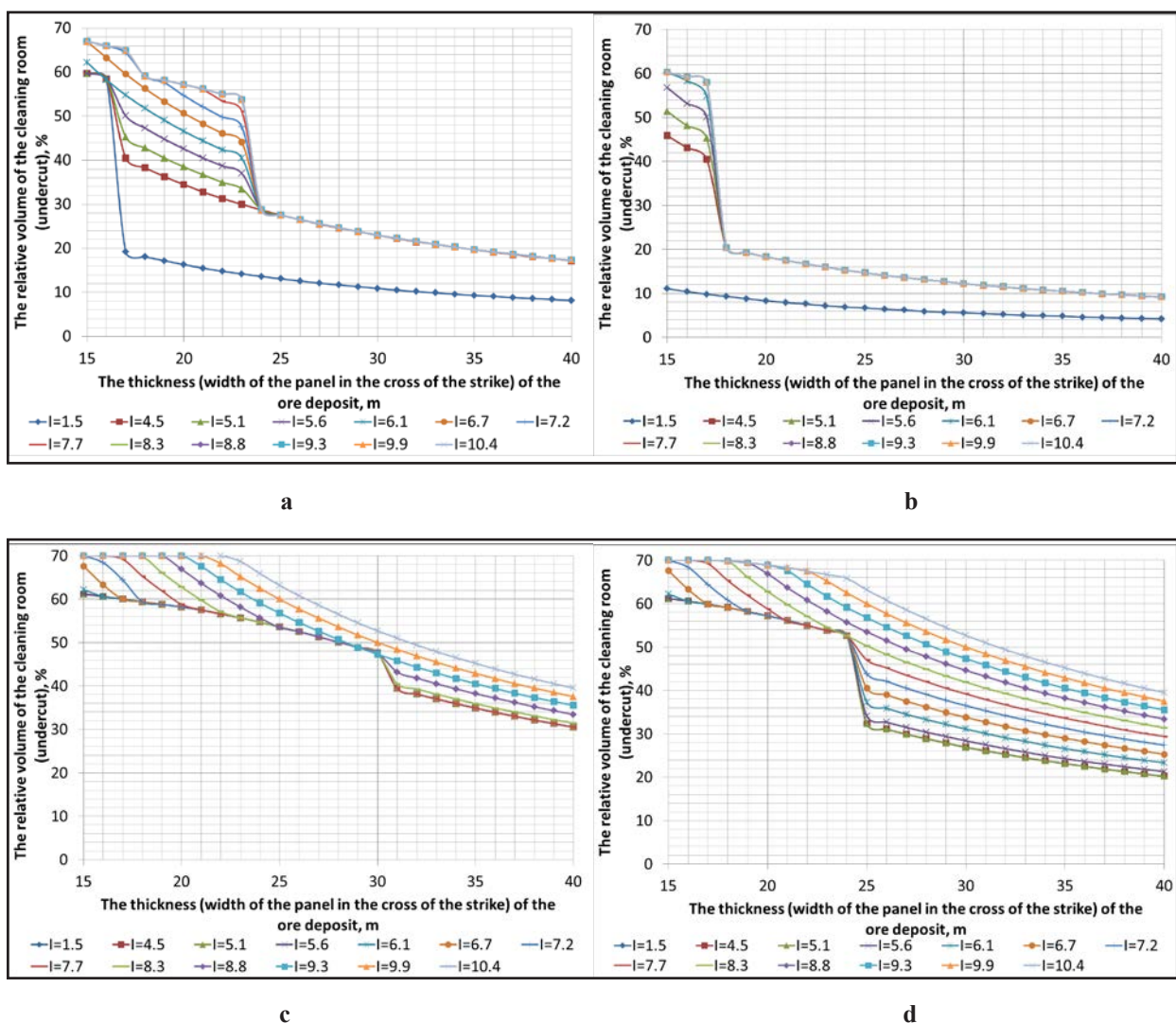


Fig. 2. Graphs of the dependence of the relative volume of the cleaning room (undercut) chamber on the thickness (width of the panel in the cross of the strike) of the ore deposit for the various intensity of the technological process of ore drawing and delivery of ore during the actual mining at a depth of 1200 m: a – I class of development of natural-rich deposits iron ore with a hardness coefficient of 4; b – II class development of the deposit of natural-rich iron ore with a hardness coefficient of 4; c – I class of development of a deposit of natural-rich iron ore with a hardness coefficient of 6; d – II class of development of a deposit of naturally-rich iron ore with a hardness coefficient of 6; 1,5-10,4 – intensity of conducting works on ore delivery, tons/m² per day

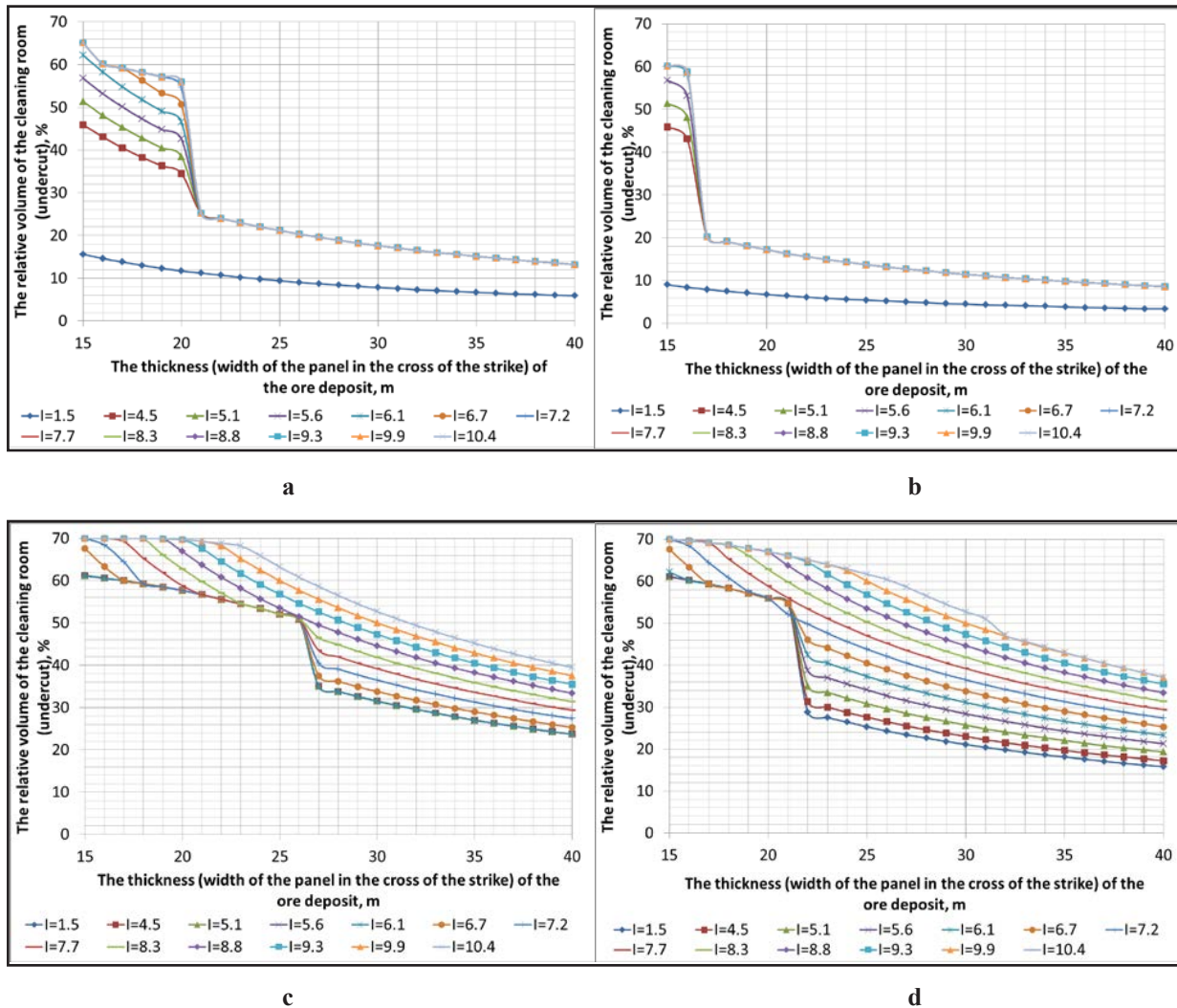


Fig. 3. Graphs of the dependence of the relative volume of the cleaning room (undercut) chamber on the thickness (width of the panel in the cross of the strike) of the ore deposit for the various intensity of the technological process of ore drawing and delivery of ore during the actual mining at a depth of 1400 m: a – I class of development of natural-rich deposits iron ore with a hardness coefficient of 4; b – II class development of the deposit of natural-rich iron ore with a hardness coefficient of 4; c – I class of development of a deposit of natural-rich iron ore with a hardness coefficient of 6; d – II class of development of a deposit of naturally-rich iron ore with a hardness coefficient of 6; 1,5-10,4 – intensity of conducting works on ore delivery, tons/m² per day

the specific volume cleaning room (undercut) of the spaces may increase in 8.8-21.3%.

Conclusions. During research, it was found that one way of a significant increase in the volume of space in stable undercut unstable metallic arrays, lying in complex geotechnical conditions, is to intensify the process of ore drawing and delivery of the ore mass.

Thus, when mining deposits of natural-rich iron ores with a hardness coefficient of 4-6 on the

scale of Professor M. M. Protodyakonov, average and below average stability and with a thickness of 15-40 m, which are concentrated in the depth range 1200-1400 m, it becomes possible to create stable outcrops of sewage cameras with a volume of up to 70% of the main stock of the cleaning panel. And, as a consequence, it will allow to increase the volume of extraction of pure ore by 5-51%, depending on mining and geological and mining conditions of development.

References:

1. Рациональная разработка и обогащение железорудного сырья Криворожского бассейна / Ю.Г. Вилкул, С.А. Сторчак, В.И. Яременко, Н.К. Кравцов. Качество минерального сырья. 2011. С. 20.
2. Тарасютин В.М., Косенко А.В. Ресурсосберегающие технологии очистной выемки богатых железных руд на глубоких горизонтах шахт. Вісник КНУ: збірник наукових праць. 2017. Вип. 44. С. 85.
3. Калініченко В.О., Косенко А.В., Хівренко О.Я. Дослідження показників вилучення руди на основі фізичного моделювання її випуску для умов глибоких горизонтів шахт Кривбасу. Качество минерального сырья. 2017. Т.1. С. 143.
4. Олейник Т. А. Современные тенденции развития технологий обогащения гематитовых руд в Украине. Збагачення корисних копалин. 2014. Вип. 56(97). С. 37.
5. Кудрявцев М.И., Басов А.М. Пути совершенствования технологи подземной разработки богатых руд Кривбасса. Вісник КНУ: збірник наукових праць. 2010. Вип. 26. С. 23.
6. Проект № 148-20-11 нарезных и очистных работ в блоке 140-147 оси гор. 1220 м в п/эт. гор. 1265/1190 м зал. «Основная» п.ш. «Большевик» (с применением самоходного оборудования) // ПАО «Кривбассжелезорудком» шахта «Октябрьская». Кривой Рог. 2011.
7. Пояснительная записка к проекту №40 / от 21.11.2011 г./ нарезных и очистных работ в экспериментально-промышленном блоке 93-102 оси гор. 1350-1275 м по залежи «102-5» 6-го простирания 1,2 р.т. с применением самоходной техники // ПАО «Кривбассжелезорудком» шахта им. Ленина В.И. Кривой Рог. 2011.
8. Підвищення ефективності технологічного процесу випуску і доставки руди на базі використання самохідної навантажувально-доставочної техніки / М.І. Ступнік, В.О. Калініченко, В.М. Тарасютін [та ін.]. Вісник КНУ: збірник наукових праць. 2016. Вип. 41. С. 141.
9. Косенко А.В., Мурашкін А.В. Дослідження та удосконалення технологічного процесу випуску і доставки руди на базі використання самохідної навантажувально-доставочної техніки // «Бъдещите изследвания – 2016»: материали за XII международна научна практична конференция (Болгария, София, 15-22 февруари 2016). София: «Бял ГРАД-БГ» ООД. 2016. Том 11. С. 25.
10. Письменный С.В. Отработка сложноструктурных залежей богатых руд камерными системами разработки. Гірничий Вісник: науково-технічний збірник. 2014. Вип. 97. С. 3.
11. Трубецкой К.Н. Проблемы геотехнологических процессов комплексного освоения суперкрупных рудных месторождений / под. ред. К.Н. Трубецкого, Д.Р. Каплунова. Москва: ИПКОН, 2005. 248 с.
12. Бабец Є.К., Сиротюк С.В., Царіковський В.В. Визначення та контроль допустимих розмірів конструктивних елементів систем розробки залізних руд. Київ: Мінпромполітики, 2010. 121 с.
13. Тарасютин В.М., Косенко А.В. Разработка рациональных вариантов ресурсосберегающей технологии очистной выемки залежей богатых железных руд шахт с использованием самоходного горного оборудования // «Modern European science – 2015»: materials of the XI international scientific and practical conference (England, Sheffield, June 30 – July 7, 2015). Sheffield: SCIENCE AND EDUCATION LTD, 2015. Volume 11. С. 69.
14. Дослідження та удосконалення технології відпрацювання покладів з застосуванням самохідної доставочної техніки / В.О. Калініченко, Н.Ю. Швагер, С.М. Чухарев [та ін.]. Гірничий Вісник: науково-технічний збірник. 2015. Вип. 99. С. 100.
15. Комбінований спосіб доставки руди при відпрацюванні потужних рудних покладів / Д.Ф. Зенюк, В.М. Тарасютін, О.Я. Хівренко, М.Б. Федько. Вісник КНУ: збірник наукових праць. 2012. № 29. С. 20.
16. Косенко А.В. Комбинированный способ доставки рудной массы – перспективы дальнейшего развития подземных рудников Кривбасса. Наука и образование сегодня. 2018. № 3(26). С. 21.
17. Kosenko A.V. Improving the efficiency of production process and shipping ore on the basis of the use of self-propelled load-delivery machines technology // «Science in 2018»: proceedings of XIV International scientific conference (USA, Morrisville, Jan 26 2018). Morrisville, 2018. P. 6.
18. Kosenko A.V. Definition and justification of rational parameters of technological schemes of delivery ore mass in the process of development of natural-rich iron ore of Krivbass // «Scientific research in 2018»: proceedings of XV International scientific conference of students and young scientists (Kramatorsk, Feb 9th 2018). Vinnytsya, 2018. P. 85-89.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ И КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИЗВЛЕЧЕНИЯ РУДЫ В УСЛОВИЯХ ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ ШАХТ КРИВБАССА

В статье производится исследование технологических решений, позволяющих повысить полноту извлечения отбитой руды и качество рудной массы. Вследствие чего установлено, что одним из ключевых решений этой проблемы является повышение интенсивности технологического процесса выпуска руды и рудной массы из очистных пространств через выработки выпуска. Так как это позволит увеличить объём извлечения чистой руды в среднем на 5-51% в зависимости от горно-геологических и горнотехнических условий разработки залежей природно-богатых железных руд на значительных глубинах.

Ключевые слова: природно-богатые железные руды, потери руды, разубоживание, подэтажное обрушение, компенсационная камера, очистное пространство, очистные работы, показатели извлечения.

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКІСНИХ І КІЛЬКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ВИЛУЧЕННЯ РУДИ В УМОВАХ ГЛИБОКИХ ГОРИЗОНТІВ ШАХТ КРИВБАСУ

У статті проводиться дослідження технологічних рішень, що дозволяють підвищити повноту вилучення відбитої руди і якість рудної маси. Внаслідок чого встановлено, що одним із ключових рішень цієї проблеми є підвищення інтенсивності технологічного процесу випуску руди і рудної маси з очисних просторів через виробки випуску. Оскільки це дозволить збільшити обсяг вилучення чистої руди в середньому на 5-51% у залежності від гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов розробки покладів природно-багатих залізних руд на значних глибинах.

Ключові слова: природно-багаті і залізні руди, втрати руди, засмічення руди, підповерхове обвалення, компенсаційна камера, очисний простір, очисні роботи, показники вилучення.

ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 615.451.1:582.998.1: [664+687.5]

Ткаченко Н.А.

Одеська національна академія харчових технологій

Дец Н.О.

Одеська національна академія харчових технологій

Вікуль С.І.

Одеська національна академія харчових технологій

Ланженко Л.О.

Одеська національна академія харчових технологій

Скрипніченко Д.М.

Одеська національна академія харчових технологій

ПАРАМЕТРИ ОТРИМАННЯ ЕКСТРАКТІВ ECHINACEA PURPUREA ТА ECHINACEA PALLIDA ДЛЯ ХАРЧОВИХ ТА КОСМЕТИЧНИХ ПРОДУКТІВ

Сьогодні ринок харчових та косметичних продуктів розширюється завдяки створенню нових видів продукції з використанням рослинної сировини та екстрактів на її основі. При цьому сировиною використовують листя, плоди, ягоди, суцвіття, корені різних рослин; екстрагентами – воду, спирти, молочну сировину (сироватку, знежирене молоко), рослинні олії, силікони тощо. У роботі обґрунтовано параметри отримання екстрактів ехінацеї пурпурної та ехінацеї блідої та показано можливість застосування отриманих екстрактів у харчових та косметичних продуктах.

У роботі досліджено процес екстрагування біологічно активних речовин із подрібненого листя, суцвіття та коренів *Echinacea purpurea* (ехінацеї пурпурної) та *Echinacea pallida* (ехінацеї блідої). Визначено вплив виду екстрагента і тривалості процесу екстрагування на ефективність вилучення фенольних сполук (катехинів і флавонолів) із сировини. Екстрагентами використовували воду, етиловий спирт і молочну сироватку. Розроблені режими екстрагування методом мацерації дозволяють отримати екстракти з високим вмістом біологічно активних речовин для збагачення харчових та косметичних продуктів.

Завершальним етапом роботи стало розроблення рекомендацій щодо використання водних, спиртових і сироваткових екстрактів для виробництва різних груп харчових і косметичних продуктів.

Ключові слова: сирна сироватка, вода, етиловий спирт, ехінацея пурпурна, ехінацея бліда, екстрагування, фенольні сполуки, антиоксидантна активність.

Постановка проблеми. Спеціалістами визнано, що найбільш перспективною сировиною для збагачення харчових і косметичних продуктів імуномодуляторами є рослинна, лікарська, пряно-ароматична сировина та їх концентрати. Використання у рецептурних сумішах цільових продуктів

натуральних фітоекстрактів із широким спектром біологічно активних речовин (далі – БАР) зумовлює підвищення оздоровчих, протекторних й імунних властивостей продуктів харчування; дозволяє створювати косметичні засоби спеціального спрямування для усунення різних дефек-

тів шкіри (сухості, пористості, гіперпігментації тощо) [1, с. 28; 2, с. 38, 3; с. 15].

Потужними імуномодуляторами природного походження є лікарські рослини роду *Echinacea Moench*. Існує близько 10 видів рослин роду *Echinacea Moench*, найбільш вивченими є *Echinacea purpurea*, *Echinacea pallida* та *Echinacea angustifolia* [4, с. 161]. Хімічний аналіз цих рослин визначив у їхньому складі 7 груп БАР, що містять полісахариди, флавоноїди, похідні кофейної кислоти, есенціальні ліпіди, алкіламіди, глікопротеїди, сапоніни. У сучасній медицині *Echinacea* розглядається, насамперед, як високоефективний і безпечний рослинний імуномодулятор, призначений для профілактики та лікування герпесу, грипу та інших інфекцій дихальних шляхів, викликаних вірусами і бактеріями. Препарати на основі ехінацеї проявляють лікувальну дію при різноманітних патологічних станах за рахунок підвищення природних захисних сил організму. Імуностимулююча дія рослин роду *Echinacea* визначається водорозчинними полісахаридами, ефірами кофейної кислоти (в основному, ехінакозидом), розчинними алкіламідами, глікопротеїдами, сапонінами [5, с. 91].

Кількість екстрактивних речовин у коренях на четвертий рік культивування вища у *Echinacea pallida* і коливається від 22,3 до 25,4%, що на 5,5...6,9% більше, ніж у *Echinacea purpurea*. Уміст екстрактивних речовин у листі вищий у *Echinacea purpurea* (19%) порівняно з *Echinacea pallida* (15%). Ехінакозиди акумулюються у коренях і в незначній кількості містяться в суцвіттях. Вони володіють гіпотензивними та анальгетичними властивостями і бактерицидною активністю щодо *Staphylococcus aureus* і стрептококів. Ехінакозиди блокують утворення вільних радикалів, які генеруються при порушенні колагену типу III і сприяють відновленню колагену в його природний стан. Кількість ехінакозидів у коренях *Echinacea pallida* варіює від 0,803 до 1,087%, корені *Echinacea purpurea* ехінакозидів не містять [6, с. 33]. Імуностимулюючі та протизапальні властивості проявляють полісахариди, що містяться в *Echinacea*; вони оточують клітини тканин і захищають їх від бактеріальних і патогенних інвазій. Крім того, полісахариди, стимулюючи фіброblastи і пригнічуючи гіалуронідазу ензимів, яка руйнує гіалуронову кислоту, сприяють регенерації тканин [6, с. 34].

Використання *Echinacea* викликає зниження рівня перекисного окиснення ліпідів і посилює антиоксидантний захист, знижений у пацієнтів, що приймають нестероїдні засоби та в людей похилого віку. Антиоксидантну та радіопротек-

торну активність препаратів *Echinacea* пов'язують із присутністю у ній біофлавоноїдів і похідних кофейної кислоти [6, с. 37].

Екстракти *Echinacea* малотоксичні, не мають побічних ефектів при клінічному застосуванні. Застосування *Echinacea* протипоказано при прогресуючих системних хворобах, зокрема туберкульозі, лейкозах, колагенозах, розсіяному склерозі тощо [7, с. 141].

Корені, листя та суцвіття лікарських рослин роду *Echinacea Moench* – джерело імуномодуляторів, тому використання екстрактів коренів є перспективним у виробництві молочних продуктів із підвищеними імуностимулюючими властивостями і косметичних засобах. Для досліджень було відібрано по 2 сорти коренів, листя та суцвіття *Echinacea* з високим вмістом БАР, які культивуються на території України.

Постановка завдання. Метою роботи стало обґрунтування параметрів екстрагування біологічно активних речовин із листя, коренів та суцвіття *Echinacea purpurea* та *Echinacea pallida*, отримання екстрактів на їх основі із застосуванням різних типів екстрагентів (вода, спирт етиловий, сирна сироватка) для використання у виробництві харчових продуктів та натуральних косметичних засобів.

Методи досліджень. Для досліджень були обрані суцвіття, корені та листя *Echinacea purpurea* (ехінацея пурпурна) ЗАТ «Лечець» та *Echinacea pallida* (ехінацея біла) ТОВ «Мир трав».

Під час виконання досліджень масову частку катехінів та флавоноїдів визначали спектрофотометричним методом [8, с. 46], масову частку сухих речовин – арбітражним методом за ДСТУ ISO 6731:2007, антиоксидантну активність – за зміною швидкості окиснення $NAD \cdot H_2 / NAD$ із використанням електронно-транспортної системи «нікотинамідаденіндинуклеотид відновлений $NAD \cdot H_2$ – ферицианід калію $K_3[Fe(CN)_6]$ » [9, с. 52]; температуру – за ДСТУ 6066:2008.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для встановлення параметрів екстрагування екстрагентами використовували воду, етиловий спирт і молочну сироватку, отриману при виробництві кисломолочного сиру. Використання вторинних молочних ресурсів, зокрема молочної сироватки, перспективне при виробництві екстрактів ехінацеї для виготовлення харчових продуктів та косметичних засобів.

Водні, спиртові та сироваткові екстракти коренів, суцвіття та листя *Echinacea* отримували таким способом: подрібнювали і змішували з водою,

етиловим спиртом або молочною сироваткою за температури $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$, у співвідношенні 1:19 і витримували при вказаній температурі 60 хв., постійно перемішуючи. Проби для проведення досліджень відбирали через кожні 15 хв. та фільтрували. Критеріями оцінки ефективності екстрагування обрано масову частку сухих речовин, Р-вітамінних речовин (катехинів і флавонолів) у екстрактах і антиоксидантну активність екстрактів.

На рис. 1–2 наведено зміну сухих речовин у процесі екстрагування коренів, листя та суцвіття

ехінацеї пурпурної та блідої різними екстрагентами протягом 60 хв.

Уміст сухих речовин у екстрактах *Echinacea* (рис. 1–2) підвищується за перші 15 хв. екстрагування (у сироваткових екстрактах на 0,48...1,42%, у водних – на 0,8...1,18%, у спиртових – 0,18...0,54%), при подальшому екстрагуванні через 30, 45 і 60 хв. масова частка сухих речовин у сироваткових екстрактах підвищується на 0,52...1,6, 1,06...2,2 і 0,42...2,32% відповідно, у водних екстрактах – на 0,74...1,38, 0,85...1,46 і 1,2...1,68% відповідно.

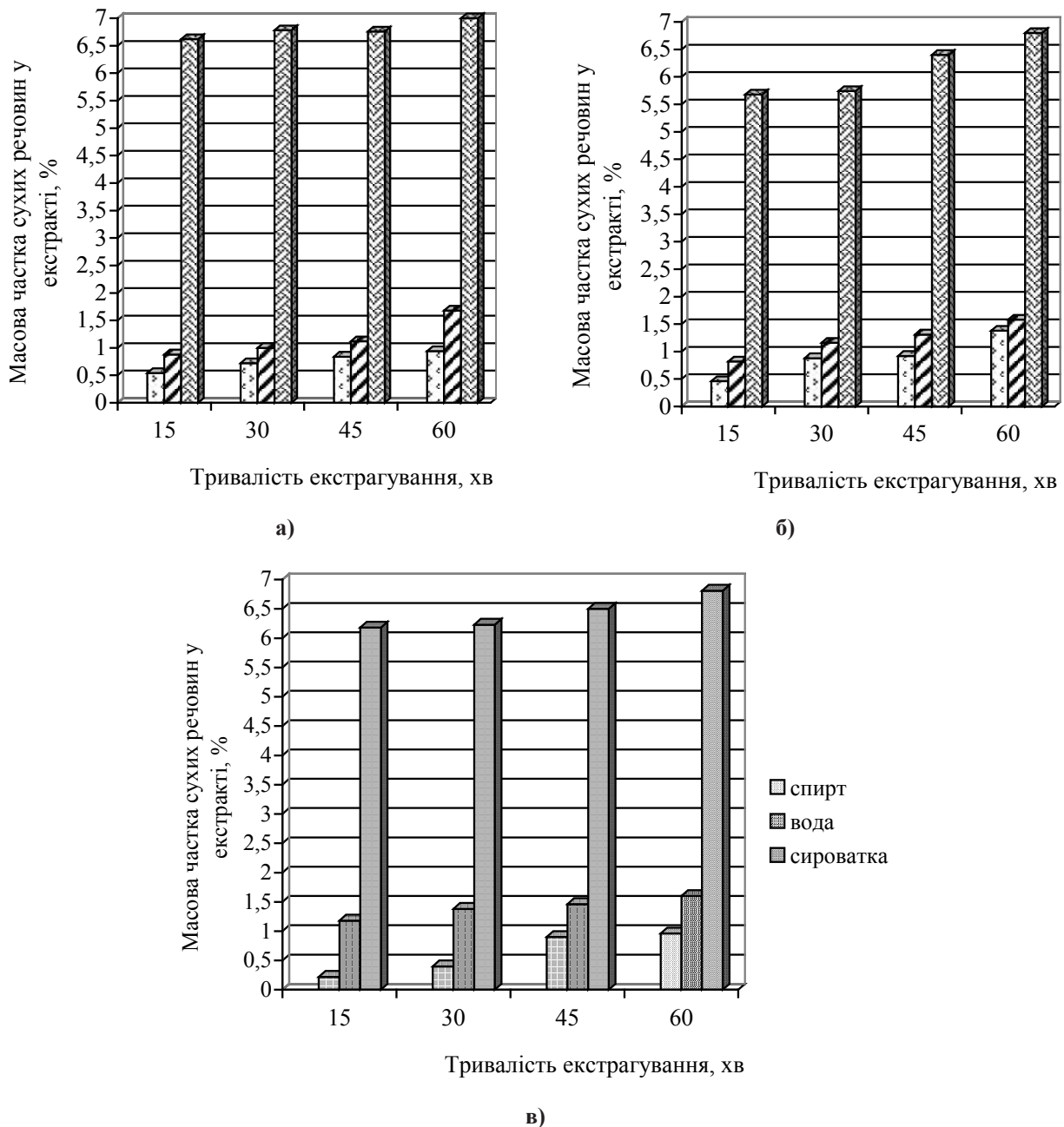


Рис. 1. Залежність масової частки сухих речовин від тривалості екстрагування у суцвіття (а), коренів (б) та листя (в) *Echinacea purpurea* різними екстрагентами

Максимальна ефективність екстрагування сухих речовин ехінацеї пурпурної та ехінацеї блідої спостерігається через 60 хв. за умови використання усіх видів екстрагентів. Найменша швидкість та ефективність екстрагування сухих речовин з *Echinacea* спостерігається під час використання екстрагентом етилового спирту, до того ж тут визначена мінімальна масова частка сухих речовин при екстрагуванні суцвіть *Echinacea pallida* – 0,3...0,76%.

Основним критерієм оцінки ефективності екстрагування обрано вміст Р-вітамінних речовин

у водних, спиртових і сироваткових екстрактах (табл. 1).

Дані, наведені у табл. 1, доводять, що для екстрагування Р-вітамінних речовин з *Echinacea* кращим екстрагентом є сирна сироватка. Уміст катехинів і флавонолів у водних, спиртових і сироваткових екстрактах коренів, суцвіть і листя ехінацеї пурпурної більший, ніж в аналогічних витяжках ехінацеї блідої. Максимальний вміст Р-вітамінних речовин при екстрагуванні ехінацеї блідої та пурпурної досягається при вилученні сирною сироваткою через 60 хв і становить при

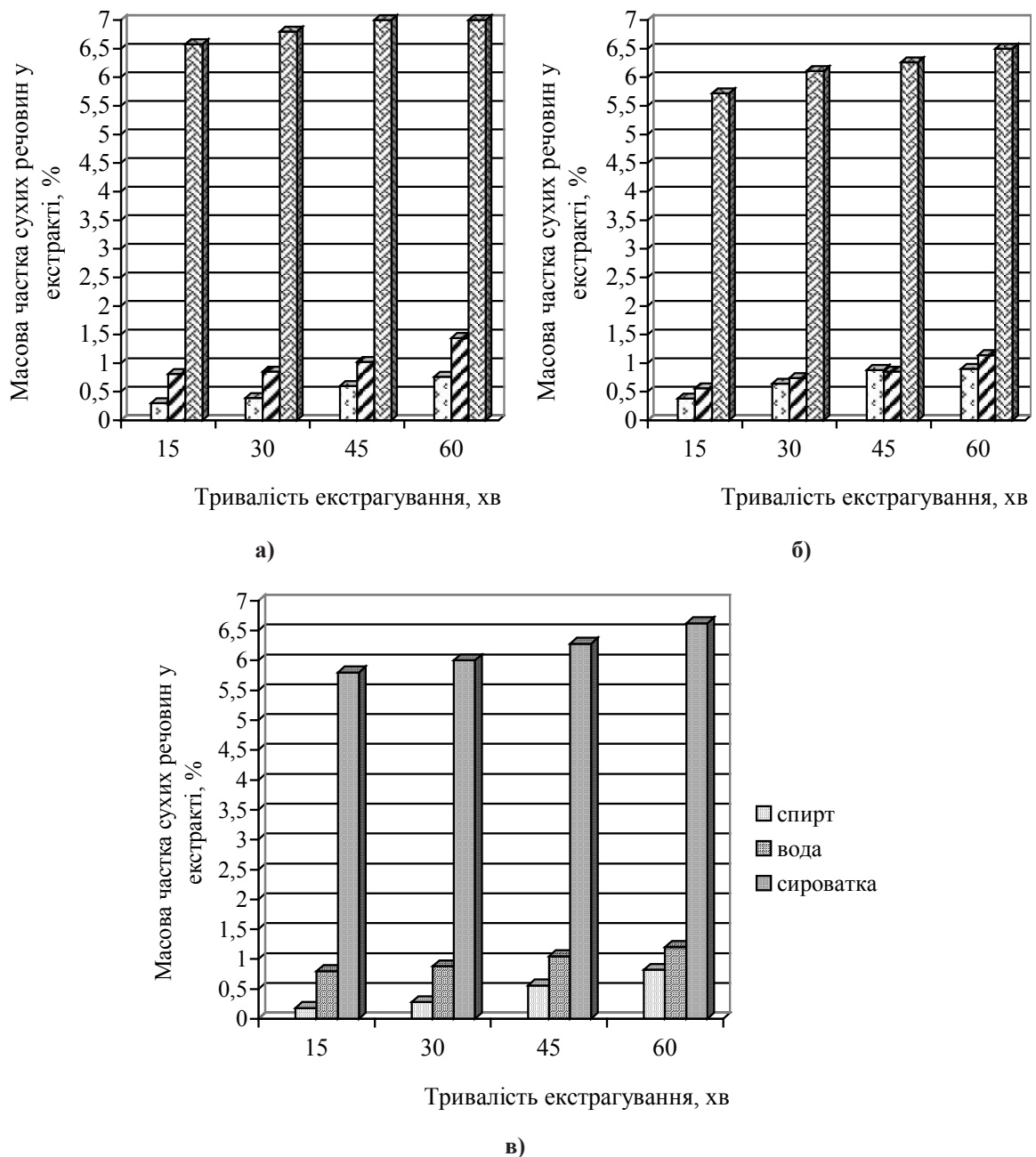


Рис. 2. Залежність масової частки сухих речовин від тривалості екстрагування у суцвіть (а), коренів (б) та листя (в) *Echinacea pallida* різними екстрагентами

екстрагуванні суцвіть – 47,9 та 53,6, мг/100 см³ відповідно; при екстрагуванні листя – 32,8 та 51,2 мг/100 см³ відповідно; при екстрагуванні коренів – 21,4 та 30,5 мг/100 см³ відповідно.

На рис. 3–4 наведено результати визначення антиоксидантної активності отриманих екстрактів *Echinacea purpurea* і *Echinacea pallida* відповідно.

Різна залежність антиоксидантної активності екстрактів ехінацеї від тривалості екстрагування пояснюється різною швидкістю екстрагування Р-вітамінних речовин (флавонолів і катехинів) водою, сироваткою та етиловим спиртом. Результати досліджень доводять, що найефективніше вилучення БАР з *Echinacea* з досягненням найвищої антиоксидантної активності (АА) відбувається при екстрагуванні рослинної сировини молочною сирною сироваткою.

При екстрагуванні коренів, суцвіть і листя *Echinacea* показник антиоксидантної активності збільшується пропорційно тривалості екстрагування, його максимальних рівень відмічається через 60 хв. оброблення сирною сироваткою і ста-

новить 600, 690 і 620 од. акт. відповідно. Також необхідно зазначити, що спиртові та водні екстракти різних частин рослин *Echinacea* також мають високі значення показника антиоксидантної активності 570...620 та 510...570 од. акт. відповідно.

Аналізуючи отримані дані, рекомендовані параметри екстрагування БАР із коренів, листя та суцвіть рослин *Echinacea* сирною сироваткою становлять: температура екстрагування (20±2)°С, тривалість екстрагування 60 хв., розміри частинок рослин 1...2 мм.

Отримані екстракти *Echinacea purpurea* та *Echinacea pallida* можуть бути використані основою для виробництва нових сухих біологічно активних добавок оздоровчого призначення з підвищеними імуномодулюючими властивостями, а також як фізіологічно-функціональні харчові інгредієнти у виробництві харчових продуктів лікувального і профілактичного призначення.

Отримані екстракти доцільно використовувати у рецептурах різних груп косметичних засобів: водні і спиртові екстракти *Echinacea* – у техноло-

Таблиця 1

Залежність вмісту Р-вітамінних речовин (мг/100 см³) екстрактів листя, коренів та суцвіть *Echinacea purpurea* та *Echinacea pallida* від тривалості екстрагування спиртовим та сироватковим екстрагентами та водою

Екстрагент	Тривалість екстрагування, хв			
	15	30	45	60
суцвіття <i>Echinacea purpurea</i>				
Вода	17,6±0,2	19,4±0,1	22,6±0,2	28,3±0,1
Етиловий спирт	13,8±0,1	17,5±0,2	19,4±0,2	24,2±0,2
Сирна сироватка	41,8±0,2	50,9±0,3	53,0±0,3	53,6±0,3
листя <i>Echinacea purpurea</i>				
Вода	11,2±0,1	14,0±0,2	17,3±0,2	22,5±0,2
Етиловий спирт	11,3±0,1	12,6±0,1	14,2±0,1	21,4±0,1
Сирна сироватка	19,2±0,1	23,2±0,2	44,4±0,3	51,2±0,3
корені <i>Echinacea purpurea</i>				
Вода	16,4±0,1	21,3±0,2	27,6±0,2	29,4±0,1
Етиловий спирт	13,1±0,1	15±0,1	17,9±0,1	19,1±0,2
Сирна сироватка	21,2±0,2	24,2±0,2	28,6±0,2	30,5±0,1
суцвіття <i>Echinacea pallida</i>				
Вода	15,6±0,2	24,1±0,2	25,4±0,1	42,6±0,3
Етиловий спирт	11,9±0,1	15,5±0,2	16,0±0,2	18,9±0,2
Сирна сироватка	38,4±0,1	42,6±0,2	45,6±0,3	47,9±0,3
листя <i>Echinacea pallida</i>				
Вода	17,0±0,2	18,8±0,2	20,4±0,2	27,3±0,2
Етиловий спирт	11,3±0,1	14,6±0,1	15,0±0,1	19,4±0,2
Сирна сироватка	24,0±0,2	26,6±0,2	32,9±0,2	32,8±0,3
корені <i>Echinacea pallida</i>				
Вода	17,4±0,2	10,6±0,1	12,3±0,1	14,3±0,1
Етиловий спирт	10,2±0,1	19,4±0,2	20,4±0,2	21,1±0,2
Сирна сироватка	11,6±0,1	14,3±0,1	20,1±0,2	21,4±0,2

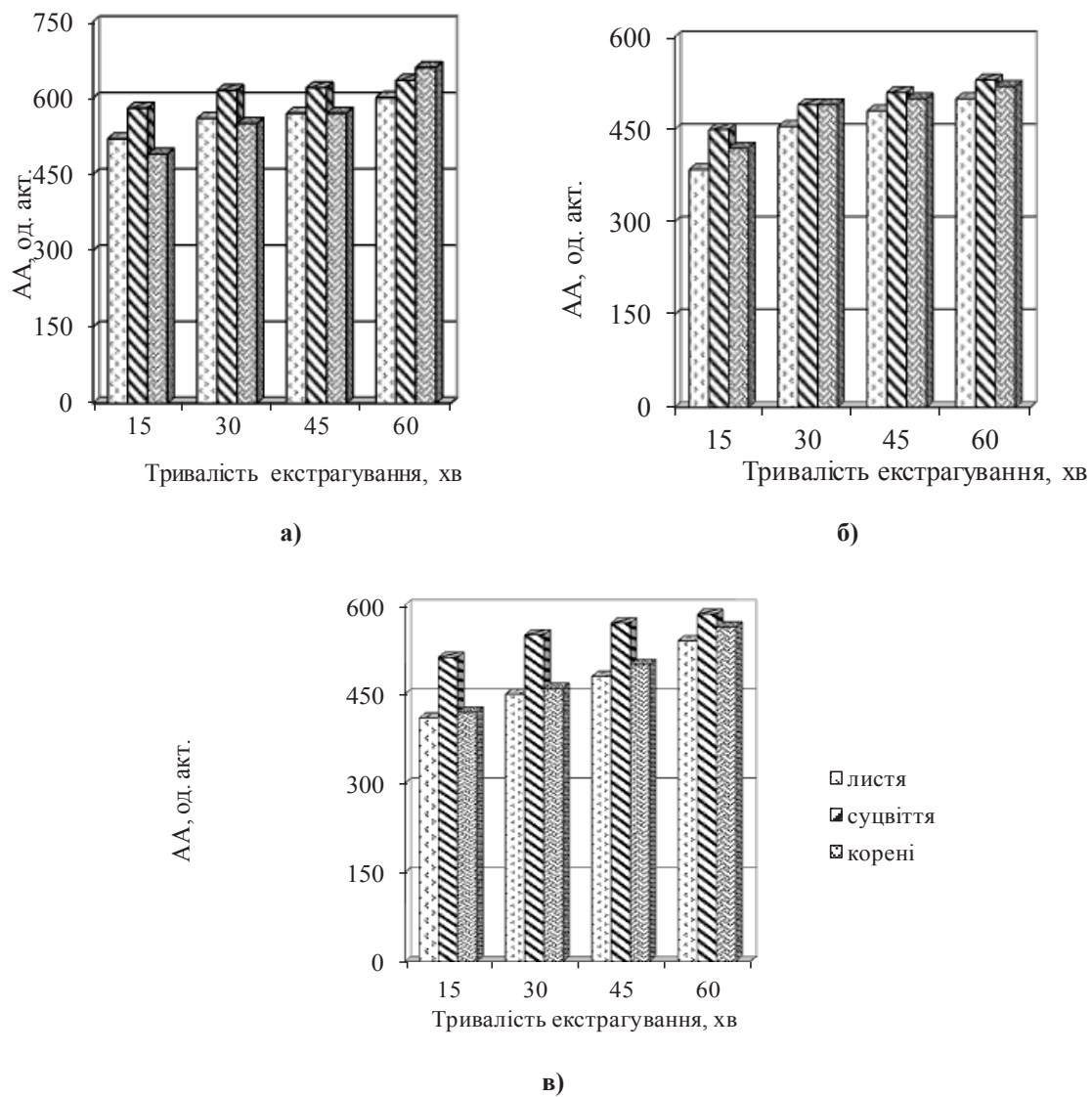
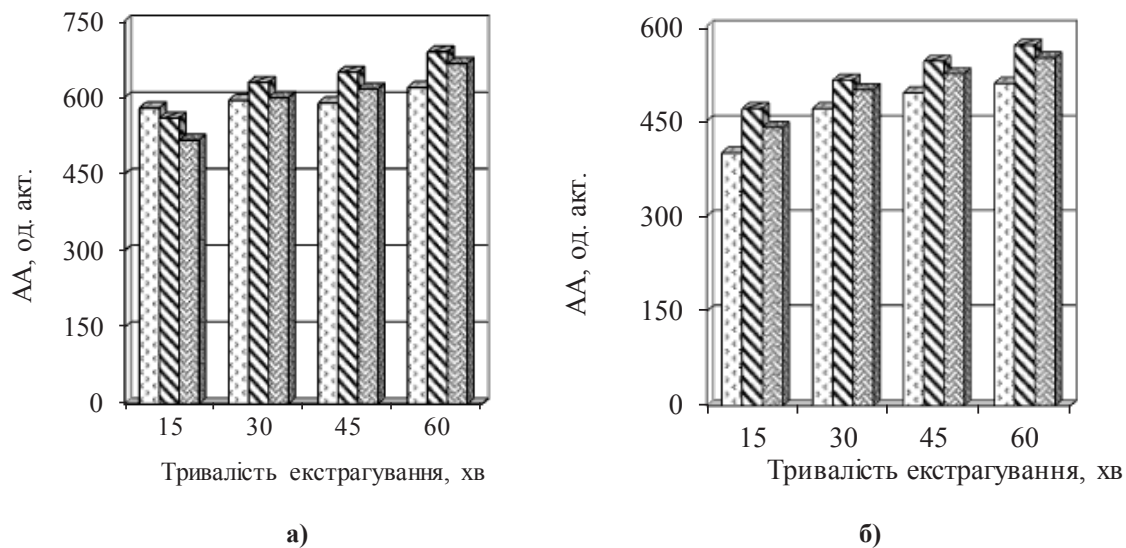


Рис. 3. Залежність антиоксидантної активності сироваткових (а), водних (б) та спиртових (в) екстрактів від тривалості екстрагування БАР з *Echinacea purpurea*



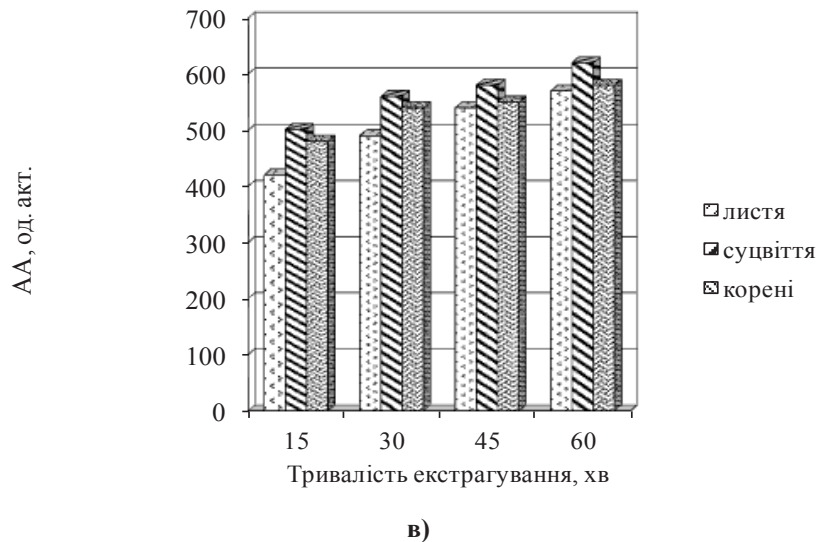


Рис. 4. Залежність антиоксидантної активності сироваткових (а), водних (б) та спиртових (в) екстрактів від тривалості екстрагування БАР з *Echinacea pallida*

гії спиртовмісних тоніків та лосьйонів; сироваткові екстракти – у технологіях безспиртових косметичних засобів для тонізації шкіри.

Висновки. Розроблені параметри процесу екстрагування біологічно активних речовин із коренів, листя та суцвіття *Echinacea purpurea* та *Echinacea pallida* – (20±2) °С протягом 60 хв.

дозволяють отримати водні, спиртові і сироваткові екстракти з високим вмістом Р-вітамінних речовин та високим показником антиоксидантної активності, а завдяки високій біологічній цінності екстрактів їх можна використовувати у різних технологіях харчових і косметичних продуктів.

Список літератури:

1. Павлюк Р.Ю., Погарська В.В., Радченко Л.О. та ін. Вивчення вмісту біологічно активних речовин натуральних рослинних прянощів – добавок для оздоровчих продуктів харчування. Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі. 2015. Вип. 1. С. 27–37.
2. Дедишина Л. Біологічно активні речовини в косметології. Фармацевт Практик. 2017. № 9. С. 38–40.
3. Gayova L., Yurzenko N., Mysnik O. New possibilities of use of oat raw materials for investigation of biologically active components in therapy of experimental diabetes. ScienceRise. Pharmaceutical Science. 2017. № 5. С. 14–20.
4. Шершова С.В. Біологічна активність екстракту ехінацеї білої залежно від температури. Вісник Полтавського державної аграрної академії. № 3. 2012. С. 162–166.
5. Самородов В.Н., Поспелов С.В. Эхинацея на рубеже XXI века: проблемы, тенденции, перспективы. Вісник Полтавського сільськогосподарського інституту. № 3. 2000. С. 90–97.
6. Самородов В.Н., Поспелов С.В., Моисеева Г.Ф., Серeda А.В. Фитохимический состав представителей рода эхинацея и его фармакологические свойства (обзор). Химико–фармацевтический журнал. № 4. Т. 30. 1996. С. 32–37.
7. Дідух Н.А., Вікуль С.І., Літвіна Т.М. Молочний екстракт коренів ехінацеї пурпурної – фізіологічно-функціональний інгредієнт для виробництва молочних продуктів. Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: Зб. наук. праць ХДУХТ. Т. 2. Харків. 2006. С. 141–149.
8. Глущенко А.В. Методика визначення кількісного вмісту флавоноїдів в екстрактах кураю пагорбкового. Український біофармацевтичний журнал. № 2. 2014. С. 46–49.
9. Ткаченко Н.А., Некрасов П.О., Вікуль С.І. Оптимізація рецептурного складу напою оздоровчого призначення на основі сироватки. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2016. № 1(10). С. 49–57.

ПАРАМЕТРЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЭКСТРАКТОВ ECHINACEA PURPUREA И ECHINACEA PALLIDA ДЛЯ ПИЩЕВЫХ И КОСМЕТИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ

Сегодня рынок пищевых и косметических продуктов расширяется благодаря созданию новых видов продукции с использованием растительного сырья и экстрактов на его основе. При этом в качестве сырья используют листья, плоды, ягоды, соцветия, корни различных растений; в качестве экстрагентов – воду, спирты, молочное сырье (сыворотку, обезжиренное молоко), растительные масла, силиконы и т.д. В работе обоснованы параметры получения экстрактов эхинацеи пурпурной и эхинацеи бледной и показана возможность их применения в пищевых и косметических продуктах.

В работе изучен процесс экстрагирования биологически активных веществ из измельченных листьев, соцветий и корней Echinacea purpurea (эхинацеи пурпурной) и Echinacea pallida (эхинацеи бледной). Определено влияние вида экстрагента и продолжительности процесса экстрагирования на эффективность извлечения фенольных соединений (катехинов и флавонолов) из сырья. В качестве экстрагентов использовали воду, этиловый спирт и сырную сыворотку. Разработанные режимы экстрагирования позволяют получить экстракты с высоким содержанием биологически активных веществ для обогащения пищевых и косметических продуктов.

Заключительным этапом работы стала разработка рекомендаций по использованию водных, спиртовых и сыровоточных экстрактов для производства различных групп пищевых и косметических продуктов.

Ключевые слова: *творожная сыворотка, вода, этиловый спирт, эхинацея пурпурная, эхинацея бледная, экстрагирование, фенольные соединения, антиоксидантная активность.*

PARAMETERS OF MAKING ECHINACEA PURPUREA AND ECHINACEA PALLIDA EXTRACTS FOR FOOD AND COSMETIC PRODUCTS

Today, the market of food and cosmetic products is expanding due to the creation of new types of products using floral raw materials and extracts based on it. As raw materials, leaves, fruits, berries, inflorescences, roots of various plants are used; as extractants – water, ethanol, dairy raw materials (whey, skim milk), vegetable oils, silicones, etc. The parameters of obtaining Echinacea purpurea and Echinacea pallida extracts are justified and the possibility of their use in food and cosmetic products is shown.

The process of extraction of biologically active substances from crushed leaves, inflorescences and roots of Echinacea purpurea and Echinacea pallida has been studied. The influence of the extractant type and the duration of the extraction process on the extraction efficiency of phenolic compounds (catechins and flavonols) from raw materials were determined. Water, ethanol and cottage cheese whey were used as extractants. The developed extraction regimes allow obtaining extracts with a high content of biologically active substances for enriching food and cosmetic products.

The final stage of work was the development of recommendations on the use of water, ethanol and whey extracts for the production of various groups of food and cosmetic products.

Key words: *cottage cheese whey, water, ethanol, Echinacea purpurea, Echinacea pallida, extraction, phenolic compounds, antioxidant activity.*

ТЕХНОЛОГІЯ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 624.8-028:654

Земліна Ю.В.

Київський університет культури

Антоненко А.В.

Київський університет культури

Грищенко І.М.

Київський університет культури

Ліфіренко О.С.

Київський університет культури

Криворучко М.Ю.

Київський національний торговельно-економічний університет

Данілов І.С.

Київський університет культури

КРІОТЕХНОЛОГІЯ ДЕСЕРТІВ «СОРБЕТ»

У даній статті розглянуто доцільність використання та розробку сорбетів за допомогою кріотехнології. Проаналізовано вміст вітамінів, макро- та мікроелементів в заморожених десертах з природними антиоксидантами для кейтерінгового обслуговування та способів їх подачі. Розроблено технології приготування та нові рецептури кріосорбетів, що відрізняються рекордною кількістю БАР та мають високі смакові властивості. Обґрунтовано технологічні параметри процесу виробництва та побудовано модель комплексної оцінки якості.

Ключові слова: кріотехнологія, сорбет, морозиво, антиоксиданти, органолептична оцінка, кейтеринг.

Постановка проблеми. Докорінні зміни в структурі харчування людини останніх років не дозволяють сьогодні навіть теоретично забезпечити традиційними шляхами організм усіма необхідними речовинами, що призводить до зниження загальної опірності організму людини до несприятливих факторів довкілля, зокрема значного збільшення захворювань, пов'язаних із обміном речовин.

В умовах сьогодення вплив несприятливих факторів довкілля поширився на значну частину території України і охоплює широкі верстви її населення. Відомо, що харчування є одним із найважливіших факторів, який пов'язує людину з навколишнім середовищем та сприяє організму в протидії впливу несприятливих факторів довкілля [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

З появою молекулярної кухні відомі шеф-кухарі стали використовувати незвичайні охолоджувальні властивості рідкого азоту в приготуванні страв і напоїв. Він використовується для того, щоб вмить заморозити будь-які субстанції. Оскільки рідкий азот так само швидко випаровується, не залишаючи ніяких слідів (його велика перевага, що він не має запаху, кольору і смаку), його можна з успіхом використовувати для приготування страв, у тому числі тих, які готують безпосередньо в «тарілці гостей».

У рідкому стані азот (температура кипіння – 195,8 °С) – безбарвна, рухлива, як вода, рідина. Під час контакту з повітрям поглинає з нього кисень. При температурі – 209,86 °С азот переходить у твердий стан у вигляді снігоподібної маси

або великих білосніжних кристалів. Під час нормального атмосферного тиска рідкий азот закипає при температурі – 196°C і є криогенною рідиною, яка викликає миттєве охолодження їжі або свіжих фруктів і овочів під час контакту з ним. Традиційно рідкий азот використовується в харчовій промисловості на ринку замороженої продукції.

Приготування страв із використанням рідкого азоту має на меті швидке заморожування продукту для збереження його текстури. Найдрібніші кристали льоду утворюються на поверхні рідких і пастоподібних продуктів, забезпечуючи отримання практично ідеальної геометрії поверхні. При цьому тканини і клітини продукту проморожуються настільки, що в контакт з киснем набувають надзвичайної крихкості. Це відбувається внаслідок того, що під час заморожування азот витісняє атмосферне повітря, заповнюючи собою міжклітинний простір. Повністю заморожені вироби в рідкому азоті розпадутся на найдрібніші пластівці – частки після 20-30 хв. [8].

Постановка завдання. Щорічно збільшується асортимент та кількість заморожених десертів на споживчому ринку України. Покращується їх якість, враховуються потреби споживачів у випуску нових видів продуктів спеціального призначення. Заморожені десерти для кейтерінгового обслуговування доцільно вважати перспективними на ринку продуктів харчування. Розробка сорбетів з оптимальним співвідношенням ціни, дозування та технологічних характеристик дозволить кількісно та якісно змінювати набір сировини, випускати низькокалорійні вироби з підвищеним вмістом вітамінів, мікро- та макроеlementів, спростити технологічний процес виробництва в цілому і отримувати заморожені десерти високої якості з природними антиоксидантами, що на сьогодні є досить актуальним [2].

Одним із завдань наукової статті є розробка кріотехнологій нових видів заморожених десертів сорбетів із метою задоволення споживчого попиту українців. Розроблені технології відрізняються від традиційних використанням функціонально-технологічних властивостей нової сировини.

Необхідність аналізу функціональних властивостей сировини призвело до пошуку та дослідження нових речовин, які можливо використовувати в якості альтернативи і були добре відомими. Незважаючи на те, що заморожені десерти досить відомі продукти харчування, питання підбору та використання корисних природних заміників є досить актуальним та потребує більш детального вивчення [3].

Метою дослідження є обґрунтування та розроблення кріотехнологій десертів сорбет із природними антиоксидантами для кейтерінгового обслуговування.

Завдання – розроблення кріотехнологій десертів сорбет 3 зразків: морквяно-обліпиховий «SunnyGarden», малиново-чорничний «PinkDream» та лимонний з ківі «GreenOasis» для кейтерінгового обслуговування, способу їх подачі та розробка технологічних карт і схем.

Об'єкт дослідження: кріотехнології десертів «Сорбет» з природними антиоксидантами для кейтерінгового обслуговування, способи їх подачі.

Предмет дослідження: заморожені десерти сорбет 3 зразків: морквяно-обліпиховий «SunnyGarden», малиново-чорничний «PinkDream» та лимонний з ківі «GreenOasis», спосіб їх подачі.

Методи дослідження: органолептичні, емпірична база дослідження, аналіз, методи планування експерименту і математичної обробки експериментальних даних на основі комп'ютерних технологій.

Виклад основного матеріалу. Сорбет (від тюркського «пити») – ніжний, терпкий заморожений десерт, м'який, знежирений аналог фруктового морозива. Сорбет виключно низькокалорійний продукт, що містить лише натуральні соки та пюре, в ньому повністю відсутні тваринні жири, а кількість цукру зведена до мінімуму. Цей десерт легкий за своєю текстурою, містить багато вітамінів, чудово охолоджує та надає відчуття свіжості, тому він здається надзвичайно повітряним [5].

У результаті експериментальних досліджень розроблено рецептури трьох видів сорбетів за допомогою кріотехнологій із використанням рідкого азоту в якості охолоджувача та обґрунтовано деякі технологічні параметри процесу виробництва.

Технологія охолодження морозива за допомогою рідкого азоту багато в чому перевершує традиційні методи охолодження, оскільки морозиво охолоджується додаванням рідкого азоту безпосередньо в суміш інгредієнтів. Це дозволяє охолодити морозиво протягом 1-2 хв. Завдяки цьому розмір кристалів льоду в морозиві мінімальний, а його текстура – найніжніша. Звичайне морозиво охолоджується при температурі -25°– -30°C впродовж декількох годин. Але слід звернути увагу: чим довше процес заморожування і вища температура заморожування, тим більше в морозиві кристали льоду. І навпаки, чим швидше і при

нижчій температурі охолоджується морозиво, тим менше виходять кристали льоду [8].

Заморожені десерти подають на льоду, в бокалах, фруктах, вазах із льоду з десертними наборами до чи після основних страв, при температурі -18°C.

Заморожені десерти містять важливі мікро- та макроелементи, такі як Na, K, Ca, Mg, Cu, Fe, S, P та ін., які дуже важливі для нормального розвитку організму. Мінеральні речовини суттєво підвищують харчову цінність заморожених десертів [8].

Харчова, біологічна і енергетична цінність сорбету визначається видом використаної сировини та вмістом в ній основних харчових речовин, а також умовами проведення технологічного процесу його виробництва, тобто такими його параметрами, які забезпечать максимальне збереження цих речовин (табл. 1).

Заморожені десерти (сорбети) не задовольняють добову потребу в білках та незбалансовані за амінокислотним складом, оскільки містить незначну кількість білку. Також не задовольняють добову потребу в жирах, жирних кислотах та вуглеводах. Адже під час їх виготовлення не використовувався цукор, а лише натуральне фруктове пюре. Тому даний продукт не має високої енергетичної цінності і є некалорійним. Також розроблені сорбети містять значну кількість вітамінів, особливо вітаміни С і Е, що володіють антиоксидантними властивостями. Також спостерігається значний вміст бета-каротину та нікотинової кислоти.

Цілеспрямоване збагачення заморожених десертів (фортифікація) ще не набуло широкого застосування на вітчизняному ринку, але деякі види цих продуктів вже можна віднести до замо-

рожених десертів із підвищеною біологічною цінністю. Проаналізувавши процес виробництва заморожених десертів та рецептурний склад сировини, завдяки параметричній схемі виробництва морозива можна побачити, що, крім зазначених параметрів, які впливають на якість заморожених десертів, до них слід віднести ще й такі, як вид та технічні характеристики обладнання, якість та вид сировини, професіоналізм та кваліфікованість персоналу, асортимент, умови виготовлення та зберігання готової продукції, а також основні фізико-хімічні показники, які дозволяють визначити якість самого морозива – збитість та опір таненню. Таким чином, у процесі виробництва суміш, а потім і морозиво піддаються складній технологічній обробці. У результаті цього відбувається не тільки зміна розмірів часток дисперсної фази, а й формування її нових компонентів – повітряних бульбашок, кристалів льоду і лактози, жирних кульок, повітряних бульбашок, частинок наповнювачів у сумішах і морозиві їх розміри в основному перевищують 1 мкм. Такі включення не можуть не впливати на процес утворення кристалів льоду в морозиві, а від розмірів і форми кристалів льоду значною мірою залежать структура, консистенція морозива, а також його смакові якості [4; 7].

Розроблені технології відрізняються від традиційних тим, що в них використано функціонально-технологічні можливості нової сировини. Технологія охолодження морозива за допомогою рідкого азоту багато в чому перевершує традиційні методи охолодження, оскільки морозиво охолоджується додаванням рідкого азоту безпосередньо в суміш інгредієнтів. Це дозволяє охолодити морозиво протягом 1-2 хв. Завдяки цьому

Таблиця 1

Біологічна цінність розроблених сорбетів

Показник	Контроль	«Sunny Garden»	«Pink Dream»	«Green Oasis»	Добова потреба	Відсоток від добової потреби, %
Білки, г	0,8	1,66	0,74	1,15	73	4,87
Жири, г в т. ч.,	0,4	5,6	0,48	0,73	74	4,95
Ненасичені ЖК, г	0,431	10,3	0,15	0,2	0,35	3042,86
Насичені ЖК, г	0,05	2,2	0,1	0,191	0,15	166,70
Вуглеводи, г в т. ч.,	74,3	6,4	7,95	7,56	424	22,1
Моно- і дисхариди, г	68	1	6,55	7,3	100	15
Органічні кислоти, г	15	2,6	2,7	0,1	0,2	2700
Вода, г	87,4	171	172,4	85,55	2200	19,5
Харчові волокна, г	2,2	7,5	6,8	6,8	25	18,7
Зола (мінеральні речовини), г	0,4	1,7	0,9	2,03	35	13,23
Енергетична цінність, кКал	422	117	90	44	2650	9,5

розмір кристалів льоду в морозиві мінімальний, а його текстура – ніжніша [8; 9].

На основі вищенаведеного розроблено технологічну схему та технологію нового морквяно-обліпихового кріоморозету «SunnyGarden»

(рис. 1). Подаються сорбети в льодових чашечках «IceFloralFantasy».

Для оцінки якості за органолептичними показниками представлених зразків морозива була розроблена 20-бальна шкала і визначена значимість

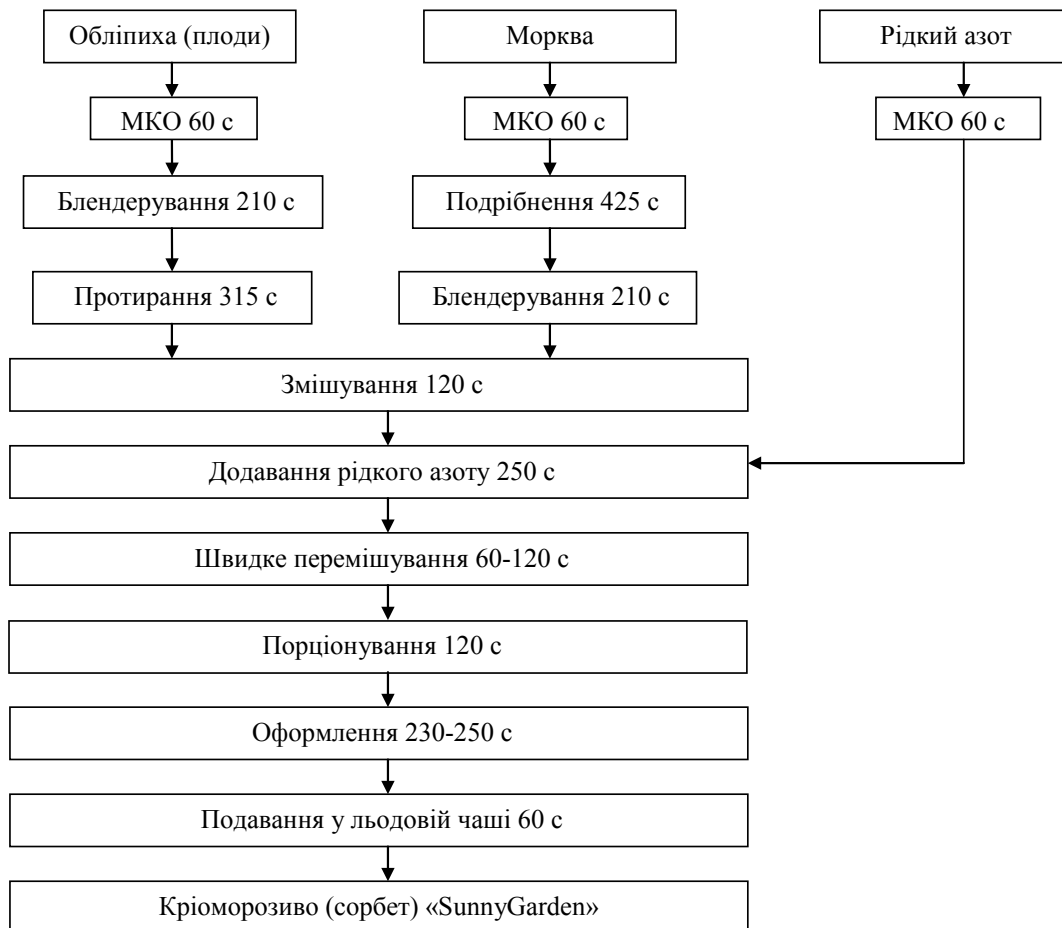


Рис. 1. Технологічна схема приготування кріоморозива сорбет «SunnyGarden»

Таблиця 2

Органолептична оцінка якості кріоморозива сорбет

Назва показника	«SunnyGarden»	«PinkDream»	«GreenOasis»
<i>Зовнішній вигляд</i>	Поверхня гладенька, без вкраплень і забруднень, морозиво тримає задану форму, гарно оформлене.	Поверхня гладенька, без вкраплень і забруднень, морозиво місцями дещо розтале, гарно оформлене.	Поверхня не рівна, є деякі вкраплення і забруднення, морозиво нерозтале, оформлене.
<i>Смак і запах</i>	В міру солодкий, чистий, характерний для даного виду сировини, без сторонніх присмаків і запаху.	В міру солодкий, чистий, характерний для даного виду сировини, без сторонніх присмаків і запаху.	В міру кислуватий, чистий, характерний для даного виду сировини, без сторонніх присмаків і запаху.
<i>Структура</i>	Однорідна, дрібнокристалічна, без відчутних кристалів льоду.	Однорідна, дрібнокристалічна, без відчутних кристалів льоду.	Однорідна, дрібнокристалічна, без відчутних кристалів льоду.
<i>Консистенція</i>	В міру щільна, однорідна.	В міру щільна, однорідна.	В міру щільна, однорідна.
<i>Колір</i>	Морквяно-оранжевий, характерний для даного виду сировини.	Малиново-фіолетовий, характерний для даного виду сировини.	Світло зелений, характерний для даного виду сировини.

Визначення коефіцієнту вагомості

Назва показника	Бали			Коефіцієнт вагомості	Бали з урахуванням коефіцієнта вагомості
	«Sunny Garden»	«Pink Dream»	«Green Oasis»		
Зовнішній вигляд	7	7	7	0,35	2,45
Смак і запах	5	5	5	0,25	1,25
Колір	3	3	3	0,15	0,45
Структура	3	3	3	0,15	0,45
Консистенція	2	2	2	0,1	0,2
Разом	20	20	20	1	4,8

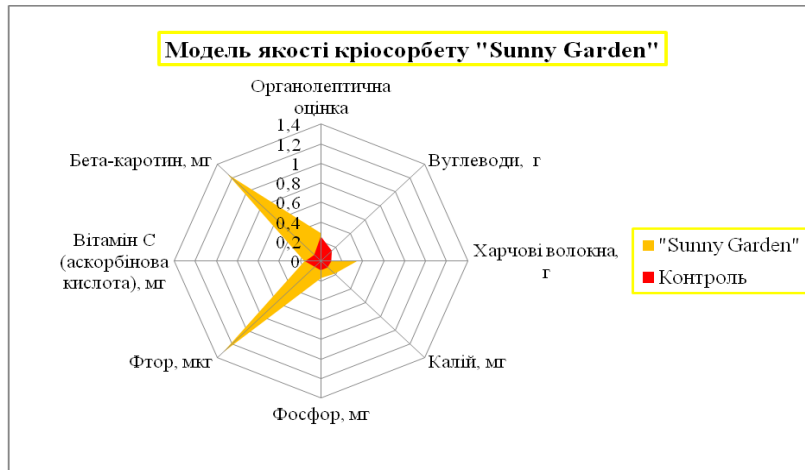


Рис. 2. Модель якості криосорбету «Sunny Garden»

(вагомість) показників оцінки рівня якості, що в сумі дорівнюють 1. На перший план висунуто показник, який має найбільшу значимість для споживача, а саме зовнішній вигляд сорбету – надаємо максимальний бал 7; далі йдуть такі показники як смак і запах – 5 балів, колір – 3 бали, структура – 3 бали та консистенція – 2 бали. Для оцінки якості зразків криосорбетів розроблено систему оцінки якості та розраховано коефіцієнт вагомості для обраних показників (табл. 2, 3) [6].

Згідно з проведеною органолептичною оцінкою якості криоморозива сорбет 3 видів отримали найвищі показники якості: по 20 балів та бали з урахуванням коефіцієнта вагомості – 4,8. На основі отриманих даних побудовано модель комплексної оцінки якості криосорбетів (рис. 2).

Згідно з моделлю комплексної оцінки якості сорбетів, виготовлених за допомогою рідкого азоту, можна зробити висновок, що криосорбети порівняно з контролем мають: високі показники органолептичної оцінки; малу кількість вуглеводів; підвищений вміст харчових волокон, калію,

фосфору, вітаміну С та бета-каротину. Тобто криосорбети мають знижену калорійність.

Висновки. Розроблені сорбети відповідають вимогам теперішньої тенденції харчування, тобто включають у свій склад натуральні компоненти, характеризуються стабільністю органолептичних і фізико-хімічних показників під час зберігання, відрізняються високими поживними властивостями та харчовою цінністю. Розроблені кріотехнології, завдяки доступності рецептурних компонентів і нескладному процесу приготування, дозволяють здійснювати виробництво заморожених десертів сорбетів у закладах ресторанного господарства та в кейтеринговому обслуговуванні, що на сьогодні є модним та актуальним. Адже для кейтерингового обслуговування головною перевагою розроблених десертів є їх низька калорійність, високий вміст вітамінів з антиоксидантними властивостями та можливість швидкого приготування, миттєва подача безпосередньо на місці події, що скорочує затрати на зберігання, транспортування та створення відповідних умов.

Список літератури:

1. Антоненко А.В. Технологія харчових продуктів функціонального призначення: монографія / за ред. М.І. Пересічного. Київ: Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2012. 1116 с.
2. Антоненко А.В. Інноваційні технології харчової продукції функціонального призначення: монографія / за ред. О.І. Черевка, М.І. Пересічного. Харків: Харк. держ. ун-т харч. та торгівлі. 2017. 591 с.
3. Антоненко А.В. Перспективные тенденции развития науки : техника и технология: монографія / Інноваційні технології харчової продукції функціонального призначення: монографія / за ред. И.Я. Львович, А.В. Некрасова. Одесса: Куприенко С.В. 2016. 197с.
4. Антоненко А. Наукове обґрунтування і розроблення фруктових систем як основи для солодких соусів. *Міжнар. наук.-практ. журн. «Товари і ринки»*. 2009. № 2. С. 76–82.
5. Мазаракі А.А., Кравченко М.Ф., Антоненко А.В. Збірник рецептур кулінарної продукції і напоїв функціонального призначення. Київ: Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2013. 772 с.
6. Антоненко А.В. Оцінка якості нових соусів підвищеної харчової цінності. *Міжнар. наук.-практ. журн. «Товари і ринки»*. 2009. № 1. С. 58–62.
7. Антоненко А.В. Плодово-ягідні системи як основа для соусів. *Збірник наукових праць ХДУХТ*. 2013. № 21. С. 102–108.
8. Шпилей А. Лечебно-профилактические виды замороженных десертов. *Food&drinks*. 2014. № 2. С. 55–69.
9. Бейл К. Вкусовые качества сорбетов. *Food Technologies & Equipment*. 2013. № 3. С. 75–77.

КРИОТЕХНОЛОГИЯ ДЕСЕРТОВ «СОРБЕТ»

В данной статье рассмотрена целесообразность использования и разработка сорбетов с помощью криотехнологии. Проанализированы содержание витаминов, макро- и микроэлементов в замороженных десертах с природными антиоксидантами для кейтерингового обслуживания и способ их подачи. Составлены технологические схемы приготовления и разработаны новые рецептуры криосорбетов, отличающихся рекордным количеством БАВ и имеющих высокие вкусовые свойства. Обоснованы технологические параметры процесса производства, и построена модель комплексной оценки качества.

Ключевые слова: криотехнологии, сорбет, мороженое, антиоксиданты, органолептическая оценка, кейтеринг.

CRYOTECHNOLOGY OF DESSERTS «SORBET»

The article shows the expediency of sorbets application and development using cryotechnology. It analyses vitamins, macro- and microelements concentration in frozen desserts with natural antioxidants for catering service and their serving method. It comprises cooking process schemes and new cryosorbets recipes differing by record bioactive substances quantity and having high palatability. The article also proves production process technological characteristics and creates complex quality assessment.

Key words: cryotechnology, sorbet, ice cream, antioxidants, organoleptic evaluation, catering.

Колоскова Г.М.

Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРНОГО ГРАДІЄНТУ У ВИПАДКУ ЗАПАЮВАННЯ ПЛАСТИКОВОЇ ТАРИ НА ЯКІСТЬ ЇЇ ВМІСТУ

Проведено аналіз факторів, що впливають на зберігання якості харчових продуктів у полімерній упаковці. Використовуючи метод скінчених елементів, проведено розрахунок передачі тепла від нагрівального елемента зварювального штамп до продукту, який запаковується в пластикові стаканчики. На прикладі закупорювання меду проаналізовано вплив конструкції зварювального штамп, а також його матеріалу на прогрівання продукту в упаковці в процесі її запаювання. Проаналізовано зміну температури продукту в залежності від виду матеріалу упаковки. У результаті аналізу запропоновані оптимальні параметри штамп та вид матеріалу упаковки, які дають мінімальне підвищення температури продукту за доброї якості зварного шва. У подальших дослідженнях відмічена необхідність розгляду більш широкого спектра упаковуваних продуктів, яка обумовлена граничною безпечною температурою нагрівання.

Ключові слова: полімерна упаковка, палітка, запаювання, прогрівання, безпека.

Постановка проблеми. Асортимент пакувань для в'язких харчових продуктів на сучасному ринку є достатньо широким. Однак традиційною упаковкою для розфасовування харчових продуктів малими дозами (до 0,5 кг) є пластикові стаканчики та інші ємності, виготовлені з полімерів. Біля 60% в'язких харчових продуктів сьогодні реалізуються саме таким чином. Зручність та привабливість такого пакування визнані як виробниками, так і споживачами.

Втім, у процесі запаювання заповненого стаканчика відбувається його контакт зі штампом, температура якого досягає 200°C, що може негативно вплинути на якість самого продукту, не змінюючи при цьому його зовнішній вигляд та смакові властивості. Наприклад, під час нагрівання йогурту понад 45°C усі корисні бактерії гинуть, а нагрівання меду до температури понад 43°C призводить до утворення в ньому канцерогенних речовин. Виходячи з вищезгаданого, завдання визначення ступеню прогріву продукту в процесі його пакування в полімерну тару є актуальним.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Сьогодні під час пакування продуктів харчової промисловості найбільш поширеною є полімерна тара. У роботі [1, с. 33] зазначено, що основні тенденції розвитку пластикової упаковки на законодавчому рівні диктують такі вимоги: мінімальна

міграція, в тому числі при підвищених температурах пастеризації та стерилізації; стійкість до гарячої води, тобто збереження форми та розміру; висока стійкість до вертикального навантаження; висока стійкість до ударного навантаження; висока прозорість. Таким чином, дослідження, що проводяться в галузі існуючих полімерних пакувальних матеріалів, умовно можна розділити на два напрямки.

1. Забезпечення механічної міцності пакувальних матеріалів за різноманітних умов навантаження тари. Дослідження в цій галузі майже завжди базуються на експериментальних випробуваннях [2, с. 33; 3, с. 65].

2. Забезпечення хімічної міцності пакувальних матеріалів, тобто попередження міграції складових матеріалу в продукт чи навколишнє середовище за різноманітних умов. Оскільки більшість методів пакування пов'язані з використанням високих температур, у цьому напрямку велику увагу приділяють процесам, що виникають під час нагрівання. Так, у роботі [4, с. 146] відзначено, що підвищення під час пакування температури на 10°C збільшує швидкість біохімічних реакцій і знижує термін придатності продукту. Існують методики, які дозволяють розрахувати терміни придатності основних продуктів [5, с. 217], однак надійного критерію для оцінки придатності

упаковки для збереження рівня якості продукції немає. Так, у роботі [6, с. 135] запропоновано таким критерієм вважати зміну антиоксидантної активності продукту. Проте існують продукти, антиоксидантна активність яких змінюється не за рахунок мігруючих компонентів, а лише під впливом підвищених температур. Наприклад, під час підігрівання меду до 43°C у ньому утворюється гідроксиметілфурфурол – небезпечна токсична речовина, здатна викликати виникнення онкоутворень у травному тракті [7], а продукти, які містять підсоложувач аспартам, не можна нагрівати до температури понад 30°C, оскільки він починає розпадатися на формальдегід та ментол [8, с. 270].

Втім, можна зробити загальний висновок про те, що результати досліджень, представлені в сучасних публікаціях, не дають можливості провести оцінку прогріву продукту під час запаювання тари.

Формулювання цілей статті. Метою даної роботи є дослідження впливу температури зварювання на якісні характеристики продукту, що пакується. Для досягнення поставленої мети в представленому дослідженні було вирішено такі задачі:

1. Досліджено температуру прогріву продукту в залежності від конструкції зварювального штампу та його матеріалу.

2. Досліджено температуру прогріву продукту в залежності від матеріалу, використаного для його пакування.

Виклад основного матеріалу. Під час розрахунків в якості продукту було обрано мед 21-відсоткової вологості, теплопровідність якого становить 0,5375 Вт/(м К). Питома вага меду коливається в межах 1,420...1,440 кг/дм³. За температури -36°C мед замерзає, зменшуючись в об'ємі на 10 відсотків, а при нагріванні він, навпаки, розширюється [9].

Оптимальною тарою для продажу меду невеликими обсягами є пластикові стаканчики з приварюваною автоматом платинкою. Конструкція вузла запаювання платинки (рис. 1) являє собою штамп прямокутної форми, виготовлений з кераміки або алюмінію, який розміщено в сталевому

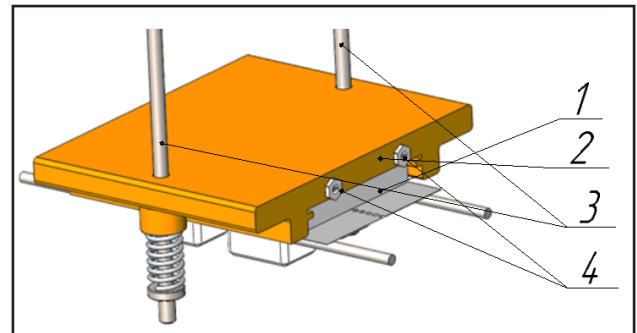


Рис. 1. Конструкція штампа для запаювання:
1 – штамп; 2 – корпус; 3 –направляючі осі;
4 – нагрівальні елементи

корпусі [10]. Зварну плівку й тару з продуктом подають до позиції штампа за допомогою крокового двигуна стрічкового конвеєра. Час контакту зварного шва з плівкою та продуктом знаходиться в інтервалі від 1 до 4 секунд. Матеріали які було обрано для дослідження, представлені в табл. 1.

Було задано конвекцію на усіх поверхнях, які контактують із повітрям. Температура навколишнього середовища складає 25°C. Потужність нагрівального елемента становить 50 Вт. Тепловий опір та тепловідвід між поверхнями конструкції до уваги не приймалися.

Дослідження залежності прогрівання продукту від конструкції зварювального штампу та його матеріалу

Розглянемо розподіл температур від нагрівального елемента за всім вузлом зварювання в залежності від типу матеріалу штампа та його конструкції. На рис. 2 та 3 наведено два різновиди конструкції штампа, що найчастіше використовуються в пакувальних машинах: перший із заглибленням для зменшення контакту штампа з платинкою (рис. 2), другий – без заглиблення – забезпечує контакт штампа з платинкою за всією поверхнею (рис. 3).

Розрахунок проводився з використанням метода скінчених елементів в системі Solid Works Simulation. Під час розрахунків розглядалася одна чверть штампа, що дозволило суттєво підвищити точність отриманих результатів. Час контакту

Таблиця 1

Матеріали досліджуваного вузла

№ з/п	Найменування елемента	Матеріал
1	Нагрівальний елемент	Сталь
2	Корпус штампа	Сталь
3	Штамп (зварювальний елемент)	Кераміка, алюміній
4	Платинка	Поліпропілен Алюмінієва фольга + поліпропілен
5	Тара для дозування продукту	Поліетилен

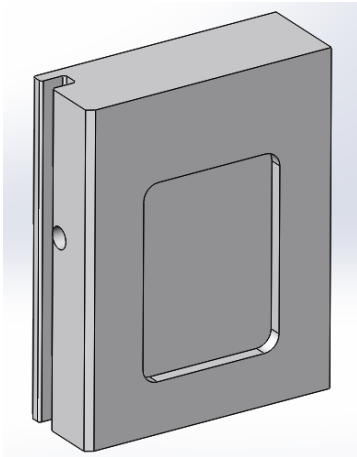


Рис. 2. Штамп із заглибленням

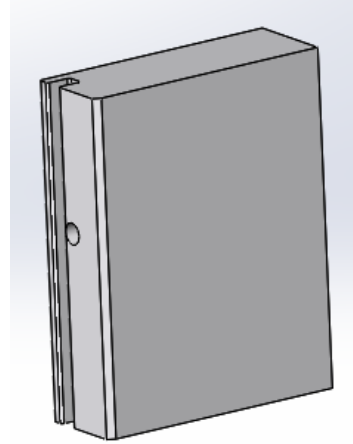


Рис. 3. Штамп без заглиблення

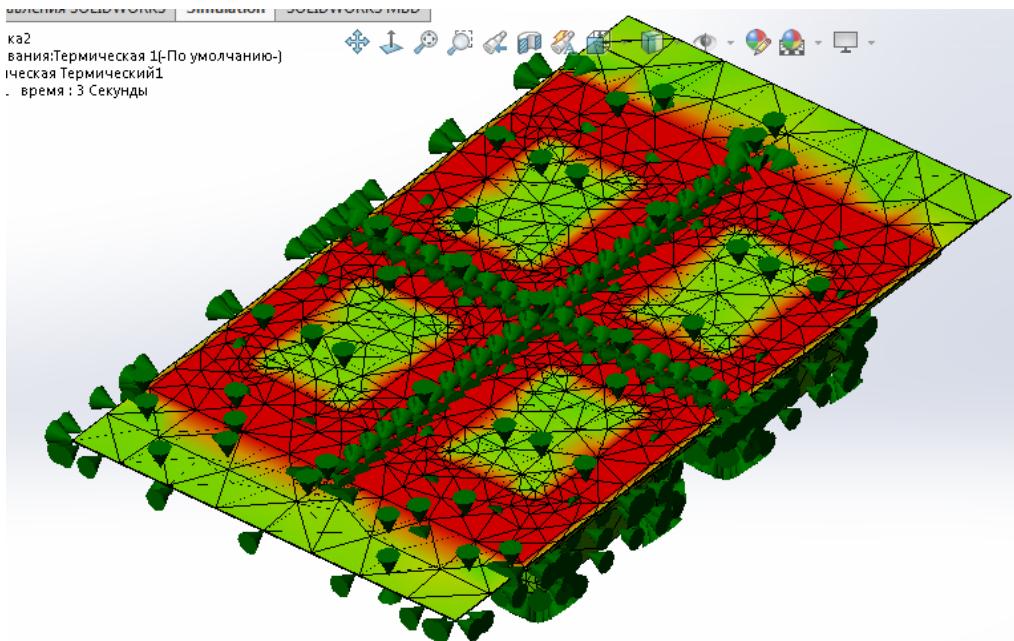


Рис. 4. Епюра термічного аналізу за площею нагрівання для керамічного штампа

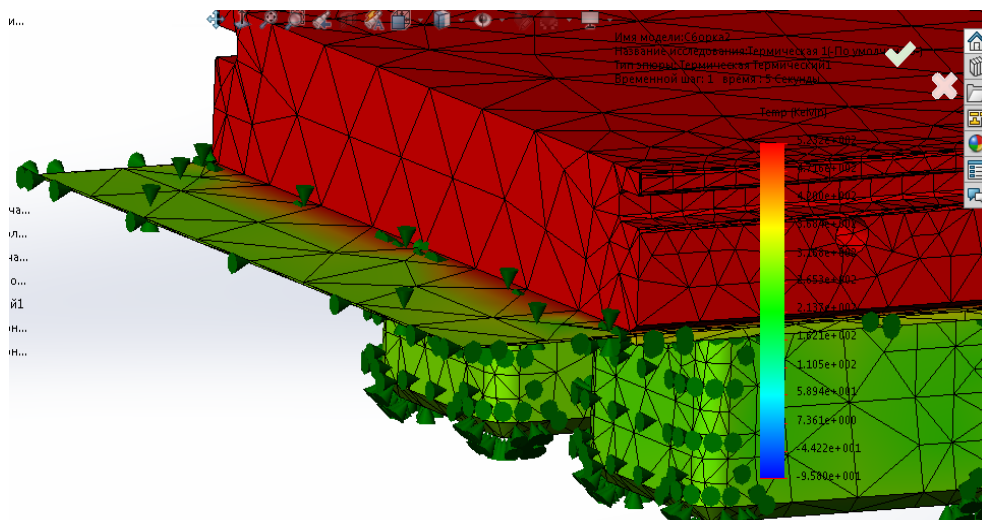


Рис. 5. Епюра термічного аналізу за глибиною прогріву для керамічного штампа

нагрітого штампа з тарою розглядався в діапазоні від 0 до 3 секунд.

Для проведення досліджень було розглянуто два керамічних зварюючих штампи різної конструкції, що дало можливість провести порівняльний аналіз зміни прогріву всіх елементів вузла.

На рис. 4 та 5 приведено епюри розподілу температур при припаюванні поліпропіленової плівки за допомогою штампа із заглибленням. Результати розрахунків теплопередачі від нагрівача до тари з продуктом представлено у вигляді графіків (див. рис. 6, 7).

Аналіз отриманих даних показав, що за умови зміни конструкції штампа процес передачі тепла до тари практично не змінюється. За час контакту штампа з тарою (3 секунди) температура зварної плівки досягає 410 К, температура верхньої точки тари при цьому складає 350 К. Сам продукт нагрівається під час контакту упаковки зі штампом у діапазоні від 298,18 К до 302 К, що відповідає встановленим безпечним межам, оскільки початкова температура продукту складала 25°C, а після нагрівання складала 29°C, за гранично припустимого значення 43°C. Із зазначеного витікає висно-

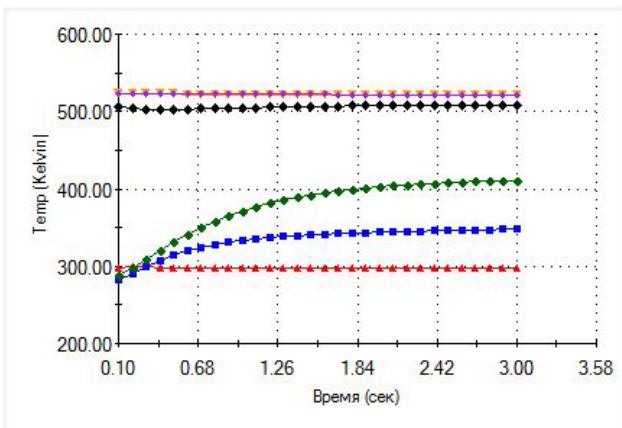


Рис. 6. Графіки зміни температури за часом під час передачі тепла від керамічного штампа із заглибленням:

- температура верхньої точки корпусу штампа;
- температура нижньої точки корпусу штампа;
- температура внутрішньої точки керамічного штампа;
- температура точки полімерної зварної плівки;
- температура верхньої точки тари продукту;
- температура точки центру розміщення продукту.

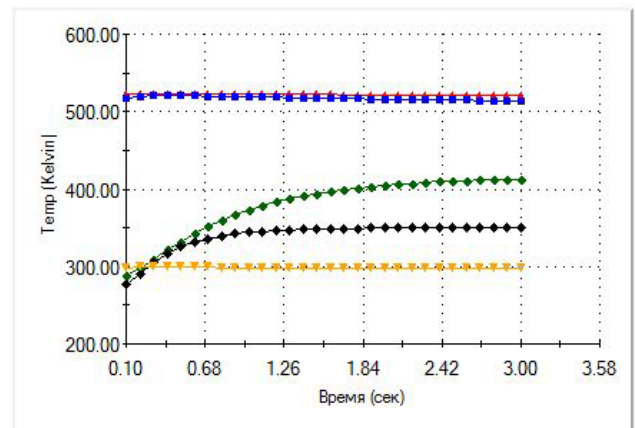


Рис. 7. Графіки зміни температури за часом при передачі тепла від керамічного плоского штампа без заглиблення:

- температура точки корпусу штампа;
- температура внутрішньої точки штампа;
- температура точки полімерної зварної плівки;
- температура верхньої точки тари продукту;
- температура точки центру розміщення продукту.

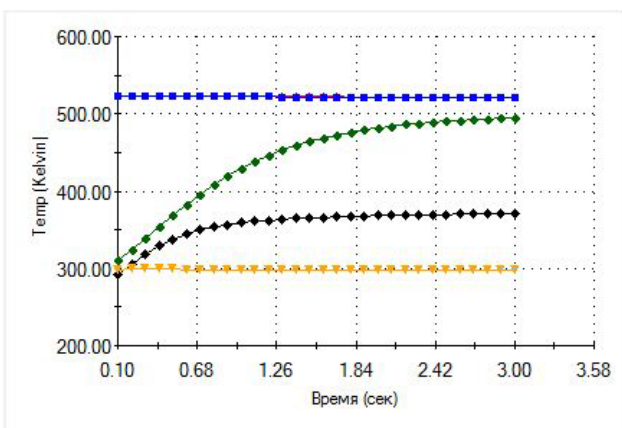


Рис. 8. Графіки зміни температури за часом при передачі тепла від алюмінієвого штампа із заглибленням:

- температура точки корпусу штампа;
- температура внутрішньої точки штампа;
- температура точки полімерної зварної плівки;
- температура верхньої точки тари з продуктом;
- температура точки центру розміщення продукту (меду).

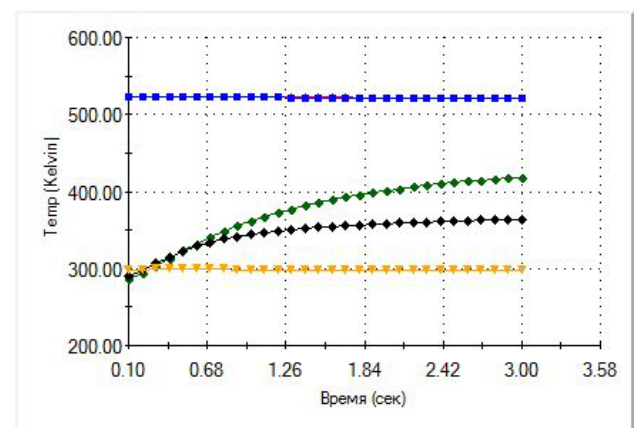


Рис. 9. Графіки зміни температури за часом при передачі тепла від алюмінієвого плоского штампа без заглиблення:

- температура точки корпусу штампа;
- температура внутрішньої точки штампа;
- температура точки полімерної зварної плівки;
- температура верхньої точки тари з продуктом;
- температура точки центру розміщення продукту (меду).

вок, що якість продукту в процесі пакування втрачено не буде.

Для порівняння розглянемо два зварювальних штампа різної конструкції, які виготовлено з алюмінієвого сплаву AA380.0-F. При розрахунках теплопередачі від нагрівача до тари з продуктом було отримано результати, наведені у вигляді графіків (див. рис. 8, 9). Аналіз отриманих даних показав, що під час використання алюмінієвого штампа в незалежності від його конструкції процес передачі тепла до тари практично не змінюється. За час контакту штампа з тарою (3 секунди) температура зварної плівки досягає 410 К, температура верхньої точки тари при цьому складає 350 К. Сам продукт нагрівається під час контакту упаковки зі штампом у діапазоні від 298,18 К до 305 К, що також відповідає встановленим безпечним межах, оскільки початкова температура продукту складала 25°C, а після нагрівання складала 32°C, за гранично допустимого значення 43°C. Із зазначеного витікає висновок, що якість продукту в процесі пакування втрачено не буде.

Окремо слід відмітити, що під час застосування алюмінієвого штампа кінцева температура прогріву продукту буде хоча й безпечною, однак дещо більшою за температуру, отриману під час використання керамічного штампа. Тому в дослідженні залежності прогрівання продукту від матеріалу платинки в якості базового розрахункового випадку було обрано саме алюмінієвий штамп.

Дослідження залежності прогрівання продукту від матеріалу платинки

Матеріали, що використовують для виготовлення тари, мають бути придатними для термозварювання, оскільки на експлуатаційні показники упаковки разом із властивостями самої плівки суттєво впливають також і зварні шви. Стаканчик зазвичай виконують з полістиролу, поліетилену або харчового поліпропілену.

Для закупорювання використовують платинку, виготовлену з полімерних або комбінованих матеріалів. Існує два основних види плівок з полімерних матеріалів, які доступні для використання: плівка зі штучної целюлози та плівка на основі пластиків. Найбільш поширеним комбінованим матеріалом для виготовлення платинок є алюмінієва фольга, комбінована з полімером (зазвичай поліпропіленом або поліетиленом) [11, с. 7]. У порівнянні з більшістю інших пакувальних матеріалів означена композиція отримує вражаючі бар'єрні характеристики.

Розрахунки було проведено для штампів різних конструкцій. В якості матеріалу штампа було обрано алюміній, оскільки, як було вказано вище, він дає більш високий прогрів розфасованого продукту. На рис. 10 та 11 наведено графіки залежності розподілу температури в різних точках упаковки з платинкою, виконаною з комбінованого матеріалу. Результати розрахунків для випадку полімерної платинки за тих же умов пакування наведено на рис. 8 та 9.

Порівнюючи результати, отримані для двох зварних матеріалів, які використовуються для

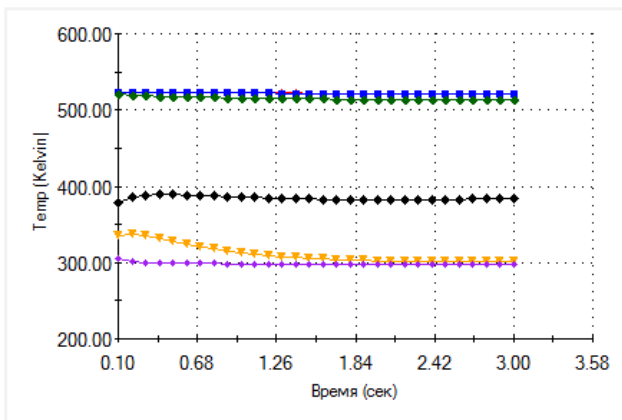


Рис. 10. Графіки зміни температури за часом при передачі тепла від алюмінієвого штампа із заглибленням:

- температура точки корпусу штампа;
- температура внутрішньої точки штампа;
- температура точки комбінованої зварної плівки;
- температура верхньої точки тари з продуктом;
- температура точки верхнього шару продукту (меду);
- температура точки центру розміщення продукту (меду)

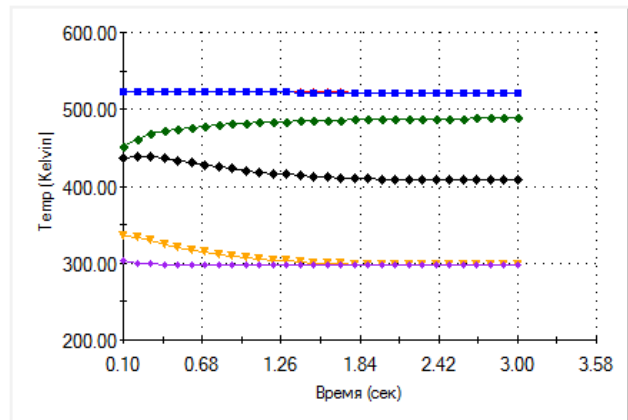


Рис. 11. Графіки зміни температури за часом при передачі тепла від алюмінієвого плоского штампа без заглиблення:

- температура точки корпусу штампа;
- температура внутрішньої точки штампа;
- температура точки комбінованої зварної плівки;
- температура верхньої точки тари з продуктом;
- температура точки верхнього шару продукту (меду);
- температура точки центру розміщення продукту (меду)

пакування досліджуваного продукту, можна помітити такі розбіжності:

1) за наявності в штампі заглиблення платинка, виготовлена з полімерного матеріалу, розігрівається до 495 К (222°C), а плівка в комбінації з фольгою – до 515 К (242°C).

2) для випадку використання суцільного алюмінієвого штампа, плоского, без заглиблення, платинка, виготовлена з полімерного матеріалу, розігрівається до 420 К (147°C), а плівка в комбінації з фольгою – до 485 К (212°C).

Отже, можна зробити висновок, що комбінований матеріал з алюмінієвої фольги та плівки забезпечить якісніший зварний шов, аніж звичайна полімерна плівка. Також кращим з точки зору забезпечення якості зварного шва буде використання модифікації штампа із заглибленням.

Висновки:

1. Аналіз отриманих результатів показав, що алюмінієвий штамп за однакової потужності нагрівального елемента розігріває тару та продукт до більшої температури, ніж керамічний. Максимальний нагрів продукту за час контакту зі штампом при цьому досягає значення 32°C, що є меншим за гранично допустиму величину, встановлену для меду. Із вищезазначеного можна

зробити висновок, що під час контакту штампу та продукту мед не втрачає своїх корисних властивостей.

2. За результатами порівняння даних стосовно температури прогріву платинок, виготовлених з полімерної плівки та комбінованого матеріалу «алюмінієва фольга – полімерна плівка», було встановлено, що остання забезпечує більшу температуру розігрівання, а отже, й якісніший зварний шов, без погіршення властивостей продукту. Додаткового підвищення якості зварного шва можна досягнути за використання штампів із заглибленням.

3. У роботі було досліджено зміну температури запакованого продукту. Найбільше значення температури, яку продукт отримував у всіх дослідках, становить 33°C. Таким чином, можна вважати, що в процесі короткотермінового контакту штампа з тарою жодних негативних впливів на властивості та якість продукту не виникне, оскільки критичне значення температури для меду складає 43°C. Отже, досліджений вид пакувальної операції для меду можна вважати безпечним.

У подальших дослідженнях доцільним є розглянути більш широкий спектр продуктів, що пакуються, оскільки діапазони безпечного нагріву для багатьох із них суттєво відрізняються між собою.

Список літератури:

1. Коваленко О., Крылова В., Абрамова Л., Платонова Н. Упаковка нового поколения. Пластикс. 2012. № 5(111). С. 30–34.
2. Коваленко О., Молодиченко М. Упаковка потребительская полимерная. Тара и упаковка. 2015. № 5. С. 30–33.
3. Колоскова А.Н. Экспериментальное исследование Т-образного сварного соединения полимерных пленок. Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. 2015. Вып. 3(83). С. 65–68.
4. Пашкова Е.С., Рассолько Л.А., Атрашонок И.В., Кудрина Я.В. Современная упаковка товара как составляющая часть сбытовой политики предприятия. Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции: сборник статей III междунар. науч.-практ. конф. (Минск, 23-24 марта 2017 г). Минск, 2017. С. 146–147.
5. Стеле Р. Срок годности пищевых продуктов. Расчет и испытание. СПб., 2006. 480 с.
6. Сухарева К.В., Чалых Т.И., Попов А.А. Влияние материала полимерной упаковки на активность жидких пищевых сред. Вестник Казанского технологического университета. 2017. Т. 20. № 2. С. 135–139.
7. Вред меда. В каких случаях мед вреден? // MagicWorld.su. URL: <http://www.magicworld.su/o-vrednom/275-vred-mjoda-v-kakikh-sluchayakh-mjod-vreden.html> (дата звернення: 10.03.2018).
8. Малахова Л.П. Продукты без тайн! Защити свой стол от уловок пищевой индустрии. М., 2012. 272 с.
9. Физические и химические свойства меда. // Апилак: искусство лечения медом и другими продуктами пчеловодства URL: <http://apilak.com/honey-svoistva-fiz-him.html> (дата звернення: 10.03.2018).
10. Фасовочные автоматы. // Дальтехпрогресс: Дальневосточный сервисный центр промышленного оборудования. URL: http://daltech-progress.ru/equipment/profitex/packaging_machines/adnk_39/ (дата звернення: 15.03.2018).
11. Колоскова, А.Н. Классификатор многослойных комбинированных упаковочных материалов. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія «Механіко-технологічні системи і комплекси». 2017. № 16(1238). С. 7–11.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ГРАДИЕНТА ПРИ ЗАПАИВАНИИ ПЛАСТИКОВОЙ ТАРЫ НА КАЧЕСТВО ЕЕ СОДЕРЖИМОГО

Проведен анализ факторов, влияющих на сохранность качества пищевых продуктов в полимерной упаковке. Используя метод конечных элементов, провели расчет передачи тепла от нагревательного элемента сваривающего штампа к продукту, упаковываемому в пластиковые стаканчики. На примере укупорки меда проанализировано влияние конструкции сваривающего штампа, а также его материала на прогрев продукта в упаковке в процессе ее запаивания. Проанализировано изменение температуры продукта в зависимости от вида материала упаковки. В результате анализа предложены оптимальные параметры штампа и вид материала упаковки, дающие минимальное повышение температуры продукта при хорошем качестве сварного шва. В дальнейших исследованиях отмечена необходимость рассмотрения более широкого спектра пакуемых продуктов, обусловленная различной предельной безопасной температурой нагрева.

Ключевые слова: полимерная упаковка, платинка, запаивание, прогрев, безопасность.

Investigation of impact of the temperature gradient at plastic packaging sealing on its content quality

We have accomplished analysis of factors influencing on food products preservation in polymeric packaging. Using finite element method we have calculated heat transfer from heating element of the welding stamp to product packaged in plastic cups. At the example of the honey packing we have analyzed the impact of welding stamp construction and material on product heating during the process of packaging sealing. We have analyzed the variations of the product temperature depending on packaging material type. As the result of the analysis we have proposed optimal stamp parameters and packaging materials which ensure minimal increase of the product temperature together with the proper weld seam quality. In the following research we have noticed the necessity of observation of the wide spectrum of packaged products due to different maximal safe heating temperature.

Key words: polymeric packaging, platinka, sealing, heating, safety.

Севастьянова О.В.

Одеська національна академія харчових технологій

Пилипенко Л.М.

Одеська національна академія харчових технологій

Маковська Т.В.

Одеська національна академія харчових технологій

Гончаров Д.С.

Одеська національна академія харчових технологій

НЕЖИРНІ СИРКОВІ ДЕСЕРТИ З РОСЛИННИМИ БІОКОРЕКТОРАМИ

*У роботі обґрунтовано використання рослинних біокоректорів для досягнення профілактичної спрямованості сирних десертів на основі кисломолочного сиру. Обґрунтовано вибір у десертах модифікованого крохмалю, рослинного біокоректора і спецій. Досліджено жирнокислотний склад, зокрема наявність есенціальних жирних кислот та антиоксиданту активності цільових продуктів. Проведено біотестування з використанням *Allium test* для інтегральної оцінки безпеки отриманих нежирних десертів солодкого та солоного напрямів. На основі експериментальних і теоретичних досліджень, розроблено науково обґрунтовані рецептури нежирних солодкого та солоного сиркових десертів із харчовою цінністю та оздоровчими властивостями. Визначено органолептичні, фізико-хімічні та мікробіологічні показники якості готового продукту.*

Ключові слова: сирковий десерт, кисломолочний сир, модифікований крохмаль, біокоректори, біотестування, хроматографічний аналіз

Постановка проблеми. Харчування – один із найвагоміших факторів, який забезпечує нормальний розвиток та життєдіяльність людини. Погіршення екологічної ситуації та зміна умов життя населення, яке пов'язане з технічним прогресом, негативно вплинули на раціон та якісний склад повсякденного харчування, що призвело до збільшення захворювань, пов'язаних із неправильним харчуванням [1, с. 45]. Тому для підтримки нормальної життєдіяльності та попередження розвитку хронічних захворювань необхідним є створення харчових продуктів оздоровчого спрямування шляхом виключення недоброякісної сировини та збагачення рослинними біокоректорами, які насичують продукт біологічно активними речовинами [2, с. 62; 3, с. 658; 4, с. 294].

Одним із напрямів сучасних наукових розвідок є розширення асортименту молочних продуктів оздоровчого призначення шляхом зниження масової частки жиру, покращення сенсорних характеристик та збагачення біологічно активними речовинами.

Молочна промисловість спрямована на використання широкого спектру традиційних та нових харчових добавок, які є стабілізаторами, формують структуру молочного продукту. Стабілізаційні системи в молочних продуктах представлені низкою сполук, частіше вуглеводної природи, які за своєю будовою та фізико-хімічними властивостями відіграють роль загусників, емульгаторів, стабілізаторів, речовин для зв'язування води [5, с. 120]. Наукові розробки сприяють зростанню таких сполук, де вагоме місце належить модифікованим крохмалю із різними технологічними властивостями (табл. 1).

Стабілізатор під час виробництва нежирних сиркових десертів використовували фізично модифіковані крохмалі холодного набрякання на основі картоплі, воскової кукурудзи, воскового ячменю серії *LYCKEBY CAREFUL*, що спеціально розроблені для виробництва молочних продуктів із чистою етикеткою (*clean label*), які не мають коду Е і можуть декларуватися на етикетці кінцевого продукту як «крохмаль».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вимоги науки про харчування постулюють необхідність нового підходу до складу, властивостей, а також технологій виробництва харчових продуктів, які повинні не тільки задовольняти потреби організму людини в основних харчових речовинах і енергії, але й забезпечити його необхідним спектром мікроінгредієнтів, сприяючи профілактиці захворювань, зберігаючи здоров'я і довголіття. Водночас їжа повинна бути різноманітною, смачною, безпечною і відповідати національним звичкам і традиціям [7, с. 460]

Десерт – страва, що подають після обіду, тобто після основних страв чи самостійно. Залежно від способу виробництва та сировини сиркові десерти поділяють на сирки, маси сиркові, пасти сиркові, креми сиркові, десерти сиркові, торти (тістечка) сиркові.

Сучасні виробники харчової продукції пропонують як солодкі, так і солоні варіанти сиркових десертів. Як правило, до складу цього смачного і корисного продукту входить якісний кисломолочний сир, вершки або вершкове масло, а також цукровий пісок (11-13%) або харчова сіль. Для надання додаткових смакових і ароматичних якостей іноді, крім основних інгредієнтів, додають горіхи і сухофрукти, ванілін, свіжу зелень, а також свіжі фрукти або цукати [8, с.110].

Під час виробництва сиркових десертів важливе місце займає збагачення їх рослинними біокоректорами, які є джерелом есенціальних жирних кислот та харчових волокон і володіють антиоксидантною властивістю [9].

Тому актуальним є розроблення рецептурного складу сиркових десертів із використанням моди-

фікованого крохмалю серії LYCKEBY CAREFUL, збагачених біокоректорами.

Постановка завдання. Мета роботи – розроблення науково обґрунтованих рецептур нежирних солодкого та солоного сиркових десертів, збагачених рослинними біокоректорами з модифікованих крохмалем.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- обґрунтувати вибір модифікованого крохмалю, рослинного біокоректора та розроблення рецептур;
- дослідити жирнокислотний склад нежирних сиркових десертів;
- дослідити антиоксидантну активність нежирних молочних десертів;
- провести біотестування нежирних сиркових десертів.

Матеріали і методи досліджень. Для проведення експериментальних досліджень рецептурними компонентами були використані нежирний кисломолочний сир та сирна сироватка, яка залишилась від виробництва кисломолочного сиру та яка була отримана на ТОВ «Гормолзавод № 1» (м. Одеса), насіння Чіа (виробник – ТМ «Natural Green», Україна), модифікований крохмаль Lyckeby Careful 250 (виробник – Швеція; постачальник – ТОВ «Славія», Україна), приправа «Молочні спеції» (постачальник – «Лавка спецій», Україна), паприка згідно з вимогами ISO 7540:2006 «Ground paprika» (виробник – ТОВ «Микшер», Україна), часник сушений мелений згідно з вимогами ГОСТ 29053–91 (виробник – компанія «Троянда Карпат», Україна), сіль

Таблиця 1

Властивості модифікованих крохмалів та їх використання в молочній промисловості [6, с. 35]

Вид модифікації	Основні властивості	Сфера використання
Набрякання	Розчинність і диспергованість без теплового оброблення, набрякання в холодній воді.	Під час виробництва морозива підвищує збитість морозива і знижує середній діаметр повітряних пухирців.
Естерифікація (ацетилювання)	Підвищена прозорість і стабільність клейстеру, стійкість до циклів відтаювання / заморожування	Для загущення та стабілізації десертів, морозива.
Естерифікація октенілбурштиновим ангідридом	Емульгуюча та стабілізуюча здатність	Під час виробництва морозива.
Утворення поперечно зшитих фосфатних крохмалів	Підвищена в'язкість і густина. Стійкість до нагрівання, механічної дії та низьких рН. Збереження стабільності, уповільнення клейстеризації	Під час виробництва йогурту та інших молочних продуктів, напоїв.
Гідроксипропілювання	Підвищена прозорість і стабільність клейстеру. Стійкість до заморожування. Полегшене теплове оброблення.	Під час виробництва сухого дитячого харчування

харчова згідно з вимогами ДСТУ 3583-97, цукор-пісок згідно з вимогами ДСТУ 4623-2006, желатин згідно з вимогами ТУ У 24.6-00418030-002:2007, ванілін згідно з вимогами ТУ У 24.6-00418030-002:2007.

Під час виконання досліджень масову частку сухих речовин визначали арбітражним методом за ДСТУ ISO 6731:2007; титровану кислотність зразків визначали титриметричним методом за ГОСТ 3624-92; температуру – за ДСТУ 6066:2008; кількість бактерій групи кишкових паличок (БГКП) – за ДСТУ IDF 73A:2003; кількість мезофільних аеробних і факультативно-анаеробних мікроорганізмів (КМАФАнМ) – за ДСТУ IDF 100B:2003, антиоксидантну активність – за зміною швидкості окиснення $NAD \cdot H_2 / NAD$ з використанням електронно-транспортної системи «нікотинамідаденіндинуклеотид, відновлений $NAD \cdot H_2$ – ферицианід калію $K_3[Fe(CN)_6]$ » [10, с. 52].

Для визначення жирнокислотного складу сиркових десертів проводили дослідження методом газової хроматографії з використанням хроматографа «Clarus 500» із полум'яно-іонізаційним детектором, газ носій-гелій, Т-інжектора -250°C, Т-детектора -250°C, Т-термостата від 50 °C до 250 °C протягом 25 хв., об'єм введеного зразка $1 \cdot 10^{-3} \text{ см}^3$. Виділення жирової фази здійснювали методом екстракції гексаном. Для хроматографії застосовували метод, заснований на перетворенні тригліцеридів жирних кислот у їх метилові ефіри, які в подальшому аналізували методом газової хроматографії [11, с. 230].

Для визначення показників безпеки, зокрема токсичності розроблених рецептур сиркових десертів, використовували метод біотестування «Allium-test», який порівнювали з ДСТУ 3570-97,

розробленим в ОНАХТ та затвердженим наказом Мінагрополітики України 24.11.2014 р. № 459 – Правила установлені практики щодо проведення еколого-токсикологічних досліджень харчової рослинної сировини, напівфабрикатів, продуктів переробки рослинної сировини із застосуванням культури *Styloenchia mytilus* [12, с.230; 13,].

Виклад основного матеріалу дослідження.

На першому етапі роботи основним завданням був вибір зразку модифікованого крохмалю серії MICROLYS і LUSKEBY. Дослідження проводили шляхом розчинення модифікованих крохмалів у попередньо пастеризованій сирній сироватці при температурі 90°C без витримки та охолодженої до температури 21°C та 40°C. Критерієм дослідження була сенсорна характеристика утворених згустків. Результати дослідження наведено в табл. 2.

Усі досліджувані крохмалі утворювали желе-подібну структуру при кімнатній температурі (крім Microlys 56 E-1442), але за сенсорними характеристиками (особливо приємна масляниста структура) представником модифікованих крохмалів, який задовольняв як сенсорні, так і структуроутворюючі властивості, був ячмінний крохмаль Luskeby Careful 250, із яким проводились такі етапи роботи.

Другим завданням був вибір рослинного біокоректора для надання нежирним десертам оздоровчих властивостей. Вибір насіння Чіа обґрунтовано його унікальним хімічним складом, зокрема високим рівнем поліненасичених жирних кислот (далі – ПНЖК) класу омега-3 і омега-6 (64% припадає на омега -3 альфа-ліноленову кислоту і 21% – на омега-6 альфа – лінолеву); наявністю природних антиоксидантів, білка, харчових волокон, клітковини, вітамінів та відсутністю глютену.

Таблиця 2

Результати дослідження вибору масової частки модифікованого крохмалю

№	Тип модифікованого крохмалю (далі – МК)	Співвідношення МК: сироватка,	Умови		Сенсорні показники
			Час набрякання, хв.	t° C	
1	Microlys FH02 E1442 (холодно-набрякаючий загусник з картоплі)	1:1.0	5	21°C	Слабкий молочний запах, консистенція однорідна без відчуття маслянистості
2	Microlys 56 E1442 (заварувальний загусник з картоплі)	1:1.0	5	40°C	Слабкий молочний запах, консистенція з невеликою кількістю окремих грудочок, слабка маслянистість
3	Swely Gel 100 E1414 (холодно-набрякаючий загусник з картоплі)	1:1.0	5	21°C	Слабкий молочний запах, консистенція однорідна без відчуття маслянистості
4	Luskeby Careful 250 (холодно-набрякаючий загусник з ячменю)	1:1.0	5	21°C	Слабкий молочний запах, консистенція однорідна, приємно масляниста

Технологія харчової та легкої промисловості

Експериментально встановили, що при замочуванні насіння Чіа в сироватці (за співвідношення 1:1) утворюється прозорий колоїдний розчин із приємним смаком, без запаху, трохи маслянистої консистенції з приємним на смак набряклим насінням. Використання насіння Чіа в рецептурах сирних десертів дозволяє використовувати кисломолочний сир, отриманий традиційним способом, із масовою часткою вологи 80% (дозволяє виключити операцію допресування кисломолочного сиру до 65%) за рахунок зв'язування вільної вологи насінням.

Для покращення смакових властивостей десертної основи обрали спеції, які, окрім смакових властивостей, є носіями біологічно активних речовин. Для солоного десерту було обрано паприку, сухий порошок часнику, сіль у співвідношенні 1:0,015:0,02:0,02.

Для солодкого десерту – композицію «Молочні спеції» (до складу якої входять кардамон, шафран, імбир, куркума, мускатний горіх, кориця); ваніль, цукор у співвідношенні 1:0,003:0,07:0,006.

При підібраних співвідношеннях смакові компоненти не закривали смак кисломолочного сиру,

Таблиця 3

Рецептури сиркових десертів на 100 кг продукту

Компоненти	Масова частка компонентів для:	
	солодкого десерту	солоного десерту
Кисломолочний сир (нежирний)	68,9	72,1
Модиф. крохмаль Lysceby Careful	2	2,1
Насіння Чіа	2	2,1
Цукор	7,5	-
Сіль	-	1,41
Ванілін	0,6	
Приправа «Молочні спеції»	0,3	
Паприка		1,08
Часник сухий мелений		1,41
Сироватка	18,7	19,8
Усього	100	100

Таблиця 4

Показники якості нежирних сиркових десертів

Найменування показника	Показники солоного десерту	Показники солодкого десерту
Органолептичні характеристики		
Запах та смак	Кисломолочний, без стороннього присмаку, з приємним ніжним смаком насіння Чіа, смакові добавки насичують сенсорну гаму	Кисломолочний, без стороннього присмаку, з приємним ніжним смаком насіння Чіа, смакові добавки насичують сенсорну гаму
Консистенція	Консистенція набрякла, соковита, з рівномірним розподіленням набряклого насіння Чіа по всій масі	Консистенція набрякла, соковита, з рівномірним розподіленням набряклого насіння Чіа по всій масі
Колір	Білий із червоним відтінком	Білий із жовтуватим відтінком
Фізико-хімічні показники		
Масова частка вологи, %	80±2,0%,	80±2,0%,
Кислотність, °Т, не більше	171	164
Фосфатаза	Відсутня	Відсутня
Мікробіологічні показники		
Кількість життєздатних клітин молочнокислих мікроорганізмів, КУО/см ³	1,2·10 ⁷	2,5·10 ⁷
Кількість мезофільних аеробних і факультативно-анаеробних мікроорганізмів, КУО/см ³	3,6·10 ²	4,9·10 ²
Бактерії групи кишкових паличок (колі-форми) в 0,1 см ³ продукту	Відсутні	Відсутні

не заважали одне одному і надавали десертам солоного та солоного напрямів загальний насичений смак із приємним відчуттям присутності насіння Чіа.

Результатами досліджень стали технологія і рецептури солодкого та солоного нежирних сиркових десертів. Рецептури представлені в табл. 3 (в кг на 100 кг готового продукту без урахування втрат).

За традиційною технологією виробництва сиркових десертів було вироблено зразки солодкого та солоного нежирних сиркових десертів для дослідження показників якості. На кінець терміна зберігання визначено органолептичні, фізико-хімічні і мікробіологічні показники, наведені у табл. 4.

На наступному етапі методом газової хроматографії було визначено жирнокислотний склад нежирних сиркових виробів. Установлено вміст лінолевої (20,88%) і ліноленової (58,53%) кислот підтвердив наявність есенціальних жирних кислот родини ω -3 та ω -6 в сирних десертах, що є доказом біокоригуючої дії за цим показником насіння Чіа.

У складі смакових компонентів та насіння Чіа присутні сполуки, які за даними літератури мають антиоксидантні властивості. Антиоксидантну активність зразків десертів вимірювали за зміною швидкості окиснення у контрольному та досліджуваних зразках з урахуванням коефіцієнта розведення.

Експериментальні дані визначення антиоксидантної активності свідчать про те, що здатність біологічно активних речовин, що входять до рецептури розроблених десертів, є різною. Антиоксидантна активність солодкого десерту – 137,5 у.о., що зумовлено вмістом кориці, імбиру, куркуми, кардамону, а солоного десерту – 112,5 у.о. за рахунок вмісту паприки, часнику. Результати дослідження показали, що розроблені десерти мають антиоксидантну активність, оскільки у їх присутності швидкість перенесення електрона в системі збільшується у 2-5 разів порівняно з кисломолочним сиром.

Завершальним дослідженням було проведення біотестування, метою якого стало визначення попередньої інтегральної оцінки безпеки отриманих десертів. Використано Allium test, який рекомендовано стандартом у цитогенетичному моніторингу навколишнього середовища, оскільки результати, отримані в цьому тесті, показують кореляцію з тестами на інших організмах: водоростях, рослинах, комах, а також на ссавцях і людині.

Експеримент проводили за стандартною методикою з початковим пророщуванням цибулин у дистильованій воді при кімнатній температурі і подальшим вимірюванням довжини корінців. Десерти розводили дистильованою водою у співвідношеннях «десерт: вода» – «1:5 та 1:10».

Результати свідчать, що у разі біотестування десерту солоного, через 12 годин пророщування спостерігається активація росту корінців на 17,6%; через 24 години цей ефект зникає, а через 36 годин спостерігається пригнічення росту корінців на 16,4 % щодо контрольного зразка.

Для солодкого десерту при всіх співвідношеннях компоненти десертів не чинять істотного впливу на ріст корінців протягом 12 годин пророщування, але в подальшому (через 24-36 годин) відбувається певне пригнічення росту щодо контрольного зразка.

Згідно з ДСТУ 3570-97, розробленим в ОНАХТ, продукт вважається безпечним, якщо показник виживання знижується до 30%. Допустиме зниження показника виживання в об'єктах досліджування до 60% вважається гранично допустимою зоною безпеки. Небезпечно (недопустиме) значення – зниження більш 60% свідчить про наявність токсичного впливу на тест-організм. Таким чином, за отриманими результатами нові продукти можна позиціонувати як абсолютно безпечні щодо впливу на біологічні об'єкти.

Перспективами подальших досліджень є розроблення нормативної документації на виробництво; проведення промислової апробації розробленої технології.

Висновки. На основі узагальнення теоретичних і експериментальних досліджень розроблено науково обґрунтовану рецептуру нежирних сиркових десертів із модифікованим крохмалем, збагачених біокоректорами оздоровчого призначення.

1) здійснено вибір модифікованого крохмалу, зокрема Luykeby Careful 250, при використанні якого отримано сирковий десерт із ніжною однорідною консистенцією та маслянистістю, що є необхідним для створення нежирних продуктів;

2) здійснено збагачення сирних десертів рослинним біокоректором – насінням Чіа та експериментально доведена наявність у десертах поліненасичених жирних кислот: лінолевої (20,88%) і ліноленової (58,53%) кислот у зразках розроблених десертів солодкого та солоного напрямів;

3) встановлено кінцевий термін зберігання цільового продукту (температура $4\pm 2^\circ\text{C}$ протягом 14 діб) і визначено органолептичні, фізико-хімічні і мікробіологічні показники якості;

4) розроблені сиркові десерти рекомендовано включати в раціон харчування населення, як джерело комплексу БАВ, ПНЖК, які характеризуються високими показниками харчової цінності, мають профілактичні властивості та не містять небезпечних агентів, що важливо для збереження генофонду нашої країни.

Список літератури:

1. Шендеров Б.А. Функциональное питание и его роль в профилактике метаболического синдрома. Москва: ДеЛи принт, 2008. 319 с.
2. Капрельянц Л.В., Йоргачова К.Г. Функциональні продукти. Одеса: Друк, 2003. 312 с. ISBN 966-8099-83-4.
3. Henry, C. J. Functional foods. European Journal of Clinical Nutrition. 2010. № 64. P. 657-659.
4. Granato D., Branco G. F., Nazzaro F. at al. Functional foods and nondairy probiotic food development: trends, concepts and products. Comprehensive reviews in food science and food safety. 2010. № 9. P. 292-302.
5. Филлипс Г.О., Вильямс П.А. Справочник по гидроколлоидам / Пер. с англ. под ред. А.А Кочетковой и Л.А Сарафановой. Санкт-Петербург: ГИОРД, 2006. С. 450.
6. Черно Н.К., Денісюк Н.О., Озоліна С.О. та ін. Харчова хімія. Полісахариди. Навчальний посібник. Одеса: Освіта України. 2014. 222с.
7. Siro I. Functional food. Product development, marketing and consumer acceptance – a review [Text]. Appetite. 2008. V 51. P. 456-467.
8. Голубева Л.В., Долматова О.І., Бандура В.Ф. Вивчення властивостей сирного продукту з компонентами рослинного походження. Вісник Воронежського державного університету інженерних технологій. 2015. № 2. С. 108-111.
9. Пахомов І.В. Антиоксиданти рослинного походження для жировмісних кондитерських виробів. Наукові праці Національного університету харчових технологій. 2016. Т. 22, № 1. С. 185-191.
10. Ткаченко Н.А., Некрасов П.О., Вікуль С.І. Оптимізація рецептурного складу напою оздоровчого призначення на основі сироватки. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2016. № 1(10). С. 49-57.
11. Арутюнян Н.С., Корнена Е.П., Мартовщук Е.В. и др. Лабораторный практикум по химии жиров. Санкт-Петербург: ГИОРД, 2004. 264 с.
12. Пилипенко Л.Н, Пилипенко И.В. Биологические методы в оценке безопасности растительных пищевых продуктов и ингредиентов. Одесса: Изд-во «Optimum». 2014. 264с .
13. Хомич Г.П., Вікуль С.І., Капрельянц Л.В. Спосіб визначення біологічної активності об'єктів природного походження. Патент на винахід 107506 С2 МПК G 01N 33/00 (2015.01). № U 201302626, заявл. 04.03.2013; опубл. 12.01.2015, Бюл. № 1.

НЕЖИРНЫЕ ТВОРОЖНЫЕ ДЕСЕРТЫ С РАСТИТЕЛЬНЫМИ БИОКОРРЕКТОРАМИ

В работе обосновано использование растительных биокорректоров для достижения профилактической направленности сырных десертов на основе творога. Обосновано выбор в десертах модифицированного крахмала, растительного биокорректора и специй. Исследован жирнокислотный состав, наличие эссенциальных жирных кислот и антиоксидантная активность целевых продуктов. Проведено биотестирование с использованием «Allium test» для интегральной оценки безопасности полученных нежирных десертов сладкого и соленого направлений.

На основе экспериментальных и теоретических исследований разработаны научно обоснованные рецептуры нежирных сладкого и соленого творожных десертов с пищевой ценностью и оздоровительными свойствами. Определены органолептические, физико-химические и микробиологические показатели качества готового продукта.

Ключевые слова: *творожный десерт, творог, модифицированный крахмал, биокорректор, биотестирование, хроматографический анализ.*

NONFATTY CHEESE-CURD DESSERTS WITH PLANT BIOCORRECTORS

In the work the usage of plant biocorrectors achievement of prophylactic orientation of cheese desserts, based on sour-milk cheese, is substantiated. The choice of modified starch, plant biocorrectors and spices in desserts is substantiated. The fatty acids composition, namely, the presence of essential fatty acids and antioxidative activity of the aimed products was studied. The biotesting with «Allium-test» usage for the integral assessments of safety of the obtained nonfatty desserts of sweet and salted direction was conducted. Based on experimental and theoretical investigations the scientifically substantiated formulations of nonfatty sweet and salted cheese-curd desserts with nutritive value and sanitary properties were developed. The organoleptic, physico-chemical and microbiological indices of the end product quality were determined.

Key words: *cheese-curd dessert, sour-milk cheese, modified starch, biocorrectors, biotesting, chromatographic analysis.*

УДК 637.357.04:[579.864+579.873]:546.41'131

Скрипніченко Д.М.

Одеська національна академія харчових технологій

Дец Н.О.

Одеська національна академія харчових технологій

Ланженко Л.О.

Одеська національна академія харчових технологій

ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ КОНЦЕНТРАЦІЇ КАЛЬЦІЙ ХЛОРИДУ В ТЕХНОЛОГІЇ М'ЯКИХ ПРОБІОТИЧНИХ СИРІВ

У роботі наведено результати експериментальних досліджень щодо визначення раціональної концентрації кальцій хлориду в технології м'яких пробіотичних сирів залежно від режиму пастеризації молока, синеретичних властивостей та тривалості утворення сичужних згустків, вмісту сухих речовин і білка в сироватці. Збільшення концентрації іонів кальцію в молоці загалом сприяє синерезису, в молоці, яке призначене для виробництва сирів, цілеспрямовано підвищують вміст кальцію шляхом внесення кальцій хлориду, що підсилює синерезис. Однак дія внесеного кальцій хлориду на синерезис може бути і негативною при певних значеннях рН та при високому дозуванні, особливо під час тривалої витримки згустку перед розрізанням. Установлено, що для виробництва м'яких пробіотичних сирів доцільно використовувати підвищену температуру пастеризації молока – $(85 \pm 1)^\circ\text{C}$ з витримкою 2...3 хв. і підвищену масову частку кальцій хлориду – 40...45 г/100 кг молока.

Ключові слова: кальцій хлорид, згусток, пастеризація, синерезис, пробіотик, біфідогенний фактор.

Постановка проблеми. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, стан здоров'я населення має стійку тенденцію до погіршення. З огляду на це, у розвинених країнах впровадження здорового способу життя, яке передбачає молочне харчування, зведено до рангу державної політики. У сучасному уявленні про здорове харчування особлива роль належить продуктам пробіотичного призначення. Це продукти, які отримані з природних інгредієнтів, містять велику кількість біологічно активних речовин, можуть і повинні входити до щоденного раціону харчування людини, при вживанні повинні регулювати певні процеси в організмі: стимулювати імунні реакції, попереджувати розвиток захворювань, передчасне старіння, інакше кажучи, призначені покращити здоров'я споживача та зменшити ризик захворювань [1, с. 8; 2, с. 12-13].

На ринку України представлений досить широкий асортимент кисломолочних напоїв пробіотичного призначення. Однак білкові молочні продукти, зокрема біфідовмісні сири, які, окрім високого вмісту одного з найцінніших компонен-

тів молока – білка, містять (в оптимальному для засвоєння організмом людини співвідношенні) мінеральні речовини, зокрема кальцій і фосфор, та високу концентрацію життєздатних клітин біфідо- й лактобактерій, практично відсутні на споживчому ринку країни [3, с. 12].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Серед сирів особливе місце займають м'які сири. Перевагами їх виробництва є ефективне використання сировини; можливість реалізації сиру без визрівання або з коротким терміном визрівання (не більше 14 діб); високі органолептичні показники; високі харчова та біологічна цінність; швидка оборотність капіталовкладень. Аналіз економічних і технологічних особливостей виробництва сирів різних груп (твердих, напівтвердих і м'яких) свідчить про актуальність та перспективність виробництва м'яких сирів в Україні. За даними *Euromonitor International*, частка м'яких сирів на ринку 26 країн, які виробляють 80% від світового виробництва сирів, складає 38%. На споживчому ринку нашої країни цей сегмент представлений сирами, які експортують із країн

Західної Європи. М'які сири з пробіотичними властивостями на ринку України та країн СНД не представлені [2, с. 14-15].

Одним із нормованих показників якості готового м'якого сиру є масова частка вологи, яка залежить від синеретичних властивостей згустку [4, с. 94].

Під час виготовлення м'яких сичужних сирів після перетворення молока в гель і утворення згустку за допомогою молокозсідальних ферментів отриманий коагулят піддають різним видам оброблення з метою відділення сироватки. Молочні гелі, що утворилися під дією молокозсідальних ферментів, цілком стабільні, якщо залишаються неушкодженими, але якщо їх піддають зовнішньому тиску або розрізають і руйнують, параказеїновий матрикс трансформується і в результаті взаємодій між білками стискається, відокремлюючи водну фазу гелю – сироватку. Синерезис необхідно контролювати, оскільки це дозволяє сировару регулювати вміст вологи в сири. Цей показник значно впливає на якість сиру, його текстуру і смак. Тому чим вища масова частка вологи, тим швидше відбувається визрівання сиру і тим менш стабільним буде продукт [4, с. 99; 5, с. 34].

Синерезис посилюється при розрізанні і руйнуванні згустку, при підвищенні кислотності в результаті дії закваски, при нагріванні, перемішуванні суміші сирного зерна і сироватки, пресуванні і солінні сирного зерна. Склад молока також впливає на синерезис, наприклад, збільшення масової частки жиру зменшує інтенсивність синерезису, підвищення вмісту казеїну підсилює цей процес. Методи, які використовуються для вимірювання синерезису, містять вимірювання ступеня усадки згустку, визначення кількості виділеної сироватки, визначення вмісту сухої речовини або щільності згустку [5, с. 35; 6, с. 85].

Постановка завдання. Метою роботи стало встановлення раціональної концентрації кальцій хлориду для виробництва м'яких пробіотичних сирів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Пастеризацію нормалізованого молока для виробництва м'яких сирів із пробіотичними властивостями здійснювали за такими режимами:

- контроль – $t=(80\pm 1)^\circ\text{C}$; $\tau=(20\dots 25)$ сек.
- зразок № 1 – $t=(80\pm 1)^\circ\text{C}$; $\tau=(2\dots 3)$ хв.;
- зразок № 2 – $t=(85\pm 1)^\circ\text{C}$; $\tau=(2\dots 3)$ хв.;
- зразок № 3 – $t=(90\pm 1)^\circ\text{C}$; $\tau=(2\dots 3)$ хв.;

Пастеризоване молоко охолоджували до температури зсідання (контроль – $(32 \pm 1)^\circ\text{C}$, дослідні зразки – $(37 \pm 1)^\circ\text{C}$), вносили розчин кальцій хло-

риду і молокозсідального ферменту і визначали тривалість сичужного зсідання молока, синеретичні властивості сичужних згустків і склад сироватки. Масову частку кальцій хлориду при постійній масовій частці молокозсідального ферменту (СНУ-max Extra 600 ІМСU) в молоці ($2,2$ г/100 кг молока) змінювали в межах ($25\dots 50$) г на 100 кг молока (з інтервалом 5 г).

Для визначення синеретичних властивостей отримані згустки об'ємом 100 см^3 разом із сироваткою, яка виділилася на поверхні, розрізали і поміщали на паперовий фільтр, визначаючи об'єм виділеної сироватки через кожні 10 хвилин протягом години. Результати досліджень наведені на рис. 1.

Як свідчать наведені дані (рис. 1), використання високотемпературної пастеризації погіршує синеретичні властивості сичужних згустків. Це пояснюється тим, що при використанні високотемпературної пастеризації (температура $(80\dots 90)^\circ\text{C}$) денатурують сироваткові білки і приєднуються дисульфідними зв'язками до міцел казеїну, що погіршує здатність останніх до утворення сичужного згустку. Однак унесення підвищеної масової частки кальцій хлориду ($40\dots 50$ г/100 кг) в пастеризоване молоко сприяє поліпшенню процесу синерезису за рахунок збільшення «доступного для гелеутворення» іонного кальцію, що в подальшому буде позитивно позначатися на самопресуванні м'яких сирів і забезпечить отримання необхідної масової частки вологи в них.

Результати досліджень впливу масової частки кальцій хлориду на тривалість сичужного зсідання молока, пастеризованого при досліджуваних режимах, а також на склад отриманої сироватки наведені на рис. 2.

Використання температури пастеризації молока $(85\dots 90)^\circ\text{C}$ сприяє подовженню процесу сичужного зсідання молока (рис. 2, а) за рахунок переходу частини іонного кальцію в колоїдний стан. Однак під час використання традиційного режиму пастеризації молока у виробництві м'яких сирів ($t = (80\pm 1)^\circ\text{C}$; $\tau = (20\dots 25)$ сек), у ньому можуть залишатися ферменти ліпаза і пероксидаза, які ініціюють процеси ліполізу і окиснення жиру при зберіганні продукту, а також залишкова спороутворююча і аспорогенна мікрофлора, зокрема термофільна паличка, яка може призводити до порушення процесу визрівання м'якого сиру і виникнення вад готового продукту. Крім того, у традиційному режимі сироваткові білки практично повністю переходять у сироватку, тоді як при використанні високотемпературної пасте-

ється ефективність пастеризації 98,70–99,30% і 98,34–99,03% відповідно [7, с. 264]. Тому з огляду на забезпечення необхідних показників безпечності м'яких пробіотичних сирів доцільно застосовувати другий або третій режим пастеризації.

Тривалість сичужного зсідання молока при виробництві свіжих м'яких сирів повинна складати не менше (60 ± 5) хв [8, с. 406; 9, с. 30]. Така тривалість процесу відзначається при внесенні кальцій хлориду в молоко в кількості (35...45)

г/100 кг (рис. 2, а). Отже, для забезпечення нормованого значення досліджуваного показника при виробництві м'яких сичужних сирів із пробіотичними властивостями важливим є використання підвищеної масової частки кальцій хлориду.

Про перехід сироваткових білків до сичужного згустку свідчить зниження масової частки білків (і масової частки сухих речовин) у сироватці (рис. 2, б, в). При підвищенні температури пастеризації молока від 80 до 85°C масова частка білків

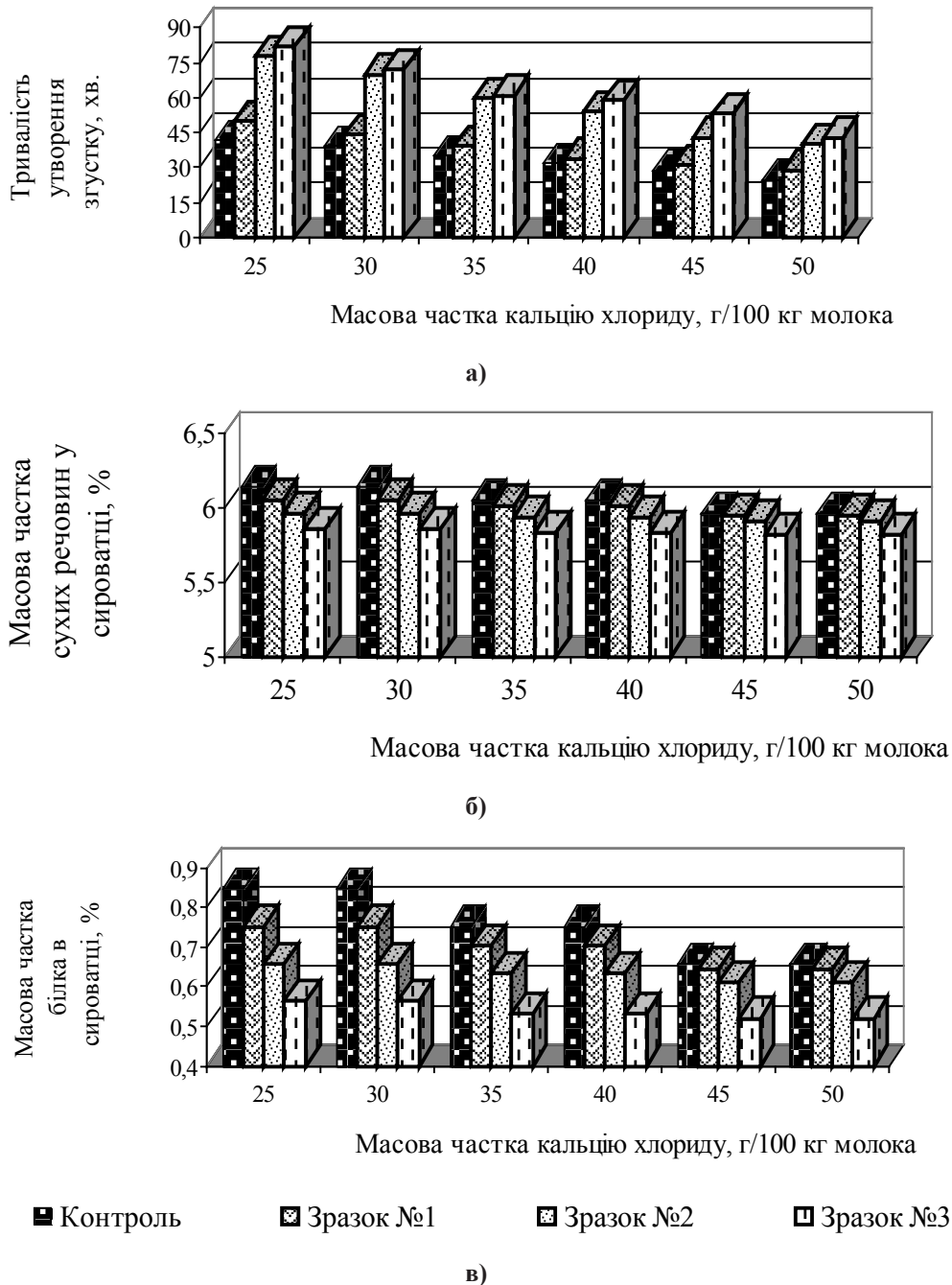


Рис. 2. Залежність тривалості утворення сичужного згустку (а), масової частки сухих речовин (б) і білка (в) в сироватці від режиму пастеризації молока і масової частки кальцій хлориду

у сироватці знижується приблизно на 0,10%, при подальшому її підвищенні до 90°C – ще на 0,09% (рис. 2, в). Збільшення масової частки кальцій хлориду в молоці також сприяє зниженню масової частки білків у сироватці: при збільшенні вмісту CaCl_2 з (25...30) до (35...40) г/100 кг масова частка білків в експериментальних зразках сироватки знижується на (0,03 ... 0,05)%, в контрольному – на 0,09%; при подальшому його збільшенні

з (35...40) до (45...50) г/100 кг – на (0,01...0,05) і 0,10%, відповідно. Аналогічно спостерігаємо зниження масової частки сухих речовин у сироватці (рис. 2, б).

Висновки. Отже, для виробництва м'яких пробіотичних сирів доцільно використовувати підвищену температуру пастеризації молока – $(85 \pm 1)^\circ\text{C}$ із витримкою 2...3 хв. і підвищену масову частку кальцій хлориду – 40...45 г/100 кг молока.

Список літератури:

1. Майоров А.А., Сурай Н.М. Проблемы классификации сыров в товароведении. Сыроделие и маслоделие. 2015. № 5. С. 8–9.
2. Раманаускас Р. Классификация сыров. Сыроделие и маслоделие. 2011. № 6. С. 12–16.
3. Дремарецкая Г.М. Сыр. Молочное дело. 2012. № 1–2. С. 11–13.
4. Гудков А.В. Сыроделие: технологические, биологические и физико-химические аспекты. Москва, 2004. 804 с.
5. Диланян З.Х. Сыроделие. Москва, 1984. 280 с.
6. Николаев А.М. Технология сыра. Москва, 1985. 327 с.
7. Степаненко П.П. Микробиология молока и молочных продуктов. Москва, 1999. 415 с.
8. Кузнецов В.В. Справочник технолога молочного производства. Технология и рецептуры. Т. 3. Сыры / под общей ред. Г.Г. Шилера. Санкт-Петербург, 2003. 512 с.
9. Шергина И.А. Особенности производства мягких сыров. Переработка молока. 2009. № 2. С. 30–31.

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ КАЛЬЦИЯ ХЛОРИДА В ТЕХНОЛОГИИ МЯГКИХ ПРОБИОТИЧЕСКИХ СЫРОВ

В работе приведены результаты экспериментальных исследований по определению рациональной концентрации кальция хлорида в технологии мягких пробиотических сыров в зависимости от режима пастеризации молока, синергетических свойств и продолжительности образования сычужных сгустков, содержания сухих веществ и белка в сыворотке. Увеличение концентрации ионов кальция в молоке способствует синерезису, который предназначенный для производства сыров, целенаправленно повышает содержание кальция путем внесения кальция хлорида, что усиливает синерезис. Однако действие внесенного кальция хлорида на синерезис может быть и отрицательным при определенных значениях рН и при высокой дозировке, особенно в случае длительной выдержки сгустка перед разрезанием. Установлено, что для производства мягких пробиотических сыров целесообразно использовать повышенную температуру пастеризации молока – $(85 \pm 1)^\circ\text{C}$ с выдержкой 2...3 мин. и повышенную массовую долю кальция хлорида – 40...45 г/100 кг молока.

Ключевые слова: кальция хлорид, сгусток, пастеризация, синерезис, пробиотик, бифидогенный фактор.

THE JUSTIFICATION OF THE RATIONAL CONCENTRATION OF CALCIUM CHLORIDE IN THE TECHNOLOGY OF SOFT PROBIOTIC CHEESES

The paper presents the results of experimental studies on the determination of rational concentration of calcium chloride in the technology of soft probiotic cheeses in dependence on a milk pasteurization regime, synergetic properties, duration of sticky puddings formation and on a level of dry substance and protein in the serum. An increase of calcium ions concentration in milk contributes to syneresis, though the calcium level is purposefully increased with adding calcium chloride, which amplifies the syneresis, in milk which is intended for a cheese production. However the action of calcium chloride may be negative to the syneresis at a certain pH level and at high dosages, especially in the case of a prolonged exposure of a clot before cutting. It was proven that for a soft probiotic cheeses production it is expedient to use an temperature increase of milk pasteurization – $(85 \pm 1)^\circ\text{C}$ with an excerpt of 2...3 minutes and an increased mass fraction of calcium chloride – 40...45 g/100 kg of milk.

Key words: calcium chloride, clot, pasteurization, syneresis, probiotic, bifidogenic factor.

Шульга О.С.

Національний університет харчових технологій

Шульга С.І.

Національний університет харчових технологій

БІОДЕГРАДАБЕЛЬНА ЇСТІВНА ПЛІВКА ТА ПОКРИТТЯ ЯК СПОСІБ ВНЕСЕННЯ ВІТАМІНІВ У КОНДИТЕРСЬКІ ТА ХЛІБОБУЛОЧНІ ВИРОБИ

У статті представлено результати експериментальних досліджень щодо внесення нетермостабільних вітамінів С та F, а також фруктово-овочевих порошків за допомогою біодеградабельного їстівного покриття або плівки. Установлено, що додавання фруктово-овочевих порошків позитивно впливає на органолептичні показники виробів за рахунок надання їм природного кольору. Визначено, що використання вітаміну С зменшує показник паропроникності з 6,3 до 4,5 мг/м·год·кПа. Фруктово-овочеві порошки збільшують паропроникність із 4,7 до 7,4 мг/м·год·кПа. Крім того, зазначений спосіб унесення вітаміну С та F дозволяє зберегти їх у кількості 75-80% та 67% відповідно у готовому продукті.

Ключові слова: біодеградабельна їстівна плівка та покриття, вітамін С, F, фруктово-овочеві порошки, паропроникність, ІЧ-спектри, хроматограми.

Постановка проблеми. Кондитерські та хлібобулочні вироби в обмеженій кількості містять вітамін С, йод, пробіотичні культури, тобто речовини, які за температурного оброблення руйнуються. Тому збагачення виробів, які проходять температурне оброблення під час виготовлення зазначеними речовинами, можливе лише після їх виготовлення та охолодження. Їстівне покриття наноситься на поверхню виробів після охолодження; оскільки, біодеградабельне покриття є їстівним, то його можливо збагачувати нетермостійкими біологічно цінними у харчуванні людини речовинами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нове покоління їстівних плівок та покриттів спеціально розроблене для збільшення їх функціональності шляхом включення природних чи синтетичних протимікробних агентів, антиоксидантів, ферментів або функціональних інгредієнтів, таких як пробіотики, мінерали та вітаміни [1-4]. Варто зазначити, що більшість антимікробних сполук мають антиоксидантні властивості. Натуральні антиоксиданти (фенольні сполуки, вітаміни Е і С) замість синтетичних антиоксидантів, широко використовуються в їстівних плівках. Наприклад, лимонна та аскорбінова кислоти були включені в харчові покриття на основі метилце-

люлози для контролю проникності кисню і зменшення втрат вітаміну С у абрикосах під час зберігання [5]. Доцільно включати антиоксиданти до складу плівок, які використовуються для смажених продуктів із метою подовження їх терміна придатності [6]. Покриття з ксантанової камеді, змішані з вітаміном Е, підвищили споживні властивості та покращили поверхневий колір очищеної моркви [7]. Розвиток харчових зміцнених їстівних плівок та покриттів залежить від типу плівкоутворювальних матеріалів, а також концентрації харчових добавок, доданих до плівкоутворюючих розчинів [8]. Нутрицевтичні речовини (кальцій, цинк або вітамін Е) включені в матрицю з хітозаном, забезпечують альтернативні способи збереження свіжих фруктів та овочів [9].

Постановка завдання. Дослідити вплив вітаміну С, F та фруктово-овочевих порошків на властивості біодеградабельних їстівних плівок та покриттів, а також їх збереження.

Виклад основного матеріалу досліджень. Сьогодні існує значна кількість робіт, присвячених збагаченню різних груп харчових продуктів рослинною сировиною у вигляді порошків [10; 11].

Наші дослідження показали, що введення до складу рецептури кондитерських виробів фруктового порошку є доцільним [12; 13].

Проте використання порошків у складі кондитерського продукту під час технологічного процесу призводить до руйнування частини корисних речовин фруктово-овочевих порошків [14; 15], тому необхідним є інший спосіб введення порошків до складу продуктів.

У роботі було використано такі види фруктово-овочевих порошків: чорничний, лимонний, соку ананаса, персиковий, соку лайма, соку лимона, полуничний, шпинату, апельсина, томатний. Обраний перелік зумовлений їх новизною та розширенням асортименту як кондитерських, так і хлібобулочних виробів.

Зазначені порошки є джерелом вітаміну С, мінеральних речовин, харчових волокон. Сьогодні фруктово-овочеві порошки отримують шляхом низькотемпературного сушіння, тому вводити їх до складу продукту, який під час виготовлення зазнає дії високих температур є недоцільним [16].

Вплив фруктово-овочевих порошків на органолептичні показники їстівного покриття або плівки, які виготовлені з крохмалю, желатину, карбаміду, лляної олії та води, такий: за умови додавання порошку більше 10% їстівне покриття або плівка набуває інтенсивного забарвлення залежно від доданого виду порошку. Для деяких видів порошку (чорничний, шпинатний та томатний) доцільним є зменшення концентрації порошку в складі їстівного покриття або плівки через надто інтенсивне забарвлення, що не завжди буде доречним. Крім того, порошки, що мають кислий смак, (лимонний, соку лайма та лимону) за такої концентрації в їстівному покритті надають занадто кислого смаку виробам, на які нанесено їстівне покриття.

Крім визначення впливу на органолептичні показники, необхідним є визначення впливу порошку на показник паропроникності. Резуль-

тати дослідження наведено на рис. 1.

Відповідно до отриманих результатів (див. рис. 1), додавання порошку збільшує показник паропроникності. Збільшення показника не залежить від виду доданого порошку, оскільки різниця у $\pm 0,5$ мг/м·год·кПа лежить у межах похибки експерименту. Збільшення паропроникності можна пояснити тим, що порошки у своєму складі містять водонерозчинні складники (клітковина, пектин), які порушують цілісність матриці їстівної плівки на основі крохмалю та желатину.

Отже, додавання фруктового або овочевого порошку дозволить розширити асортимент їстівних покриттів та плівок, а також збагатити вироби біологічно цінними складовими частинами порошку. Проте кількість порошку необхідно обмежити до 3-5%, щоб уникнути збільшення показника паропроникності.

Доцільним також є введення до складу плівки вітаміну С, який, як відомо [17], під час теплового оброблення руйнується на 25-60% [18]. Джерелом вітаміну С є свіжі овочі та фрукти, особливо цитрусові, квашена капуста [19] та картопля за умови правильного її приготування. Необхідність споживання вітаміну С, особливо в зимовий період, не вимагає доказу. Отже, необхідний спосіб введення до складу харчових продуктів, особливо продуктів щоденного споживання, вітаміну С, який би дозволяв не інактивувати вітамін С у процесі виробництва.

Доцільним є нанесення формувального розчину їстівного покриття або плівки за температури не більше 40°C. Такий температурний режим дозволяє зберегти вітамін С на рівні 75-80%, що за умови введення вітаміну С у кількості 0,5%, забезпечує добову потребу на 45% у разі споживання 100 г помадних цукерок, 100% – для мармеладних виробів, 100% – пряникових виробів

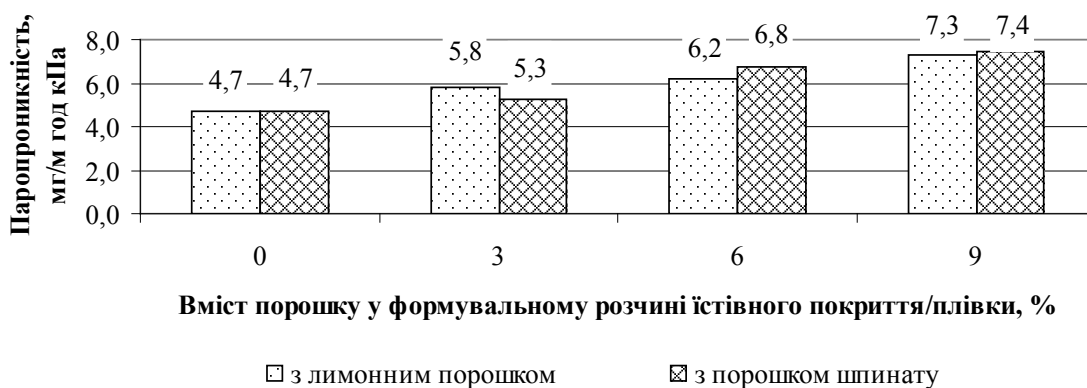


Рис. 1. Вплив фруктового або овочевого порошку на показник паропроникності їстівної плівки

та 70% – хлібних виробів, враховуючи добову потребу у вітаміні С 70 мг/добу для жінок та 80 мг/добу для чоловіків згідно з Наказом № 1073 МОЗ України від 03.09.2017 р. «Норми фізіологічних потреб населення України в основних харчових речовинах і енергії».

Отже, біодеградабельна істівна плівка або покриття є дієвим способом внесення вітаміну С до складу харчового продукту.

Оскільки домінуючим фактором використання істівного покриття є збереження свіжості виробів, то необхідно визначити вплив вітаміну С на зміну показника паропроникності, що наведено на рис. 2.

Результати дослідження (див. рис. 2) показують, що вплив вітаміну С залежить від його концентрації. За концентрації вітаміну С 0,1% показник паропроникності збільшується з 4,7 до 6,3

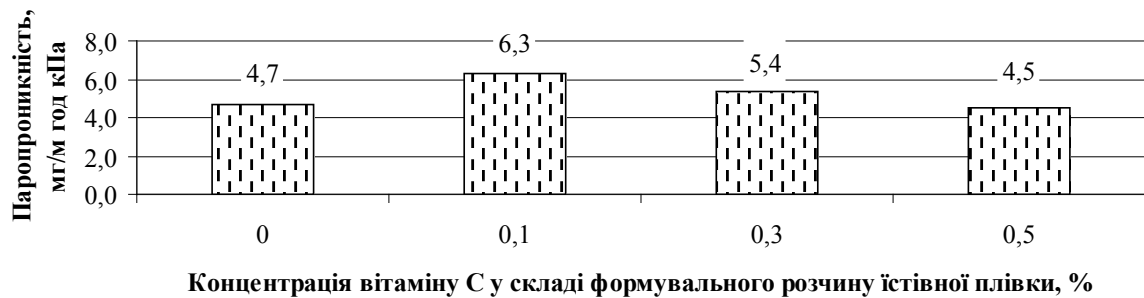


Рис. 2. Вплив концентрації вітаміну С на показник паропроникності

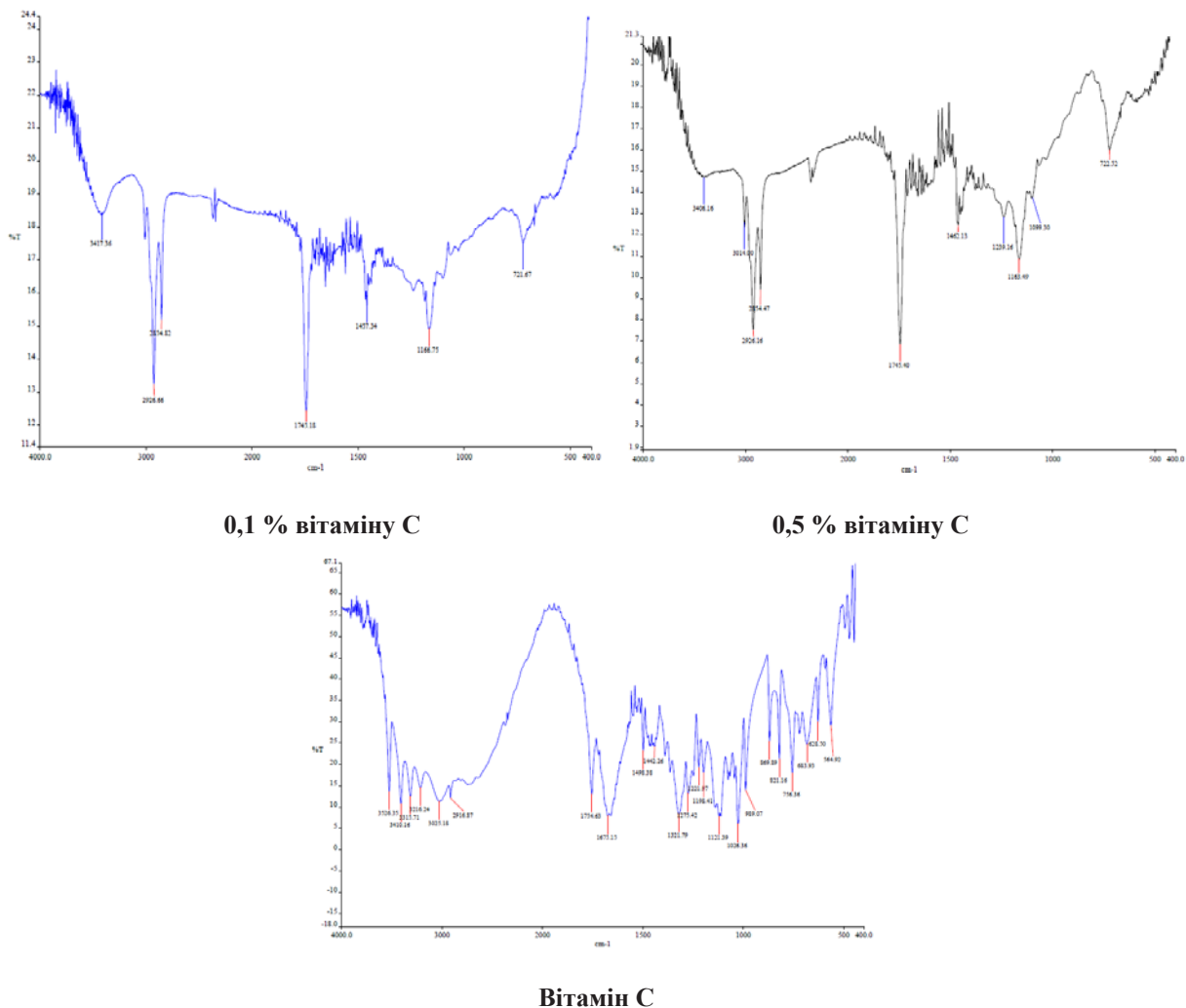


Рис. 3. ІЧ-спектри істівних плівок з різним вмістом вітаміну С та вітаміну С

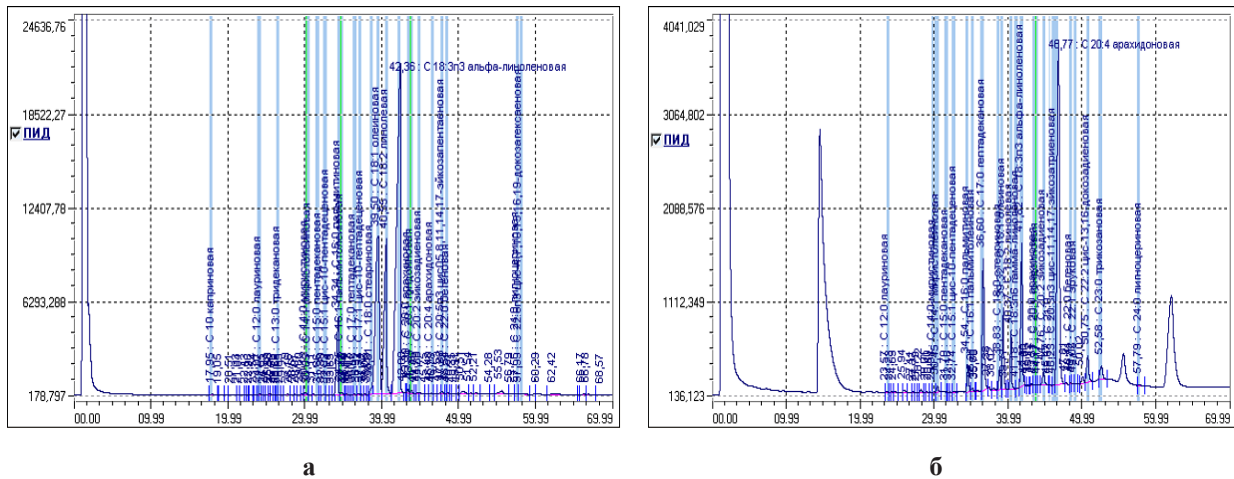


Рис. 4. Хроматограми лляної олії та екстракту з істівної плівки:
а – лляна олія; б – екстракт лляної олії з істівної плівки

6,3 мг/м·год·кПа, тоді як за концентрації вітаміну С 0,5% показник зменшується до 4,5 мг/м·год·кПа. Наведену закономірність можна пояснити здатністю вітаміну С утворювати водневі зв'язки, оскільки до його складу входить чотири гідроксильні групи. Достовірність припущення можна підтвердити за допомогою функціонального аналізу – ІЧ-спектроскопії.

Результати ІЧ-спектроскопії плівок із різним вмістом вітаміну С наведено на рис. 3.

В ІЧ-спектрі плівки з 0,5% (див. рис. 3) смуга ν_{OH} дуже широка, малоінтенсивна і лежить при 3406,16 cm^{-1} , а в спектрі плівки з вмістом вітаміну С 0,1% смуга валентних коливань є більш вузькою та більш інтенсивною і лежить при 3417,36 cm^{-1} . Отже, зі збільшенням кількості вітаміну С кількість водневих зв'язків збільшується, що і змінює характер смуги валентних коливань ν_{OH} і призводить до зміцнення матриці плівки та, як наслідок, сприяє зниженню показника паропроникності.

Наведена кількість вітаміну С не впливає на смакові властивості істівного покриття або плівки, що є важливим, оскільки не змінюватиме звичний смак традиційних продуктів.

Поліненасичені жирні кислоти (лінолева, ліноленова та арахідонова) складають вітамін F, інша назва цього вітаміну – антихолестериновий – назва, яка сама за себе говорить. На жаль, добова норма споживання цього вітаміну не закріплена в Наказі № 272 МОЗ України від 18.11.1999 р. «Норми фізіологічних потреб населення України в основних харчових речовинах і енергії», проте існують різні рекомендації щодо добового його споживання, наприклад, 1 мг на добу [20].

Із точки зору фортифікації виробів вітаміном F кількість лляної олії повинна бути якнайбіль-

шою, проте додавання олії більше 5% ускладнює її емульгування під час приготування формувального розчину істівного покриття або плівки, утворене істівне покриття/плівка стає «жирним» на дотик. Крім того, збільшення концентрації лляної олії більше 5% не сприяє активному зменшенню показника паропроникності, що також узгоджується з літературними даними [21].

Важливим також є ступінь збереження поліненасичених жирних кислот лляної олії (вітаміну F), яку можна перевірити за допомогою хроматографічного методу або за йодним числом, яке характеризує ступінь ненасиченості жиру, і в разі руйнування лінолевої, ліноленової та арахідонової кислот (вітаміну F) йодне число буде зменшуватися. Отримані результати підтверджують значну частку (67%) збереження поліненасичених жирних кислот у складі істівного покриття/плівки, $\gamma_{J_2/100}$ г: 180 у лляній олії, що додається в плівку, 165 – у плівці після виготовлення і 120 – на кінець зберігання.

Хроматограми лляної олії та лляної олії екстрагованої з істівної плівки наведено на рис. 4. Повний жирнокислотний склад лляної олії та олії екстрагованої з істівного покриття/плівки визначений за допомогою хроматографічного аналізу.

Аналіз наведених хроматограм (див. рис. 4) показав, що лляна олія містить 90,60% ненасичених жирних кислот. До складу екстракту входить 77,56% ненасичених жирних кислот. Отже, втрати становлять 13,04%, що дозволяє рекомендувати істівне покриття або плівку дієвим засобом для фортифікації продуктів вітаміном F.

Висновки. Установлено, що додавання фруктових порошків позитивно впливає на органолептичні показники виробів за раху-

нок надання їм природного кольору. Дозування порошку повинно становити 3-5% для того, щоб уникнути збільшення показника паропроникності.

Установлено, що вітамін С зменшує показник паропроникності з 6,3 до 4,5 мг/м·год·кПа. Фрук-

тово-овочеві порошки збільшують паропроникність із 4,7 до 7,4 мг/м·год·кПа. Крім того, зазначений спосіб внесення вітаміну С та F дозволяє зберегти їх у кількості 75-80% та 67% відповідно у готовому продукті.

Список літератури:

1. Effect of murta (*Ugni molinae* Turcz) extract on gas and water vapor permeability of carboxymethylcellulose-based edible films [Text]. *LWT-Food Science and Technology*. 2007. Vol. 40. P. 1473-1481.
2. Lin D. Innovations in the development and application of edible coatings for fresh and minimally processed fruits and vegetables [Text]. *Comp. Rev. Food Sci. Food Safety*. 2007. Vol. 6. P. 60-75.
3. Recent advances in edible coatings for fresh and minimally processed fruits [Text] / M. Vargas [et al.]. *Rev. Food Sci.* 2008. Vol. 48. P. 496-511.
4. Janjarasskul T. Edible packaging materials [Text]. *Annual Review of Food Science and Technology*. 2010. Vol. 1. P. 415-448.
5. Ayranci E. Cellulose-based edible films and their effects on fresh beans and strawberries [Text]. *Z. Lebensm. Unters. Forsch. A*. 1997. Vol. 205. P. 470-473.
6. Edible films and coatings: structures, active functions and trends in their use [Text] / V. Falguera [et al.]. *Trends in Food Science & Technology*. 2011. Vol. 22(6). P. 292-303.
7. Using edible coating to enhance nutritional and sensory qualities of baby carrots [Text] / Y. Mei [et al.]. *Journal of Food Science*. 2002. Vol. 67. P. 1964-1968.
8. Park S. I. Incorporation of a high concentration of mineral or vitamin into-chitosan-based films [Text]. *Agr. Food Chem.* 2004. Vol. 52. P. 1933-1939.
9. Weaver C.M., Heane R.P. In *Modern Nutrition in Health and Disease* [Text]. Philadelphia Lippincott Williams & Wilkins. 1998. P. 141-155.
10. Использование и получение фруктовых и овощных добавок в производстве мучных, кондитерских и хлебобулочных изделий [Текст] / И.В. Иванова [и др.]. *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК-продукты здорового питания*. 2016. № 1(9). С. 43-47.
11. Перфилова О.В., Митрохин М.А. Использование порошков из плодоовощных выжимок с целью расширения ассортимента мучных кондитерских изделий [Текст]. *Достижения науки и техники АПК*. 2008. № 8. С. 48-50.
12. Шульга О.С., Каменчук Т.В. Яблучний порошок як добавка для підвищення харчової цінності карамелі [Текст]. *Ukrainian food journal*. 2012. №2. С. 59-61.
13. Шульга О.С., Каменчук Т.В. Цукрове печиво з яблучним порошком [Текст]. 78 Міжнародна наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті», 2-3 квітня 2012. Київ: НУХТ, 2012. Ч. 1. С. 107-108.
14. Sablani S. S. Drying of fruits and vegetables: retention of nutritional/functional quality [Text]. *Drying technology*. 2006. Vol. 24. № 2. P. 123-135.
15. Devahastin S. Invited review: modelling quality changes of fruits and vegetables during drying: a review [Text]. *International Journal of Food Science & Technology*. 2010. Vol. 45. № 9. P. 1755-1767.
16. Jiang H. Fruit and vegetable powders [Text]. *Handbook of Food Powders: Processes and Properties*. 2013. P. 532-552.
17. Пищевая химия [Текст] / А. П. Нечаев, С. Е. Траубенберг, А. А. Кочетова и др.; под ред. А. П. Нечаева. [2-е изд.]. Санкт-Петербург: ГИОРД, 2003. 632 с.
18. Leong S.Y., Oey I. Effect of endogenous ascorbic acid oxidase activity and stability on vitamin C in carrots (*Daucus carota* subsp. *sativus*) during thermal treatment [Text]. *Food chemistry*. 2012. Vol. 134. № 4. P. 2075-2085.
19. Где много витамина С? URL: <http://blogozdorovie.ru/gde-mnogo-vitamina-c/>. Назва з екрану.
20. Какие жирные кислоты включает в себя витамин F/ URL: <http://okvitamin.org/vitaminy-i-mineraly/kakie-zhirnye-kisloty-vklyuchaet-v-sebya-vitamin-f.html>. Назва з екрану.
21. Garcia M.A., Martino M.N., Zaritzky N.E. Lipid addition to improve barrier properties of edible starch-based films and coatings [Text]. *Journal of food science*. 2000. Vol. 65. № 6. P. 941-944.

БИОДЕГРАДАБЕЛЬНЫЕ СЪЕДОБНЫЕ ПЛЕНКИ И ПОКРЫТИЯ КАК СПОСОБ ВНЕСЕНИЯ ВИТАМИНОВ В КОНДИТЕРСКИЕ И ХЛЕБОБУЛОЧНЫЕ ИЗДЕЛИЯ

В статье представлены результаты экспериментальных исследований по внесению нетермостабильных витаминов С и F, а также фруктово-овощных порошков с помощью биоразлагаемого съедобного покрытия или пленки. Установлено, что добавление фруктово-овощных порошков положительно влияет на органолептические показатели изделий за счет придания им естественного цвета. Определено, что использование витамина С уменьшает показатель паропрооницаемости с 6,3 до 4,5 мг/м·ч·кПа. Фруктово-овощные порошки увеличивают паропрооницаемость с 4,7 до 7,4 мг/м·ч·кПа. Кроме того, указанный способ внесения витаминов С и F позволяет сохранить их в количестве 75-80% и 67% соответственно в готовом продукте.

Ключевые слова: биоразлагаемые съедобная пленка и покрытия, витамин С, F, фруктово-овощные порошки, паропрооницаемость, ИК-спектры, хроматограммы.

BIODEGRADABLE EDIBLE FILMS AND COATINGS AS A METHOD OF INTRODUCING VITAMINS IN CONFECTIONERY AND BAKERY PRODUCTS

The article presents the experimental results studies on the introduction of non-thermostable vitamins C and F, as well as fruit and vegetable powders with the help of biodegradable edible coatings or films. It was established that the fruit and vegetable powders addition positively affects the organoleptic characteristics of products by giving them a natural color. It has been determined that the vitamin C use reduces the vapor permeability index from 6.3 to 4.5 mg/m·h·kPa. Fruit and vegetable powders increase vapor permeability from 4.7 to 7.4 mg/m·h·kPa. In addition, the indicated method of adding vitamins C and F allows them to be saved in quantities of 75-80% and 67% respectively in the finished product.

Key words: biodegradable edible film and coating, vitamin C, F, fruit and vegetable powders, vapor permeability, infrared spectra, chromatogram.

ТРАНСПОРТ

УДК 656.1

Бойків М.В.

Національний університет «Львівська політехніка»

Житенко О.В.

Національний університет «Львівська політехніка»

Діхтяр О.В.

Національний університет «Львівська політехніка»

АНАЛІЗ ПРИЧИН ВИНИКНЕННЯ ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНИХ ПОДІЙ В УКРАЇНІ

У статті проведено аналіз кількості дорожньо-транспортних подій (ДТП) та їх наслідків за останні роки, а також наведена загальна характеристика рівня безпеки руху та аварійності на дорогах. Дослідження даної проблеми є актуальним, оскільки аналіз статистичних даних кількості ДТП свідчить про низький рівень безпеки руху та високу аварійність на автомобільних дорогах. Дана проблематика стосується всіх учасників дорожнього руху. Опрацювавши статистику ДТП за останні роки встановлено, що кількість та наслідки ДТП із кожним роком зростають, відповідно, рівень безпеки руху знижується. Таким чином, для підвищення безпеки руху необхідні такі заходи, як встановлення камер відеоспостережень на дорогах як у населених пунктах, так і поза ними, запровадження жорсткого контролю за швидкісним режимом та підвищення штрафів за порушення Правил дорожнього руху.

Ключові слова: дорожньо-транспортна подія (ДТП), безпека руху, аварійність, водій, швидкість руху.

Постановка проблеми. Однією з найважливіших економічних та соціальних проблем нашої держави є безпека дорожнього руху. Наслідки дорожньо-транспортних подій (ДТП) стосуються кожного учасника дорожнього руху, адже їхнє виникнення безпосередньо залежить від дотримання Правил дорожнього руху (ПДР). Швидке кількісне зростання автомобільного парку нашої країни та збільшення кількості ДТП потребують безперервного спостереження за динамікою аварійності та впровадження економічно обґрунтованих заходів із покращення організації та підвищення рівня безпеки дорожнього руху.

Обліку підлягають ДТП, вчинені хоча б одним рухомим транспортним засобом, що спричинили загибель або тілесні ушкодження людей, або пошкодження транспортних засобів, вантажів, шляхів, шляхових та інших споруд чи іншого майна. У державну статистичну звітність вклю-

чаються відомості органів внутрішніх справ про ДТП, що спричинили загибель або поранення людей, а також про розмір матеріальних збитків від них. У число загиблих при ДТП включаються люди, які померли від отриманих поранень на місці дорожньо-транспортної пригоди або протягом семи діб з моменту події.

Статистичні дані про аварійність переважані абсолютними показниками, які нерідко мають тенденцію до зниження. На основі цього роблять помилкові висновки про стан аварійності в державі, хоча питомі показники стану безпеки дорожнього руху мають негативну тенденцію. Щоб отримати об'єктивну картину безпеки дорожнього руху в Україні, необхідно порівнювати питомі показники з аналогічними показниками за попередні періоди та із аналогічними показниками інших країн, які досягли найкращих результатів у забезпеченні безпеки дорожнього руху.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Аналіз статистики ДТП за останні роки показує, що ситуація з рівнем безпеки дорожнього руху має негативну тенденцію. Для зміни цієї тенденції необхідно вжити заходи, які поступово змінять дану ситуацію. Таким чином, науковці, керуючись статистичними даними про кількість та причини виникнення ДТП, пропонують альтернативні рішення та методи вирішення проблематики.

Так, під час аналізу причин виникнення ДТП і розробки заходів із підвищення дорожнього руху зазначається, що для зменшення аварійності в темну пору доби варто впроваджувати заходи, що забезпечують видимість дорожньої ситуації для кращого зорового сприйняття її учасниками дорожнього руху. Дослідники вважають, що однією з основних причин аварійності є порушення ПДР його учасниками, тому необхідно підвищувати їхню культуру поведінки. Оскільки найбільша кількість ДТП спостерігається у випадках перевищення безпечної швидкості, тому в населених пунктах можливо застосовувати засоби примусового зниження швидкості [1, с. 34–45].

Варто зазначити, що важливим чинником для безпеки дорожнього руху є стан проїзної частини. Одним із найбільших наслідків незадовільного стану проїзної частини автомобільної дороги є ймовірність виникнення ДТП. До основних причин, з яких виникають ДТП, можна віднести такі незадовільні умови руху: слизьке покриття, відсутність дорожньої розмітки, дорожніх знаків, огорожі, тротуарів, пішохідних доріжок, незадовільний стан покриття та узбіччя, недостатнє освітлення, конструктивні дефекти автомобільної дороги. Також погіршення стану проїзної частини значною мірою впливає на функціональний стан водія [2, с. 110]. З погіршенням функціонального стану водіїв відбувається зниження сенсорно-моторних реакцій, що впливає на час реакції водія і зосередження уваги. Це може призвести до прийняття водієм помилкових рішень щодо керування ТЗ.

Однією з найважливіших причин ДТП є втома водія. Відомо, що водій автомобіля під час керування одержує великий обсяг інформації про характер і режими руху. У процесі сприйняття інформації водій повинен не тільки знайти потрібну інформацію, але й переробити, провести аналіз та прийняти відповідне рішення. Цей процес значною мірою впливає на функціональний стан водія, а втома найчастіше виникає внаслідок емоційного напруження [3, с. 49].

Важливим фактором, що об'єктивно впливає на стан дорожньо-транспортної аварійності в кра-

їні, є чисельність автопарку, а також рівень автомобілізації. Встановлено, що кількість загиблих в ДТП пов'язано з кількістю зареєстрованих транспортних засобів і чисельністю населення. Показниками, що відображають зв'язок рівня автомобілізації та чисельності населення, є транспортний і соціальний ризику. Зростання рівня автомобілізації є характерною тенденцією як для районів, так і для міст України. Значний вплив на організацію руху на дорогах чинять регіональні фактори. Знайти і оцінити ступінь впливу регіональних факторів на безпеку дорожнього руху можливо шляхом дослідження динаміки аварійності і причин виникнення ДТП в регіонах країни [4, с. 432].

Параметри транспортного потоку мають значний вплив на аварійну ситуацію та рівень безпеки руху. Одним із основних параметрів транспортного потоку є швидкість руху. Неправильний вибір швидкісного режиму у конкретних умовах руху є основними чинниками, що впливають і на кількість, і на тяжкість ДТП. Експерти у сфері безпеки руху під час численних досліджень вивели залежність важких аварій та пригод зі смертельними наслідками у зв'язку зі зміною швидкості руху. Так, для прикладу перевищення встановленого ліміту їзди на 10% призводить до збільшення загальної кількості ДТП з постраждалими на 21%, до збільшення кількості тяжких аварій – на 33% і до збільшення пригод зі смертельними випадками – на 46%, що графічно наведено на рис. 1.

Надмірна швидкість руху автотранспорту є критичною та важливою проблемою дорожнього руху в Україні. Швидкість, з якою рухається автомобіль, впливає і на ризик виникнення ДТП, і на їх наслідки. Ризик виникнення ДТП обумовлений головним чином наявністю кореляції між

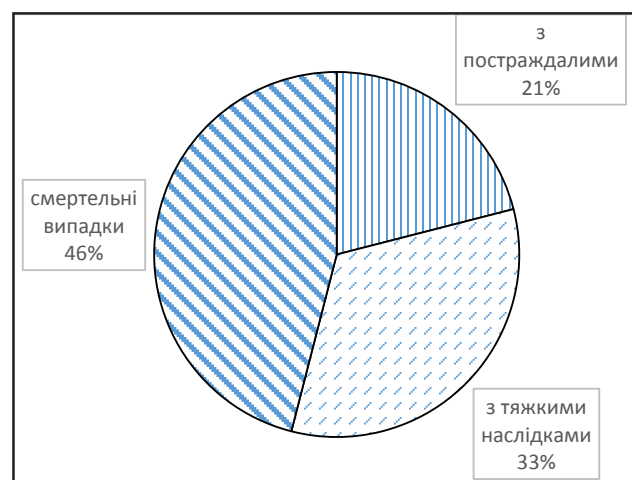


Рис. 1. Діаграма зміни кількості ДТП при збільшенні швидкості руху на 10%

швидкістю і довжиною гальмівного шляху. Таким чином, виникає закономірна залежність: чим вища швидкість руху автомобіля, тим менше у водія є часу, щоб зупинити авто і попередити ДТП, в тому числі й наїзд на пішохода. Дана залежність графічно наведена на рис. 2.

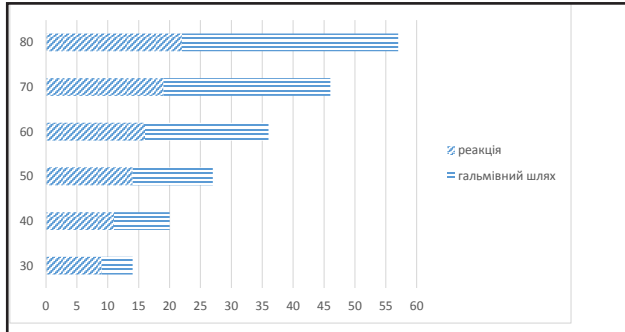


Рис. 2. Діаграма залежності реакції водія від гальмівного шляху в екстремних ситуаціях

Якщо взяти до уваги час, необхідний водієві, щоб відреагувати на надзвичайну ситуацію та натиснути на гальмо, то, зазвичай, автомобіль, що їде зі швидкістю 30 км/год, зможе зупинитися через 14 м, а якщо швидкість транспортного засобу становить 60 км/год, тоді автомобіль зупиниться тільки через 36 м [5, с. 39].

До основних параметрів транспортного потоку, крім швидкості руху, відноситься інтенсивність, пропускна здатність, коефіцієнт завантаження дорожнього руху та умови руху. Ці параметри взаємопов'язані між собою і здійснюють значний вплив на кількість та ймовірність виникнення ДТП. Під час наближення інтенсивності руху транспортних засобів до пропускної здатності елементів вулично-дорожньої мережі транспортний потік характеризується значною щільністю руху. Це призводить до зменшення інтервалів між транспортними засобами, а відповідно, ризик скоєння водіями ДТП зростає. Показником, що характеризує умови руху транспортного потоку, є



Рис. 3. Ймовірність виникнення ДТП за показниковим законом під час зміни коефіцієнта завантаження дороги рухом

коефіцієнт завантаження дороги рухом. Використовуючи показниковий закон розподілу випадкових величин, було визначено теоретичну ймовірність виникнення ДТП, яку графічно відображено на рис. 3.

Аналіз залежності ймовірності виникнення ДТП від коефіцієнту завантаження дороги рухом показує, що дані показники є прямопропорційні, а це означає, що під час збільшення коефіцієнту завантаження дороги рухом збільшується ймовірність виникнення ДТП. Так для прикладу, при коефіцієнту завантаження дороги рухом, який дорівнює 0,19, ймовірність виникнення ДТП становить 0,04. Отримана закономірність зміни ймовірності виникнення ДТП від коефіцієнту завантаження дороги рухом дозволяє визначити рівень аварійності на окремих елементах вулично-дорожньої мережі за різних умов руху [6, с. 4].

Постановка завдання. Метою статті є дослідження причин ДТП та рівня безпеки руху на автомобільних дорогах, що сформувався за останні роки на основі статистичних даних про ДТП. Аналіз цих чинників дасть можливість виявити основні завдання під час запровадження проектних рішень, що дадуть змогу зменшити кількість ДТП і підвищити безпеку дорожнього руху.

Виклад основного матеріалу дослідження. Аналізуючи дані Департаменту інформаційно-аналітичної підтримки Національної поліції України, слід зазначити, що в 2013 році ситуація з безпекою на дорогах гірша, аніж в аналогічний період 2014 року – зросла як кількість ДТП, так і кількість загиблих та травмованих в результаті аварій. Однак у 2015 році спостерігається позитивна тенденція щодо рівня безпеки та аварійності на автомобільних дорогах. Дана тенденція графічно зображена на рис. 4, яка показує, що у 2016 році відбувся спад позитивної динаміки виникнення ДТП, яка була у попередньому році. Зокрема, аналізуючи статистичні дані кількості ДТП та їх наслідки за останні 4 роки, спостері-

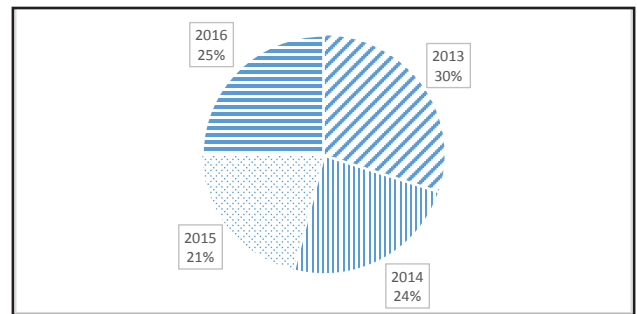


Рис. 4. Загальна кількість ДТП у відсотковому відношенні за досліджуваний період

гаємо, що за 2013 рік відбулося 30% від загальної кількості ДТП, у 2014 році цей показник дещо змінив свою тенденцію і становив 24%. У 2015 році даний показник становив 21%, а у 2016 році кількість ДТП становила 25% від загальної кількості.

Варто також зазначити, що ключовою причиною ДТП з потерпілими залишається перевищення водіями безпечної швидкості. Ще однією найчастішою причиною через, які відбуваються ДТП – порушення правил маневрування. Серед інших частих причин – порушення правил переїзду перехресть, недотримання водіями дистанції руху, керування автомобілем у нетверезому стані, порушення правил переїзду пішохідних переходів, виїзд на зустрічну смугу руху, а також перехід пішоходами дороги в заборонених місцях.

Аналіз статистичних даних вказує на те, що спостерігається негативна тенденція кількості ДТП та смертельних випадків. Це говорить про те, що необхідно терміново вживати заходи для їх протидії. Чинна влада відреагувала на цю проблематику на законодавчому рівні шляхом впровадження змін до Правил дорожнього руху. Постанова № 883 від 01.01.2018 року вказує про зменшення швидкості руху у межах населених пунктів з 60 км/год до 50 км/год. На сьогодні в більшості країн ЄС дозволена швидкість руху транспортних засобів в населених пунктах становить не більше 50 км/год. Таким чином, прийняття

нормативного документу дозволить наблизити національні стандарти до стандартів Європейського Союзу.

Одним із запропонованих рішень – встановити в максимально можливій кількості камери відеоспостережень на дорогах як у населених пунктах, так і поза ними. Камери фіксуватимуть правопорушення і відправлятимуть відомості про порушників на центральний диспетчерський пункт Національної поліції. Таким чином, впровадження даного рішення дозволить вдосконалити роботу працівників Національної поліції патрульно-постової служби.

Висновки. Безпека дорожнього руху – це загальнодержавне питання, яке повинно бути включене в національні інтереси нашої держави. Одним із найефективніших шляхів для досягнення зменшення кількості ДТП є визначення ділянок та місць концентрації ДТП із їх подальшим дослідженням і розробленням ефективних заходів із підвищення безпеки руху на них. Запровадження контролю за швидкісним режимом дозволить досягти зменшення кількості ДТП та їх важкості. Також підвищення штрафів за порушення ПДР здійснюватиме безпосередній вплив на учасників дорожнього руху. Такі рішення повинні стати рушійною силою для підвищення рівня організації дорожнього руху, рівня безпеки руху, зменшення наслідків ДТП, а також їхньої кількості.

Список літератури:

1. Єфименко Р.В., Попович Н.І., Беленчук О.В. Аналіз причин виникнення ДТП і розробка заходів із підвищення безпеки дорожнього руху. Науково-виробничий журнал. 2015. № 6. С. 34.
2. Поstrанський Т.М., Жук М.М. Дослідження впливу нерівностей проїзної частини на показники функціонального стану водія. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2015. № 4. С. 109.
3. Хворост М.В., Прасоленко О.В. Вплив факторів дорожнього руху на емоційний стан водія. Комунальне господарство міст. 2017. № 137. С. 49.
4. Поліщук В.П., Дмитрієвська К.В. До питання удосконалення методів оцінки рівня безпеки дорожнього руху. Наукові нотатки. 2014. № 45. С. 431–437.
5. Климчук А., Холопик О. Швидкість руху та безпека на дорогах. Комуникативна платформа. 2018. С. 38.
6. Доля В.К. Визначення закономірностей зміни ймовірності виникнення ДТП. Восточно-Європейський журнал передових технологій. 2012. № 59. С. 4.

АНАЛИЗ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОГО ПРОИСШЕСТВИЯ В УКРАИНЕ

В статье проведен анализ количества дорожно-транспортных происшествий (ДТП) и их последствий за последние годы, а также приведена общая характеристика уровня безопасности движения и аварийности на дорогах. Исследование данной проблемы является актуальным, поскольку анализ статистических данных количества ДТП свидетельствует о низком уровне безопасности движения и высокой аварийности на автомобильных дорогах. Данная проблематика касается всех участников дорожного движения. Обработав статистику ДТП за последние годы, установили, что количество и последствия ДТП с каждым годом растут, соответственно, уровень безопасности движения снижается. Таким образом, для повышения безопасности движения необходимы такие меры, как установление камер видеонаблюдений как на дорогах в населенных пунктах, так и вне их, введение жесткого контроля за скоростным режимом и повышение штрафов за нарушение Правил дорожного движения.

Ключевые слова: дорожно-транспортное происшествие (ДТП), безопасность движения, аварийность, водитель, скорость движения.

ANALYSIS OF CAUSES TRAFFIC ACCIDENTS IN UKRAINE

The number of traffic accidents and their consequences in recent years is analyzed in this article, as well as general description of the level of traffic safety and road accidents is given. The study of this problem is relevant, since the analysis of statistical data on the number of accidents indicates a low level of traffic safety and high accident rate on highways. This issue is concerned to all road users. Having worked out the statistics of an accident in recent years, it has been established that the number and consequences of accidents increase every year; respectively, accident rate is reduced. So, for increasing of traffic safety, following measures are needed the the installation of video surveillance cameras on the roads both in and out of settlements, implementation of strict control over high-speed mode, increase of fines for violation of the Rules of the traffic;

Key words: traffic accident, traffic safety, accident rate, driver, driving speed.

Братченко О.В.

Український державний університет залізничного транспорту

Громов В.І.

Український державний університет залізничного транспорту

ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ВИЗНАЧЕННЯ СТУПЕНІВ ЗНОСУ ТЯГОВИХ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ МОТОРВАГОННОГО РУХОМОГО СКЛАДУ

Показано, що зношування активних поверхонь зубців шестерень і коліс є основним фактором впливу на ресурс тягових зубчастих передач моторвагонного рухомого складу. Розглянуто сучасні підходи до експериментального визначення ступенів зносу шестерень і коліс в експлуатації, які передбачають контроль величини ділильних хорд. З метою забезпечення допустимої величини бокового зазору в передачі запропоновано в якості параметру контролю зносу зубців розглядати зміну їх товщини за постійними хордами. Приведені допустимі значення зміни таких параметрів, при яких забезпечуються прийнятні значення бокового зазору в зачепленні тягових зубчастих передач. Розглянуті особливості використання запропонованого підходу на прикладі тягової зубчастої передачі електропоїздів серії EP2.

Ключові слова: моторвагонний рухомий склад, тягова зубчаста передача, ступінь зносу, експериментальне визначення, зубці шестерень і коліс, ділильна хорда, постійна хорда, боковий зазор.

Постановка проблеми. Досягнення високого рівня техніко-економічних показників перевізного процесу мережею залізниць України нерозривно зв'язано з рішенням проблеми забезпечення надійності та довговічності основних модулів конструкції залізничного рухомого складу, до яких слід віднести тяговий привод в цілому та функціонуючу в його складі тягову зубчасту передачу (ТЗП) [1, с. 105]. У відповідності до нормативних документів, ресурс коліс і шестерень ТЗП, що встановлюються на новий тяговий рухомий склад, повинний бути не менш ніж 1800 тис. км. при імовірності безвідмовної роботи 0,95 (з дотриманням користувачем правил експлуатації та збереження) [2, с. 5]. У той же час досвід проведення ремонтів ТЗП засвідчив, що із причин досягнення граничних зносів зубців передчасно відбраковуються понад 90% шестерень і близько 60% коліс [3, с. 217]. Таким чином, зношування активних поверхонь зубців слід вважати основним фактором впливу на технічний ресурс тягових передач. Тому особливу роль відіграє експериментальне визначення в умовах локомотиворемонтних підприємств ступенів зносу профілів зубців ТЗП із метою оцінювання можливості їх подальшої експлуатації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Традиційні підходи та методи, що використовуються під час проведення відповідних ремонтів тягового рухомого складу [4, с. 69], передбачають вимірювання за допомогою кромкового штангензубоміру товщини зубців шестерні \bar{S}_{1E} та колеса \bar{S}_{2E} за ділильною хордою (заміряються відповідно на відстанях \bar{h}_1 і \bar{h}_2 від вершин, які встановлюються на вертикальній шкалі штангензубоміру). Поточні зноси шестерні Δ_1 і колеса Δ_2 визначаються як різниці товщини зубців за ділильною хордою нових шестерні \bar{S}_1 і колеса \bar{S}_2 та встановлених параметрів \bar{S}_{1E} і \bar{S}_{2E} . При цьому загальноприйнятою вимогою, яка дозволяє подальшу експлуатацію ТЗП є виконання умов $\Delta_1 \leq \Delta_{1max}$, $\Delta_2 \leq \Delta_{2max}$ (Δ_{1max} , Δ_{2max} – максимальні допустимі зноси зубців шестерні та колеса за ділильними хордами). Тобто ступінь зносу ТЗП оцінюється за величинами ступенів зносів шестерні Δ_1 і колеса Δ_2 . При цьому не контролюється величина бокового зазору в зачепленні зубців δ_θ (умова $\delta_\theta \leq \delta_{\theta max}$), величина якого суттєво впливає на кінематичні та динамічні характеристики ТЗП.

Разом із тим за результатами проведеного аналізу були встановлені випадки, коли під час дотримання вимог $\Delta_1 \leq \Delta_{1max}$ і $\Delta_2 \leq \Delta_{2max}$ умова $\delta_\theta \leq \delta_{\theta max}$ не виконувалась [5, с. 61]. Це визначило доцільність удосконалення технології експерименталь-

ного визначення ступенів зносу зубців шестерні та колеса ТЗП за параметрами, при яких забезпечується виконання вимоги $\delta_6 \leq \delta_{6max}$.

Постановка завдання. У статті наведено результати досліджень особливостей експериментального визначення зносу ТЗП, коли в якості контрольованих параметрів шестерні та колеса додатково розглядаються значення товщини їх зубців за величинами постійних хорд [3, с. 227].

Викладення основного матеріалу дослідження. У теоретичному плані постійна хорда зубчатого колеса дорівнює відстані між точками дотикання профілів зубців і бокових сторін зуборізної рейки при їх симетричному розташуванні відносно осі симетрії зубця (рис. 1) [6, с. 21]. За своєю суттю при однакових модулях зубців m і коефіцієнті зміщення x величина \bar{S}_C є постійною для зубчатих коліс з різними числами зубців.

При зовнішньому зачепленні зубців величина \bar{S}_C визначається за формулою

$$\bar{S}_C = (0,5\pi \cdot \cos^2 \alpha + x \cdot \sin 2\alpha) \cdot m, \quad (1)$$

де α – кут профілю вихідного контуру.

Відстань від \bar{S}_C до кола вершин, виміряна за прямою, проведеною через середину постійної хорди і перпендикулярно до неї визначається за формулою

$$\bar{h}_C = 0,5(d_a - d - \bar{S}_C \cdot \operatorname{tg} \alpha), \quad (2)$$

де d_a – діаметр кола вершин;
 d – ділительний діаметр.

Слід відмітити, що у відповідності до нормативних вимог з проектування ТЗП [3; 6, с. 20], величину постійної хорди зубців необхідно контролювати при їх виготовленні. Також рекомендується контролювати зміну її величини в експлуатації.

При цьому значення ступенів зносу профілів за постійними хордами Δ_{C1} і Δ_{C2} слід визначати як різницю параметрів \bar{S}_{C1} і \bar{S}_{C2} нових шестерні

та колеса, і величин \bar{S}_{C1E} і \bar{S}_{C2E} , заміряних на відстанях \bar{h}_{C1} і \bar{h}_{C2} від вершин після певного пробігу рухомого складу. Граничними вимогами до зміни цих параметрів в експлуатації ТЗП є $\Delta_{C1max} = 2,5$ мм, $\Delta_{C2max} = 3,0$ мм (при виконанні умови $\delta_6 \leq \delta_{6max} = 3,0 \dots 3,5$ мм) [3, с. 217].

Нижче розглянуто реалізацію запропонованого підходу на прикладі ТЗП електропоїзду серії EP2, які експлуатуються в регіональній філії «Південна залізниця» ПАТ «Українська залізниця». Параметрами такої передачі є: модуль зубців $m=10$ мм; числа зубців шестерні та колеса $z_1=23$, $z_2=73$; коефіцієнти зміщення $x_1=0,478$, $x_2=0,041$; параметри ділительних хорд – $\bar{S}_1=18,9$, $\bar{h}_1=14,6$, $S_{C2} = 16,3$ мм, $\bar{h}_2=10,7$, параметри постійних хорд за формулами (1), (2) – $S_{C1} = 16,94$ мм, $h_{C1} = 11,5$ мм, $S_{C2} = 14,13$ мм, $h_{C2} = 7,63$ мм.

Досліджувався варіант із граничними ступенями зносу зубців шестерні та колеса, які визначались за ділительними хордами у відповідності до нормативних вимог ремонту [5, с. 119]. При цьому $\bar{S}_{1E} = 15,5$ мм, $\bar{S}_{2E} = 11$ мм, $\Delta_2 = \Delta_{2max} = 16,3 - 11 = 5,3$ мм.

Для отримання точних координат профілів зубців, характеристик зачеплення, визначення величини бокового зазору δ_6 в розглянутому варіанті ТЗП було проведено відповідне експериментально-розрахункове дослідження [7–9]. В якості фрагменту отриманих результатів на рис. 2, 3 показані профілі зубців та графічна інтерпретація особливостей зачеплення.

Видно, що при розглянутих ступенях зносу за ділительними хордами в межах $\Delta_1 = 3,4$ мм, $\Delta_2 = 5,3$ мм величина бокового зазору в ТЗП складає $\delta_6 = 4,8$ мм, що суттєво перевищує наведені вище рекомендації.

Отримані цифрові зображення профілів забезпечують точне визначення їх товщини за хордами відповідних кіл за всією висотою зубців. З рис. 2 видно, що товщина зубців за постійними хордами розглянутого варіанту комплектації ТЗП електропоїзду EP2 для шестерні складає $\bar{S}_{C1E} = 13,7$ мм, а для колеса – $\bar{S}_{C2E} = 9,457$ мм.

Співставлення даних величин з відповідними параметрами нових шестерні та колеса показали, що експлуатаційні зноси за постійними хордами досягають $\Delta_{C1} = 16,94 - 13,7 = 3,24$ мм (на 30% перевищує граничний знос Δ_{C1max}), $\Delta_{C2} = 14,13 - 9,45 = 4,68$ мм (на 56% перевищує граничний знос Δ_{C2max}) і як слідство боковий зазор δ_6 перевищує на 40% величину δ_{6max} .

Таким чином, під час використання в якості параметрів контролю експлуатаційних зносів

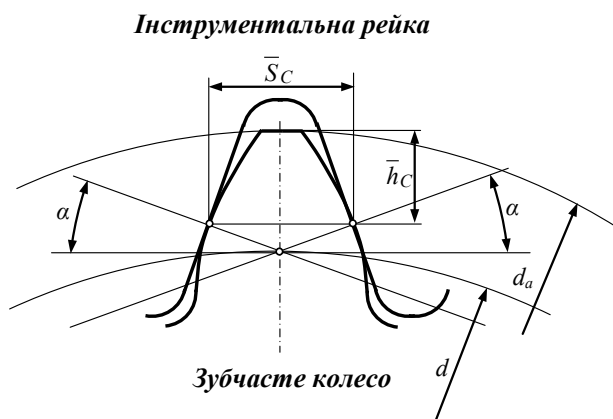


Рис. 1. Схема вимірювання постійної хорди для зубчатих коліс із зовнішніми зубцями

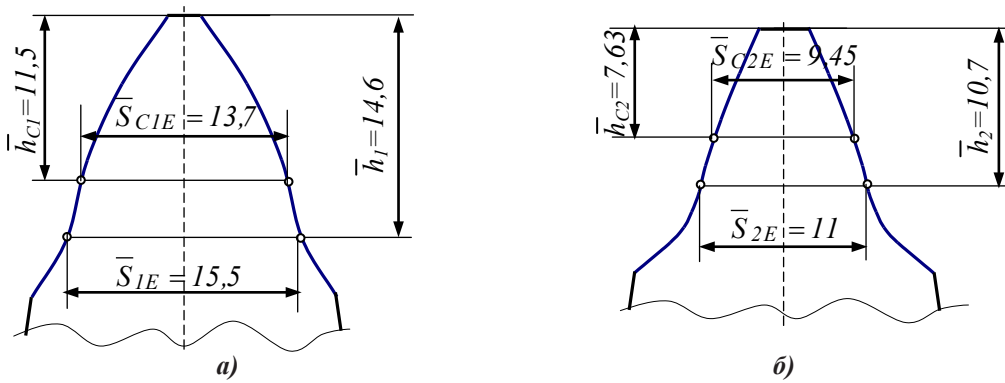


Рис. 2. Профілі зубців шестерні (а) і колеса (б) ТЗП електропоїзду EP2 з граничними зносами профілів за ділильними хордами

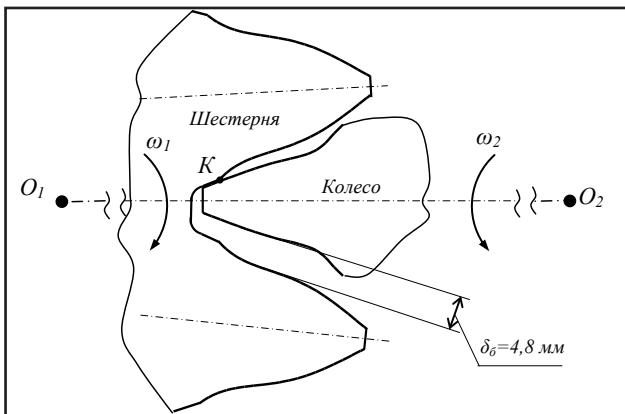


Рис. 3. Графічна інтерпретація особливостей зачеплення ТЗП з граничними ступенями зносів профілів зубців

зубців тільки товщини за ділильною хордою не завжди забезпечується виконання вимог за допустимими значеннями постійних хорд, а головне, за величиною бокового зазору.

Такий недолік може бути усунений, якщо зноси профілів зубців оцінюються за величинами їх постійних хорд. Тобто контролюються умови: $\Delta_{C1} \leq \Delta_{C1max}$, $\Delta_{C2} \leq \Delta_{C2max}$, $\delta_6 \leq \delta_{6max}$. Так, у прив'язці до розглянутого прикладу було проведено дослідження з отримання відповідних цифрових профілів зубців шестерні та колеса з граничними зносами за постійними хордами (рис. 4) та моделювання характеристик зачеплення ТЗП.

Значення постійних хорд нових шестерні та колеса складають $\bar{S}_{C1} = 16,94$ мм, $\bar{S}_{C2} = 14,13$ мм. Їх величини при граничних зносах – $\bar{S}_{C1E} = 14,44$ мм, $\bar{S}_{C2E} = 14,13 - 3,0 = 11,13$ мм. При цьому величина бокового зазору досягає $\delta_6 = 3,2$ мм.

Слід відзначити, що виконанню умов допустимого зносу ТЗП відповідають значення зносів шестерні та колеса за ділильними хордами $\Delta_1 = 18,9 - 16,7 = 2,2$ мм ($\Delta_1 = 0,65 \Delta_{1max}$) і $\Delta_2 = 16,3 - 13 = 3,3$ мм ($\Delta_2 = 0,62 \Delta_{2max}$).

Висновки. Наведені в статті результати підтверджують доцільність використання запропонованого підходу для експериментального визначення зносів контрольованих профілів ТЗП за величинами постійних хорд шестерні та колеса. Це забезпечить більш точне визначення бокових зазорів в зачепленні ТЗП, що знаходиться в експлуатації. Останнє має важливе значення для обрання прийнятних варіантів комплектації парних зубчатих коліс під час ремонту ТЗП.

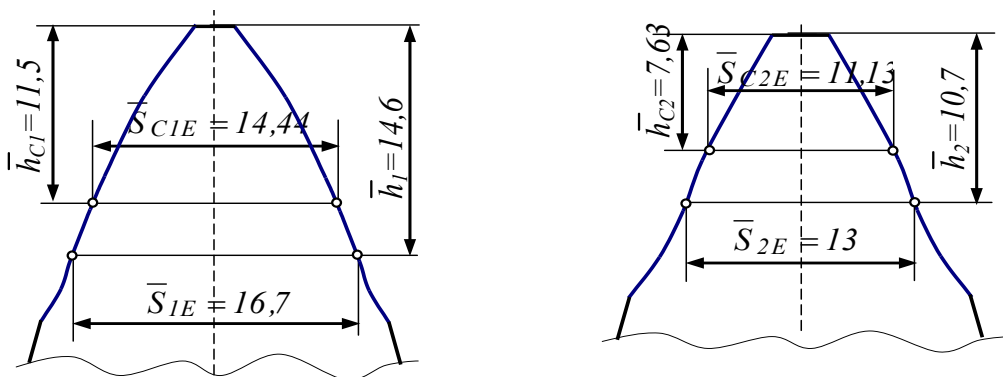


Рис. 4. Профілі зубців шестерні (а) і колеса (б) ТЗП електропоїзду EP2 з граничними зносами профілів за постійними хордами

Список літератури:

1. Бабанін О.Б., Громов В.І. Прогнозування збільшення ресурсу тягових зубчатих передач електропоїздів за рахунок удосконалення технології ремонту. Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. Харків, 2014. № 147. С. 104.
2. ОСТ 24.149.03-89. Колеса зубчатые передач тягового подвижного состава магистральных железных дорог [Срок действия с 1990-01-01]. Технические условия. Изд. офиц. Москва: Издательство стандартов, 1989. 9 с.
3. Бирюков И.В., Беляев А.И., Рыбников Е.К. Тяговые передачи электроподвижного состава железных дорог. Москва: Транспорт, 1986. 256 с.
4. Правила технічного обслуговування та поточного ремонту електропоїздів і електросекцій : ЦТ–0046. Київ, 2005. 320 с.
5. Братченко О.В., Громов В.І. Особливості експлуатаційних зносів тягових зубчатих передач залізничного рухомого складу. Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті: матеріали 78-ї міжнародній наук.-техн. конференції (26 квітня 2016 р.). У збірнику наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. Харків, 2016. № 160 (додаток). С. 61.
6. Кудрявцев В.Н., Державец Ю.А., Арефьев И.И. Курсовое проектирование деталей машин: учебн. пособие. Ленинград: Машиностроение, 1984. 400 с.
7. Мороз В.І., Бобрицький С.В., Громов В.І., Братченко О.В. Спосіб визначення товщини зубця зубчатого колеса: пат. 103077 Україна: МПК F16H 1/06 (2006.01); заявл. 30.07.2014; опубл. 10.12.2015, бюл. № 23. 6 с.
8. Мороз В.І., Братченко О.В., Бобрицький С.В., Громов В.І., Комп'ютерна програма «Зубомір» / Свідцтво про реєстрацію авторського права на твір № 63194 від 24.12.2015. Київ: Державна служба інтелектуальної власності України, 2015.
9. Братченко О.В., Громов В.І. Аналітичні залежності для математичного описання процесу зачеплення зубців тягової зубчатої передачі. Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті: матеріали 76-ї міжнародній наук.-техн. конференції (15 квітня 2014 р.). В збірнику наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. Харків, 2014. № 143. С. 249.

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНЕЙ ИЗНОСА ТЯГОВЫХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ МОТОР-ВАГОННОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Показано, что изнашивание активных поверхностей зубьев шестерен и колес является основным фактором влияния на ресурс тяговых зубчатых передач мотор-вагонного подвижного состава. Рассмотрены современные подходы к экспериментальному определению степеней износа шестерен и колес тяговых зубчатых передач в эксплуатации, предполагающие контроль величины делительной хорды. С целью обеспечения допустимой величины бокового зазора в передаче предложено в качестве параметра контроля износа зубьев рассматривать изменение их толщины по постоянным хордам. Приведены допустимые значения изменения этих параметров, при которых обеспечиваются приемлемые значения бокового зазора в зацеплении тяговых зубчатых передач. Рассмотрены особенности использования предложенного подхода на примере тяговой зубчатой передачи электропоездов серии ЭР2.

Ключевые слова: мотор-вагонный подвижной состав, тяговая зубчатая передача, степень износа, экспериментальное определение, зубья шестерен и колес, делительная хорда, постоянная хорда, боковой зазор.

PECULIARITIES OF THE EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE DEGREES OF WEAR OF DRIVING GEAR TRANSMISSIONS OF MOTOR-CARGO ROLLING STOCK

It is shown that wear of the active surfaces of the teeth of gears and wheels is the main factor affecting the resource of traction gears of motor-car rolling stock. Modern approaches to the experimental determination of the degrees of wear of gears and wheels of traction gears in operation are contemplated, suggesting control of the value of the division chord. In order to ensure the permissible value of the lateral clearance in the transmission, it is proposed to consider the change in their thickness for constant chords as a parameter of the wear control of the teeth. Permissible values of the variation of these parameters are given, at which acceptable values of the lateral clearance in the meshing of traction gears are provided. Features of the proposed approach are considered using the example of traction gear transmission of ER2 series.

Key words: motor-car rolling stock, traction gear, wear level, experimental determination, gear and wheel teeth, pitch chord, chord constant, side gap.

УДК 629.113

Добровольський О.С.

Національний транспортний університет

Карев С.В.

Національний транспортний університет

Ступак Н.С.

Національний транспортний університет

Овчинніков Д.В.

Національний транспортний університет

Ричок С.О.

ДП «ДержавтотрансНДІпроект»

ВПЛИВ ВМІСТУ СПИРТУ В БЕНЗИНІ НА ПАЛИВНУ ЕКОНОМІЧНІСТЬ СУЧАСНОГО ДВИГУНА

З метою встановлення доцільності використання сумішевих палив проведені дослідження щодо впливу добавки етанолу на показники роботи двигуна обладаного системою впорскування палива з зворотнім зв'язком. У ході дослідження особлива увага приділена паливо-економічним показникам роботи та розширенню використання спиртових добавок. У статті наведено опис трифакторного експерименту та дослідження щодо визначення зміни показників роботи двигуна із системою впорскування та зворотнім зв'язком. Представлені результати досліджень щодо впливу виду палива на паливно-енергетичні показники роботи двигуна. Встановлено, що годинна витрата палива та коефіцієнт надміру повітря зростають разом із збільшенням відсотку вмісту спирту в бензині.

Ключові слова: *двигун внутрішнього згорання, бензин, етанол, експеримент, витрата палива.*

Постановка проблеми. Продукти перегонки нафти ідеально підходять для використання в якості автомобільного палива: вони легко займаються, виділяють велику кількість енергії, процес їх горіння легко контролювати. Однак людству відомо, що нафта є невідновлювальним ресурсом, який, до того ж, швидко вичерпується. Тому вже не перше десятиліття людство розглядає альтернативні джерела енергії для заміни нафти. Альтернативні види палива є однією з найбільш перспективних розробок сучасності. Причому мова йде не тільки про зменшення обсягів видобутку нафти, але і про захист навколишнього середовища, оскільки продукти горіння традиційного палива завдають їй чималої шкоди.

Автомобільний транспорт для більшості країн і окремих регіонів є основним джерелом забруднення довкілля. Після заборони застосування свинцевовмісних антидетонаторів наступним

кроком на шляху захисту повітряного басейну від токсичних сполук у складі відпрацьованих газів стало залучення до складу автомобільних бензинів високооктанових кисневмісних добавок – оксигенатів (МТБЕ – метилтретбутилового ефіру, ЕТБЕ – етилтретбутилового ефіру, метанолу, етанолу та ін.). Ці добавки, разом із підвищенням октанового числа бензину, сприяють зниженню вмісту вуглеводнів і оксиду вуглецю у відпрацьованих газах [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В Україні в 1998–2006 роках проведено широкі дослідження використання добавок біоетанолу до бензину. Зокрема, ДП «ДержавтотрансНДІпроект» спільно з ДП «УкрНДІНП «Масма», ДП «УкрНДІспиртбіопрод», НТУ та іншими організаціями і підприємствами у 1998–2004 проведено комплексні випробування сумішевих бензинів, виготовлених з використанням біоетанолу [2],

за результатами яких у 2000 році був розроблений ГСТУ на сумішеві бензини [3]. Основні експериментальні дослідження були проведені із застосуванням сумішевих бензинів із вмістом біоетанолу 6% та 8% за об'ємом.

Вплив добавки біоетанолу до штатного бензину на параметри роботи ДВЗ у своїх дисертаційних роботах розглядали Устименко В.С., Захарченко О.М., Попов Д.В. та ін. [4–7].

У проведених дослідженнях у Національному транспортному університеті спільно з ДП «ДержавтотрансНДІпроект», а також Житомирським державним технологічним університетом [8; 9], встановлено залежність октанового числа сумішевих бензинів від вмісту високооктанових кисневмісних домішок.

Подібні дослідження з використання етанолу як добавки до бензинів отримані також і в інших країнах.

Аналіз літературних і патентних даних показує, що застосування етанолу як добавки до штатного бензину дає покращення екологічних, економічних та енергетичних показників роботи двигуна. Однак існує цілий ряд економічних, організаційних та технічних проблем, пов'язаних із застосуванням етанолу, які потребують вирішення. У жодній із існуючих наукових робіт не досліджувалась добавка біоетанолу до штатного бензину на фіксованих режимах у широкому діапазоні навантажень при концентрації етанолу від 0 до 40%. У зв'язку із цим у роботі проведено дослідження впливу вмісту спирту на паливно-



Рис. 1. Двигун Volkswagen BBU на гальмівному стенді

Таблиця 1

Технічні характеристики двигуна Volkswagen BBU

Найменування показника, одиниці вимірювання	Значення
Об'єм двигуна, л	1,39
Тип розташування циліндрів	Рядний
Кількість циліндрів	4
Хід поршня, мм	75,6
Діаметр циліндра	76,5
Ступінь стискання	10,5
Система впорскування палива	Magneti Marelli 4MV
Потужність, кВт	55 при 5000 хв-1
Максимальний крутний момент, Н·м	126 при 3800 хв-1
Паливо	А 95

енергетичні показники роботи сучасного автомобільного двигуна.

Метою експерименту є дослідження паливно-енергетичних показників автомобільного двигуна під час його роботи на штатному бензині і товарному бензині з різним вмістом спирту.

Виклад основного матеріалу дослідження. Випробування проведено в Національному транспортному університеті на кафедрі двигунів та теплотехніки. Для проведення порівняльних випробувань обрано чотиритактний, чотирициліндровий, рядний двигун Volkswagen BBU (рис. 1), обладнаний системою впорскування палива із зворотним зв'язком і двоступеневою з прискореним прогрівом та рециркуляцією ВГ системою нейтралізації відпрацьованих газів, технічні характеристики якого наведено в табл. 1 [10].

Експериментальні стендові дослідження проводили на двигуні при живленні товарним бензином А-95Е0, бензином А-95Е40 та сумішами товарного бензину А-95Е0 з бензином А-95Е40. Дослідження проводились на експериментальній установці, до складу якої входить гальмівний стенд SAK-670 (заводський № 461789) виробництва Німеччини, потужністю 250 кВт і максимальною частотою обертання 3000 хв⁻¹. Керування стендом здійснювалось з пульта керування. Поточні значення частоти обертання колінчатого вала і крутного моменту виводили у цифровій формі на табло панелі пульта керування.

Частоту обертання колінчатого вала двигуна вимірювали штатним частотоміром, вмонтованим в стенд, і частотоміром Ф5035 (заводський № 190) з індуктивно-імпульсним датчиком, який розташований напроти зубчатого вінця маховика.

Розрідження у впускному трубопроводі двигуна вимірювали зразковим вакууметром (заводський № 93160).

Тиск оливи в системі мащення двигуна вимірювали манометром (заводський № 66487) з класом точності 0,5.

Витрату палива в усталених режимах вимірювали ваговим способом електронними терезами МЕРА ВМ-2/3 (заводський № 51184) [11]. Ціна поділки шкали терезів складає 0,5 г. Дозу палива для заміру встановлювали залежно від режиму роботи двигуна.

Витрату повітря вимірювали ротаційним лічильником газу РГ-100 (заводський № 9353). Ціна поділки шкали лічильника складає 0,01 м³. Залежно від режиму роботи двигуна встановлювали дозу повітря для заміру.

Вимірювання часу здійснювали електронним секундоміром з точністю 0,01 с.

Положення дросельних заслінок, кут випередження запалювання та температуру охолоджуючої рідини визначали за допомогою програмного забезпечення VAG Tool 209.

Під час проведення експерименту досліджувались не тільки енергетичні показники, а й показники токсичності роботи двигуна. Аналіз показників токсичності буде приведений в подальших роботах.

Атмосферний тиск вимірювали барометром-анероїдом (заводський № 5968). Відносну вологість повітря – психрометром БМг2 (заводський № 0833).

При випробуваннях вимірювали крутний момент двигуна за допомогою балансирного динамометра DS 926-4/V, частоту обертання колінчатого вала, витрату палива, температуру охолоджуючої рідини, палива, масла і відпрацьованих газів, кут випередження запалювання, тиск в системі оливи і атмосферний тиск.

Спочатку визначили всі показники на різних режимах роботи двигуна на товарному бензині А-95Е0. На наступному етапі отримали аналогічні показники при роботі двигуна на сумішах товарного бензину А-95Е0 з бензином А-95Е40 різних концентрацій. У кінці отримали показники на бензині А-95Е40. Сумішевий бензин отриманий шляхом змішування товарного бензину А-95Е0 з бензином А-95Е40. Як енергетичні показники

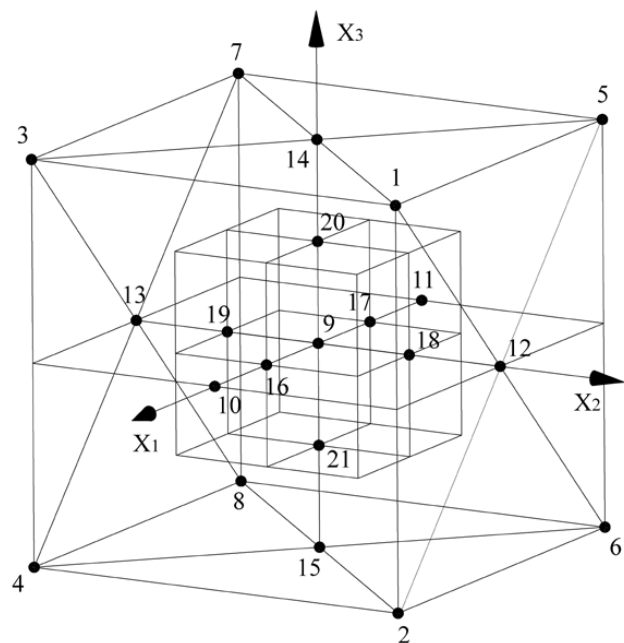


Рис. 2. План експерименту для функції $y=f(M_{кр}, n, r_c)$

Координати дослідних точок

№ дослідю	Нормовані координати			Звичайні координати		
	X ₁	X ₂	X ₃	z ₁	z ₂	z ₃
1	1	1	1	36	5000	100
2	1	1	-1	0	5000	100
3	1	-1	1	36	1400	100
4	1	-1	-1	0	1400	100
5	-1	1	1	36	5000	0
6	-1	1	-1	0	5000	0
7	-1	-1	1	36	1400	0
8	-1	-1	-1	0	1400	0
9	0	0	0	18	3200	50
10	1	0	0	18	3200	100
11	-1	0	0	18	3200	0
12	0	1	0	18	5000	50
13	0	-1	0	18	1400	50
14	0	0	1	36	3200	50
15	0	0	-1	0	3200	50
16	+1/2	0	0	18	3200	75
17	-1/2	0	0	18	3200	25
18	0	+1/2	0	18	4100	50
19	0	-1/2	0	18	2300	50
20	0	0	+1/2	27	3200	50
21	0	0	-1/2	9	3200	50

обрані потужність двигуна, крутний момент, питома ефективна витрата палива.

Враховуючи, що енергетичні, економічні, екологічні показники роботи двигуна (годинна витрата палива $G_{\text{пал}}$ та годинна витрата повітря), кут випередження запалювання, температура відпрацьованих газів, залежать від спільної дії трьох параметрів (крутного моменту ($M_{\text{кр}}$), частоти обертання двигуна (n) та об'ємної частки біоетанолу у паливі (r_c)) прийнято рішення проводити стендові випробування двигуна VW BBU 1,4 методом трифакторного експерименту на п'яти рівнях.

Для отримання найбільш об'єктивних результатів складений план експерименту, з охопленням усіх можливих режимів роботи двигуна.

Пронормувавши осі за планом, зображеним на рис. 2, вчені поставили експеримент в 15 точках, проміжні точки використовувались для перевірки аналітичного опису експерименту.

Координати даних точок приведені у таблиці 2.

Для визначення годинної витрати палива в усіх режимах роботи двигуна отримана поліноміальна залежність параметру (y), що відповідає годинній витраті палива ($G_{\text{пал}}$) та коефіцієнту надміру повітря (α) від незалежних параметрів (r_c), (n), ($M_{\text{кр}}$). Підстановка знайдених коефіцієнтів апроксимації, наведених у таблиці 3, для різних регулювань системи живлення в рівняння (1) дозволила отримати

залежності, що являють собою статистичну модель процесу, який вивчається.

$$Y = f(r_c, n, M_k) = \alpha_0 + \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \alpha_3 x_3 + \alpha_{11} x_1^2 + \alpha_{22} x_2^2 + \alpha_{33} x_3^2 + \alpha_{12} x_1 x_2 + \alpha_{13} x_1 x_3 + \alpha_{23} x_2 x_3. \quad (1)$$

Погрішність апроксимації за результатами 21 дослідю оцінюємо за формулою:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (y_{\text{розрах}} - y_{\text{замір}})^2}{N - 10}}$$

Таблиця 3

Коефіцієнти поліноміальних залежностей

Номер точки	$G_{\text{пал}}$	α
1	17.908	0.863
2	3.222	1
3	4.333	1.01
4	1.132	1.023
5	16.798	0.842
6	2.347	0.998
7	4.048	0.976
8	1.082	1.008
9	4.93	1.027
10	5.335	1.052
11	4.755	1.033
12	9.295	0.943
13	1.875	1.022
14	10.003	0.951
15	1.177	1.036

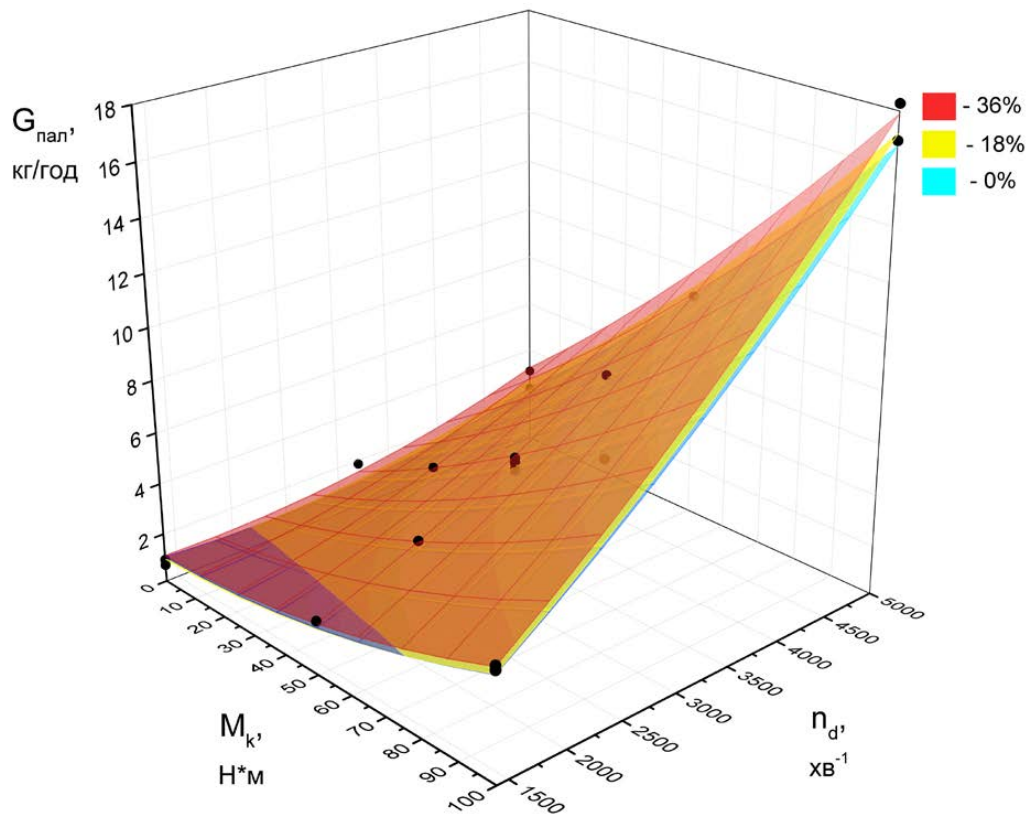


Рис. 3. Залежність витрати палива від крутного моменту та частоти обертання колінчастого вала

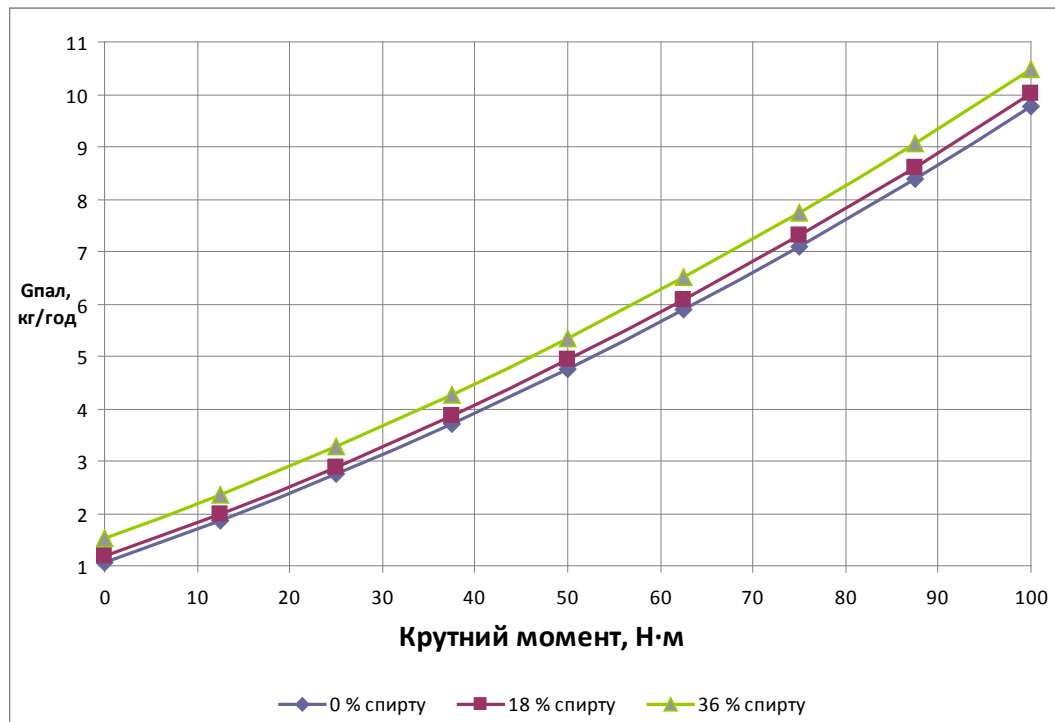


Рис. 4. Годинна витрата палива при $n=3200$ хв⁻¹

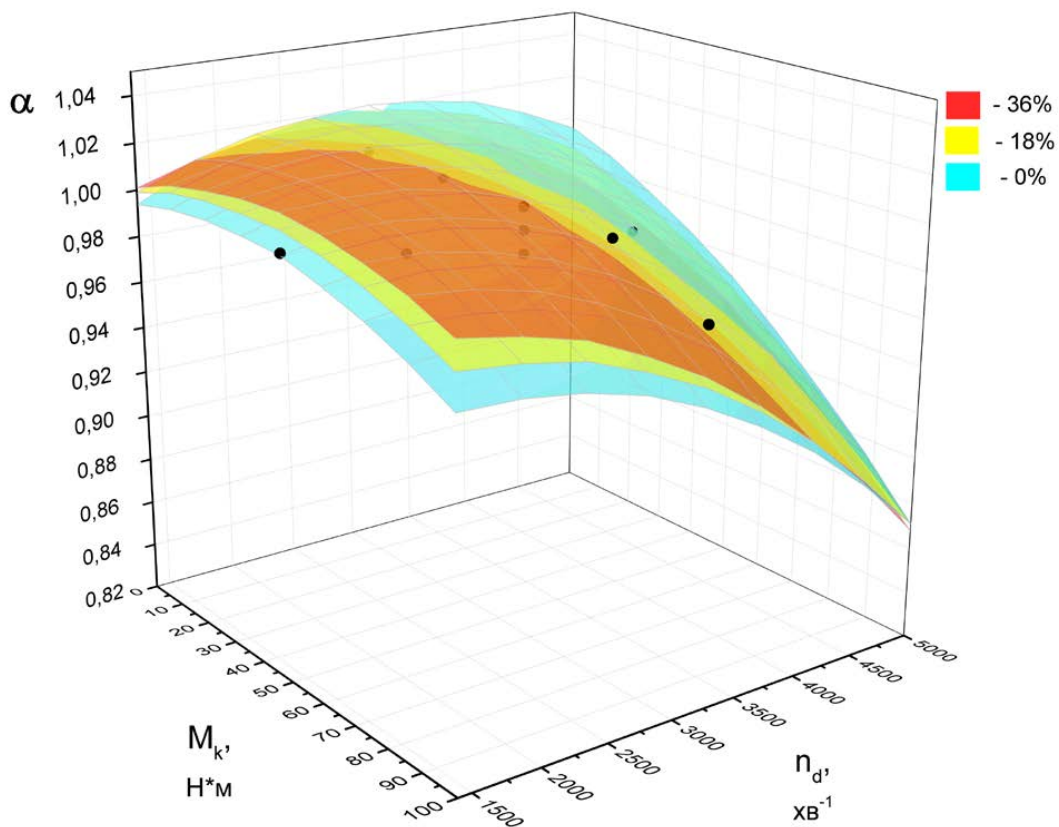


Рис. 5. Залежність коефіцієнту надміру повітря від крутного моменту та частоти обертання колінчастого вала

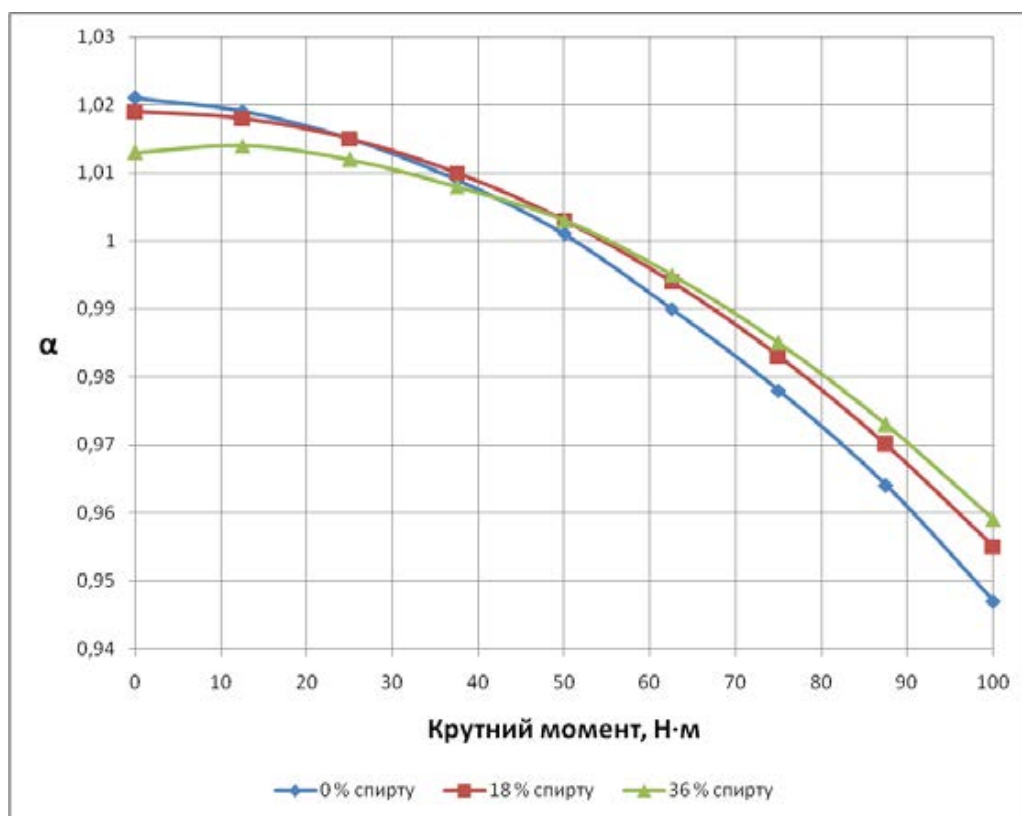


Рис. 6. Коефіцієнт надміру повітря при $n=3200 xv^{-1}$

$$\sigma(G_{\text{пал}})=0,135$$

$$\sigma(\alpha)=0,006.$$

Під час випробувань у вказаних п'ятнадцяти точках експериментально були виміряні наступні показники роботи двигуна: частота обертання колінчастого вала (n), крутний момент (M_k), час витрати палива і повітря, кут випередження запалювання, температура охолоджувальної рідини, оливи, відпрацьованих газів, а також тиск оливи; були розраховані значення ефективної потужності, годинних витрат повітря і палива, коефіцієнт надміру повітря (α), питома витрата палива. У процесі проведення експерименту підтримувалась температура охолоджуючої рідини в межах 80-90°C.

Отримані результати в ході проведення експерименту приведені у вигляді графічного зображення годинної витрати палива в залежності від крутного моменту та частоти обертання колінчастого вала. На рис. 3 зображено три площини, що відповідають витраті палива з вмістом 0%, 18%, 36% спирту відповідно.

Із рис. 4 видно, що годинна витрата палива $G_{\text{пал}}$ під час роботи двигуна за частоти обертання колінчастого вала 3200 хв⁻¹ на сумішевому бензині із добавкою спирту 18% збільшилась на 3,55% порівняно із штатним бензином. У той же час

збільшення концентрації спирту в бензині до 36%, веде до підвищення годинної витрати палива $G_{\text{пал}}$ на 7,6 %. Це пояснюється меншою нижчою теплою згоряння спирту, що складає 36% об'єму сумішевого бензину.

Під час аналізу проведеного експерименту із застосуванням добавки спирту до бензину є доцільним провести порівняння коефіцієнту надміру повітря α при роботі двигуна на паливі із різним вмістом спирту, що продемонстровано на рис. 5.

Підвищений вміст спирту в паливі не призвів до суттєвого збільшення коефіцієнта надміру повітря у зв'язку з роботою системи зворотнього зв'язку. Різниця показника α під час роботи двигуна на штатному та товарному бензині із вмістом спирту 36% не суттєва, що видно з рис. 6.

Висновки. Проведення експерименту за трьома факторами та на п'яти рівнях дозволяє в повній мірі охопити діапазон роботи двигуна при мінімальній кількості дослідів. У результаті проведеного експерименту встановлено, що перехід двигуна внутрішнього згоряння із системою впорскування із зворотнім зв'язком на бензин із вмістом спирту, який широко реалізовується на автомобільних заправних станціях, призводить до підвищення годинної витрати палива.

Список літератури:

1. Лю Синьчжоу. Разработка высокооктановых кислородсодержащих топливных композиций: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.17.07 «Химия и технология топлив и специальных продуктов»; Уфимский государственный нефтяной технический университет. Уфа, 2004. 24 с.
2. Редзюк А.М., Рубцов В.О., Устименко В.С., Михненко Є.О., Олійников О.П. Проблеми та перспективи застосування сумішних бензинів з високооктановою кисневмісною добавкою як автомобільного палива. Автошляховик України. Окр. вип. Вісник Центрального наукового центру ТАУ. 1999. № 2. С. 25.
3. ГСТУ 320.00149943.015-2000. Бензини моторні сумішеві. Технічні умови (зі змінами № 1 від 01.11.2002 і № 2 від 25.04.2005). Київ. Держнафтогазпром України, 2000. 24 с.
4. Устименко В.С. Поліпшення екологічних показників автомобілів та розширення паливної бази автомобільного транспорту шляхом застосування біоетанолу: дис. канд. техн. наук: 05.22.20. Київ. 2006. 152 с.
5. Захарченко О.М. Покращення паливної економічності та екологічних показників автомобілів раціональним використанням бензинів з добавками біоетанолу: дис. канд. техн. наук: 05.22.20. Київ. 2008. 261 с.
6. Попов Д.В. Покращення екологічних показників автомобілів з нейтралізаторами при використанні бензинів з добавками біоетанолу: дис. канд. техн. наук: 05.22.20. Київ. 2008. 220 с.
7. Щербатюк В.Б. Покращення екологічних показників двигунів підігрівом свіжого заряду при використанні бензину з добавкою біоетанолу: дис. канд. техн. наук: 05.22.20. Київ. 2013. 220 с.
8. Гутаревич Ю. Ф., Редзюк А.М., Устименко В.С., Кульбако В.П. Вплив добавок спиртових сполук до бензину на показники двигунів і автомобілів Щорічний науково-виробничий журнал Проектування, виробництво та експлуатація автотранспортних засобів і поїздів. 2009. № 16. С. 221–226.
9. Ільченко А.В. Підвищення ефективності експлуатації автомобілів використанням моторних палив з високооктановими кисневмісними добавками: дис. канд. техн. наук: 05.22.20. Київ. 2003. 147 с.
10. Polo Model Year 2002. Self-Study Programme 263. Service. P.17.
11. Весы электронные ВМ–2/3(т). Руководство по эксплуатации: ЭК 133.00.00.000 РЭ / ООО «Завод Мера». Москва. 2003. 24 с.

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ СПИРТА В БЕНЗИНЕ НА ТОПЛИВНУЮ ЭКОНОМИЧНОСТЬ СОВРЕМЕННОГО ДВИГАТЕЛЯ

С целью установления целесообразности использования смесевых топлив проведены исследования влияния добавки этанола на показатели работы двигателя, оборудованного системой впрыска топлива с обратной связью. В ходе исследования особое внимание уделено топливно-экономическим показателям работы и расширению использования спиртовых добавок. В статье приведено краткое описание подготовки трехфакторного эксперимента и исследования по определению изменений показателей работы двигателя с обратной связью. Представленные результаты исследований влияния топлива на топливно-энергетические показатели работы. Установлено, что часовой расход топлива и коэффициент избытка воздуха увеличивается вместе с увеличением процента содержания спирта в бензине.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, бензин, спирт, эксперимент, расход топлива.

INFLUENCE OF ALCOHOL CONTENT IN GASOLINE ON THE FUEL ECONOMICITY OF THE MODERN ENGINE

In order to determine the expediency of using mixed fuels, the effect of ethanol addition on the performance of an engine equipped with a fuel injection system with feedback was studied. In the course of the study, special attention was paid to the fuel and economic performance of the work and the expansion of the use of alcohol additives. The article gives a brief description of the preparation of a three-factor experiment and a study to determine changes in engine performance with feedback. Presented results of studies of fuel effects on fuel and energy performance. It is established that the hourly fuel consumption and the excess air factor increase along with the increase in the percentage of alcohol in gasoline.

Key words: engine, gasoline, ethanol, experiments, fuel expenditure.

Кузькін О.Ф.

Запорізький національний технічний університет

АНАЛІЗ РОЗВИТКУ ТА РІВНЯ ЯКОСТІ ПОСЛУГ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ ЗАПОРІЖЖЯ

У статті проведено аналіз сучасного стану системи міського маршрутного пасажирського транспорту міста Запоріжжя (Україна). На підставі результатів комплексного обстеження пасажиропотоків встановлені основні показники розвитку маршрутної мережі та пасажироперевезень. Визначено рівень якості транспортних послуг, та сформульовані заходи щодо його підвищення.

Ключові слова: громадський транспорт, маршрутна система, пасажирські потоки, рівень якості послуг.

Постановка проблеми. Міський громадський транспорт (МГТ) є однією з найважливіших складових інфраструктури сучасного міста. Він забезпечує мобільність його мешканців, забезпечуючи доступ до виконання економічних функцій і соціальних потреб всім без виключення прошаркам населення, у тому числі і тим, які з тих чи інших причин не хочуть або не можуть мати індивідуального транспортного засобу (особам з низьким рівнем доходів) чи не мають фізичної можливості або права керувати ним (особам з особливими потребами, похилого віку, з вадами здоров'я, неповнолітнім). Таким чином, громадський транспорт є інструментом забезпечення конституційних прав громадян на роботу, освіту, медичне обслуговування, відпочинок.

Незважаючи на суттєве зростання автомобілізації в Україні за останні десятиліття [1], міський громадський транспорт на сьогодні залишається основним способом здійснення пересувань у межах міста з трудовими та культурно-побутовими потребами для більшості населення. Враховуючи об'єктивне становище стану економіки в Україні та рівень доходів громадян, така ситуація навряд чи зміниться у найближчому майбутньому.

Послуги МГТ його кінцевим споживачам, як і будь-які інші послуги, повинні надаватися з належним рівнем якості. Під якістю обслуговування населення МГТ розуміють сукупність властивостей процесу перевезень та системи перевезень пасажирів, що зумовлюють їх відповідність нормативним вимогам [2]. До таких властивостей відносять як кількісні (тривалість пересування, вартість проїзду), так і якісні (зручність, комфорт

та безпека) [3]. Кількісні показники міської пасажирської транспортної системи визначаються рівнями розвитку маршрутної мережі, технологічної організації транспортного процесу на діючих маршрутах та результативними показниками пасажироперевезень.

Необхідні для встановлення рівня якості послуг МГТ результативні показники пасажироперевезень можуть бути визначені об'єктивно лише на підставі обстеження пасажирських потоків, що для великих міст є складною та трудомісткою задачею. Проведене в місті Запоріжжя у 2017 році комплексне обстеження пасажирських потоків на міських маршрутах автомобільного та електричного транспорту дає можливість оцінити рівень розвитку маршрутної системи МГТ, якість надання транспортних послуг мешканцям міста, встановити недоліки існуючого становища та окреслити можливі шляхи їх усунення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням встановлення рівня якості міських пасажирських перевезень приділяється значна увага як вітчизняних, так і зарубіжних науковців. Втім, якщо більшість вітчизняних досліджень спрямовані власне на удосконалення процесу перевезень з метою задоволення попиту мешканців міст на пересування з дотриманням встановлених нормативних значень окремих складових процесу перевезень, зарубіжні науковці розглядають питання підвищення якості послуг МГТ значно ширше.

У роботі [4] проаналізовано систему показників якості пасажирських перевезень у місті Кропивницький та виконана їх експертна оцінка. На підставі результатів опитування пасажирів

виконано ранжування критеріїв, що впливають на якість перевезень з точки зору пасажирів, з яких найсуттєвішими визначено тривалість поїздки та вартість проїзду. Автори підкреслюють, що для забезпечення високого рівня якості обслуговування пасажирів та ефективного використання транспортних засобів необхідно знати напрямків, розмірів та ступеня нерівномірності пасажирських потоків.

Подібний вищезазначеному метод оцінювання якості транспортних послуг міського пасажирського транспорту, що включає три етапи та побудований на соціологічних дослідженнях (опитування пасажирів), наведено в роботі [5]. Зазначається, що ранжування ступенів впливу окремих факторів на якість перевезень слід встановлювати з використанням методу експертних оцінок.

Комплексний показник, що використовує в якості інтегрованого показника якості надання транспортних послуг на окремому маршруті міського пасажирського транспорту транспортну стомлюваність пасажирів, пропонується в роботі [6]. Транспортна стомлюваність пасажирів представлена показником, який узагальнює в собі тривалість та умови поїздки. Розроблено шкальні оцінки якості перевезень через транспортну стомлюваність з використанням функції бажаності Харрінгтона.

Результати досліджень, наведені у [7], свідчать про те, що найважливішими з точки зору пасажирів показниками якості транспортних послуг МГТ є (в порядку спадання вагомості факторів): безпека та комфорт поїздки, її тривалість та надійність, зручність розташування зупинок, культура обслуговування, вартість проїзду та екологічна безпека. Аналогічні дослідження, результати яких наведені у [8], виділяють в якості найважливіших показників із точки зору пасажирів надійність та своєчасність поїздки. Ці показники відбивають здатність МГТ додержуватись встановленого розкладу руху.

Деяко інший підхід до якості послуг МГТ застосовують закордонні науковці. Відзначається, що на відміну від поняття ефективності, що може відбивати різні сторони транспортного процесу перевезень пасажирів, якість як категорія є оцінкою рівня надання транспортних послуг виключно з позиції пасажирів [9]. Негативні наслідки зростаючого рівня автомобілізації населення у економічно розвинених країнах світу змушують фахівців з транспортного планування міст розглядати МГТ як альтернативу власному

автомобілю для здійснення внутрішньоміських пересувань. За таких умов якість надання транспортних послуг пасажирам з боку МГТ відіграє ключову роль, відбиваючи ступінь його привабливості для потенційних користувачів. При цьому ставиться за мету досягнення такого рівня якості послуг МГТ, який, із точки зору мешканця міста, забезпечує йому умови пересування бодай не гірші в порівнянні зі здійсненням поїздки власним автомобілем [3].

Орієнтування у встановленні показників якості МГТ на ступінь ставлення до нього пасажирів, широке розповсюдження знайшли соціологічні моделі, побудовані на диференціюванні існуючих та потенційних пасажирів за віком, родом занять, рівнем доходів тощо [10–12]. Дослідження, проведені у містах різних країн світу, на доданок від згаданих вище факторів, що впливають на рівень якості послуг МГТ, вводять у розгляд низку похідних показників. До таких, наприклад, відносяться відношення тривалості поїздки на громадському транспорті до тривалості такої ж поїздки на власному автомобілі чи здійснення пересування пішки [3].

Підсумовуючи огляд останніх досліджень і публікацій, можна зробити висновок, що проблема об'єктивного оцінювання рівня якості пасажирських перевезень у містах знаходиться в центрі уваги науковців. Відмінність планувальних структур та організації транспортних систем будь-яких різних міст спонукали розробку низки методологічних підходів до оцінки якості транспортних послуг МГТ. При цьому всі запропоновані підходи використовують в якості ключового фактору, що впливає на якість транспортних послуг, загальні витрати часу на пересування пасажирів в транспортній системі.

Постановка завдання. Метою даної статті є встановлення рівня якості послуг міського маршрутного транспорту загального користування міста Запоріжжя (Україна) за критерієм тривалості пересування пасажирів на підставі аналізу рівня розвитку маршрутної мережі та результатів комплексного обстеження пасажиропотоків на міських маршрутах.

Виклад основного матеріалу досліджень. Місто Запоріжжя є обласним центром України і, згідно з ДБН 360-92** «Містобудування. Планування і забудова міських та сільських поселень», відноситься до групи крупних міських поселень. Площа міста в адміністративних границях складає 331,55 км², чисельність наявного населення станом на 01.01.2017 року складає 750,685 тис. осіб.

Станом на 01.02.2017 р. у м. Запоріжжя скла-лася маршрутна мережа МГТ, що налічує 92 автобусних маршрути та 14 маршрутів міського електричного транспорту (7 тролейбусних та 7 трамвайних маршрутів). У таблиці 1 наведені показники розвитку маршрутної мережі МГТ міста Запоріжжя станом на 01.02. 2017 р.

Основними показниками, що характеризують розвиток маршрутної мережі МГТ, є *щільність маршрутної мережі* та *маршрутний коефіцієнт* [2].

Щільність маршрутної мережі δ (км/км²) визначається як відношення довжини маршрутної мережі $L_{\text{мм}}$ (км) до забудованої (сельбищної) площі міста F_c (км²)

$$\delta = \frac{L_{\text{мм}}}{F_c}. \quad (1)$$

Величина δ характеризує насиченість міської території лініями МГТ і визначає середню дальність піших підходів пасажирів до зупинок МГТ. Згідно з вимогами п. 7.40 ДБН 360-92** «Містобудування. Планування та забудова міських та сільських поселень» щільність мережі ліній наземного МГТ на забудованих територіях повинна складати, як правило, $\delta = 1,5 \dots 2,5$ км/км². Таким чином, нормативні вимоги щодо щільності маршрутної мережі міста у Запоріжжі виконуються.

Маршрутний коефіцієнт мережі k_m (км/км) визначається як відношення сумарної довжини маршрутів L_{Σ} (км) до довжини маршрутної мережі $L_{\text{мм}}$ (км)

$$k_m = \frac{L_{\Sigma}}{L_{\text{мм}}}. \quad (2)$$

Маршрутний коефіцієнт є важливим показником розвитку маршрутної мережі, оскільки його величина безпосередньо пов'язана з основними показниками пасажироперевезень: обсягом транспортної роботи, експлуатаційною швидкістю, маршрутним інтервалом та щільністю руху. Він характеризує дублювання маршрутів на мережі і чисельно виражає кількість кілометрів маршрутів, що припадають на один кілометр маршрутної мережі. Рекомендовані значення маршрутного коефіцієнту у містах $k_m = 1,5 \dots 3,5$ [2].

Збільшення маршрутного коефіцієнту, з одного боку, зменшує пересадочність поїздок, а з другого – збільшує маршрутні інтервали за незмінної пасажиромісткості рухомого складу або спонукає використовувати для їх дотримання рухомий склад меншої пасажиромісткості. Таким чином, величину маршрутного коефіцієнту для маршрутної мережі м. Запоріжжя слід вважати завищеною. Негативним наслідком цього є переважаюча кількість рухомого складу відносно малої місткості на діючих автобусних маршрутах.

На маршрутній мережі міського автобуса в м. Запоріжжя використовуються режими руху, визначені Законом України «Про автомобільний транспорт»: звичайний, експресний та режим маршрутного таксі. З 92 автобусних маршрутів: 4 – працюють виключно у звичайному режимі руху, 8 – працюють виключно в режимі маршрутного таксі, 2 – працюють виключно в експресному режимі руху, 70 – працюють у звичайному режимі та режимі маршрутного таксі, 4 – працюють у звичайному та експресному режимах, 4 – працюють у звичайному, експресному режимах та режимі маршрутного таксі. На маршрутах міського тролейбуса і трамваю встановлено один режим руху – звичайний.

У відповідності до Порядку визначення класу комфортності автобусів, сфери їхнього використання за видами сполучень та режимами руху (затвердженого наказом Міністерства інфраструктури України від 14.05.2007 р. № 285) всі автобуси, що працюють на міських маршрутах міста Запоріжжя, поділяють на категорії (M_2, M_3) та класи (А, В, І, ІІ, ІІІ). Категорія автобуса визначається повною масою автобуса (категорія M_2 – автобуси повною масою не більше 5 т, категорія M_3 – автобуси повною масою понад 5 т). Клас автобуса визначається конструкцією та пасажиромісткістю автобуса: клас А – автобуси пасажиромісткістю не більше 22-х пасажирів, що призначені для перевезення сидячих пасажирів та мають місця для перевезення пасажирів стоячи; клас В – автобуси пасажиромісткістю не більше 22-х пасажирів, що

Таблиця 1

Показники розвитку маршрутної мережі МГТ міста Запоріжжя

Показник	Одиниця виміру	Значення показника
1. Сельбищна площа міста, F_c	км ²	190,1
2. Загальна довжина маршрутної мережі МГТ, $F_{\text{мм}}$	км	296,9
3. Кількість зупиночних пунктів на мережі, $N_{\text{зуп}}$	од.	537
4. Сумарна довжина маршрутів МГТ, L_{Σ}	км	1470,8
5. Щільність маршрутної мережі МГТ, δ	км/км ²	1,56
6. Маршрутний коефіцієнт мережі k_m	км/км	4,95

призначені перевезення виключно сидячих пасажирів; клас I – автобуси пасажиромісткістю понад 22 пасажирів, призначені для перевезення сидячих і стоячих пасажирів, конструкція яких дає змогу пасажиром безперешкодно переміщуватись по салону; клас II – автобуси пасажиромісткістю понад 22 пасажирів, призначені для перевезення головним чином сидячих пасажирів, а також стоячих пасажирів у проході проміж рядами та (або) на площадці для стоячих пасажирів, розмір якої не перевищує 1,5 м²; клас III – автобуси пасажиромісткістю понад 22 пасажирів, призначені для перевезення виключно сидячих пасажирів.

Результати обстеження пасажиропотоків на маршрутній мережі міста показали, що щоденно на маршрути в години «пік» (максимальний випуск) працює 1069 одиниць пасажирського рухомого складу, з яких 970 (90,7%) – автобуси різної місткості, 44 (4,1%) – тролейбуси, 55 (5,2%) – трамвайні вагони (поїзди). З 970 автобусів, що обслуговують автобусні маршрути міста, 597 (61,5%) належать до класу B, 238 (24,5%) належать до класу A, 134 (13,8%) належать до класу I та 1 (0,1%) належить до класу II.

Таким чином, слід констатувати, що на маршрутній мережі Запоріжжя превалює рухомий склад класу B (автобуси пасажиромісткістю не більше 22 пасажирів, призначені для перевезення пасажирів виключно сидячи). Втім, спостереження наповнюваності салону автобусів (як у години «пік», так і добові) на більшості маршрутів засвідчили, що в автобусах цього класу пасажирів перевозяться не лише сидячи, але й стоячи, що є порушенням правил перевезень.

Основні показники пасажироперевезень, встановлені за результатами комплексного обстеження пасажиропотоків у місті Запоріжжя в будній день квітня місяця 2017 року, наведені у таблиці 2. Обстеження пасажиропотоків вико-

нувалось табличним методом на всіх маршрутах міста згідно з вимогами наказу Міністерства інфраструктури України від 15.07.2013 р. № 480. За результатами обстеження можна зробити такі висновки:

1) загальний добовий обсяг перевезень пасажирів у місті за день обстеження склав 633708 пасажирів, з яких приблизно 75% перевозяться автомобільним транспортом (автобуси), 11% – тролейбусним транспортом та 14% – трамвайним транспортом;

2) середня дальність маршрутної поїздки в місті складає 6,48 км, при цьому міський електричний транспорт використовується переважно для здійснення більш коротких за довжиною поїздки, ніж автобусний;

3) значення середньодобового коефіцієнту використання пасажиромісткості рухомого складу на міському електротранспорті знаходяться в межах, характерних для даного виду транспорту [2], при тому як на автомобільному транспорті є достатньо високим, що свідчить про наявність відмов пасажиром у посадці на зупинках через переповнення салону рухомого складу або перевезення пасажирів у незадовільних умовах;

4) транспортну рухливість населення, що визначається відношенням кількості поїздок на рік з використанням МГТ до чисельності населення міста, за результатами обстеження пасажиропотоків можна оцінити величиною 264 поїздки на рік, при тому як за даними транспортних обстежень [13], транспортна рухливість у містах з населенням від 500 тис. до 1 млн. мешканців становила 500 ... 650 поїздок/рік. Серед об'єктивних причин зниження транспортної рухливості населення міста на міському громадському транспорті слід відзначити значне зростання за останні десятиліття рівня автомобілізації населення в Україні в цілому та в Запоріжжі зокрема. Змен-

Таблиця 2

Основні показники пасажироперевезень за результатами комплексного обстеження пасажирських потоків 2017 року в місті Запоріжжя

Показник	Значення показника			
	по видах транспорту			в цілому по мережі
	автобус	тролейбус	трамвай	
1. Кількість рухомого складу, що працює на маршрутах $N_{рс}$, од.	970	44	55	1069
2. Обсяг перевезень пасажирів за добу $Q_{доп}$, пас.	477 874	68 257	87 577	633 708
3. Середня дальність маршрутної поїздки пасажирів $l_{сер}$, км.	6,48	3,65	3,38	5,75
4. Зважений середньодобовий мережевий інтервал руху $i_{м}$, хв.	8,67	27,60	19,84	17,18
5. Зважений середньодобовий коефіцієнт використання пасажиромісткості рухомого складу γ_d .	0,960	0,419	0,424	0,889
6. Розрахункова транспортна рухливість населення A , поїздок/рік	–	–	–	264

шенню транспортної рухливості сприяє також широке розповсюдження інформаційних технологій (соціальні мережі, інтернет-магазини, інтернет-банкінг тощо), що забезпечують спілкування між людьми, здійснення торговельних та банківських операцій, реалізацію особистих потреб без необхідності переміщення у міському просторі. Крім того, зменшення загальної кількості поїздок у місті можна пояснити демографічними чинниками: зменшенням наявного населення в місті та перерозподілом його вікової структури.

Оцінимо рівень якості надання транспортних послуг МГТ міста Запоріжжя з використанням підходу, викладеного у [14]. Коефіцієнт якості транспортних послуг МГТ $k_{я}$ визначається як відношення розрахункових витрат часу пасажиром на пересування у заданих умовах $t_{пер}^3$ (хв.) до витрат часу на таке ж пересування у фактичних умовах $t_{пер}^{\phi}$ (хв.).

Витрати часу пасажиром на пересування визначаємо за формулою:

$$t_{пер} = t_{під} + t_{оч} + t_{п} + t_{відм} + t_{зм}, \quad (3)$$

де $t_{під}$ – час, що витрачається пасажиром на підхід до зупинки МГТ та від зупинки МГТ до місця призначення, хв.;

$t_{оч}$ – час, що витрачається на очікування пасажиром транспорту на зупинці, хв.;

$t_{п}$ – час, що витрачається на поїздку пасажиром безпосередньо в маршрутному транспортному засобі, хв.;

$t_{відм}$ – додатковий час, що витрачає пасажир на зупинці внаслідок відмов у посадці через переповнення салону рухомого складу, хв.;

$t_{зм}$ – час, що витрачає пасажир під час зміни маршруту на шляху прямування (пересадці), хв.

Складники часу, що витрачає пасажир на пересування, розраховуються за формулами [14]:

$$t_{під} = 0,0075 \cdot \left(\frac{2000}{\delta} + \frac{1000 \cdot L_{мм}}{N_{зуп}} \right); \quad (4)$$

$$t_{оч} = \frac{\bar{l}_m}{2} \cdot \left[3 - 2k_r - (1 - k_{яр}) \cdot \left(\frac{\Delta i}{\bar{l}_m} \right)^2 \right]; \quad (5)$$

$$t_{п} = \frac{60 \cdot l_{сер} \cdot k_{пер}}{v_c}; \quad (6)$$

$$t_{відм} = 30 \cdot k_{пер} \cdot \left(2 - k_r - \frac{1}{\gamma_d} \right); \quad (7)$$

$$t_{зм} = (k_{пер} - 1) \cdot (0,0015 \cdot l_{пер} + t_{оч}), \quad (8)$$

де k_r – коефіцієнт графічності руху, що дорівнює відношенню кількості фактично виконаних рейсів на всіх маршрутах до кількості рейсів на маршрутах, передбачених розкладом руху;

$k_{яр}$ – коефіцієнт якості руху, що дорівнює відношенню кількості рейсів на маршрутах, здійснених без відхилення від розкладу руху, до фактичної кількості рейсів, виконаних на маршрутах;

Δi – відхилення в часі прибуття та відправлення маршрутних транспортних засобів на контрольні пункти маршрутів, хв.;

$k_{пер}$ – коефіцієнт пересадочності, який дорівнює відношенню кількості маршрутних поїздок за період обстеження до кількості мережевих поїздок (з пересадками) за той же період часу;

v_c – швидкість сполучення, км/год;

$l_{пер}$ – середня відстань пішого переходу пасажиром під час виконання пересадки, м.

У таблиці 3 наведені значення параметрів, що визначають умови поїздки пасажиром в заданих та фактичних умовах. Значення параметрів у фак-

Таблиця 3

Параметри, що визначають умови поїздки пасажиром у заданих та фактичних умовах

Параметр	Значення параметра для умов	
	заданих	фактичних
1. Щільність маршрутної мережі δ , км/км ²	2,5	1,56
2. Відстань між зупинками $(L_{мм}/N_{зуп})$, м	400	553
3. Середньодобовий мережевий інтервал руху \bar{l}_m , хв.	10	17,18
4. Коефіцієнт графічності руху k_r	1,0	0,91
5. Коефіцієнт якості руху $k_{яр}$	1,0	0,85
6. Відхилення в часі прибуття та відправлення маршрутних транспортних засобів Δi , хв.	0,0	3,0
7. Середня відстань поїздки пасажиром $l_{сер}$	5,75	5,75
8. Швидкість сполучення v_c , км/год.	20,0	21,04
9. Коефіцієнт пересадочності $k_{пер}$	1,0	1,10
10. Середньодобовий коефіцієнт використання пасажиромісткості рухомого складу γ_d	0,500	0,889
11. Середня відстань пішого переходу пасажиром при виконанні пересадки $l_{пер}$, м.	150	150

тичних умовах встановлені на підставі результатів обстеження пасажирських потоків.

Використовуючи формули (4)–(8), визначаємо витрати часу пасажирів на здійснення пересування:

1) для заданих умов: $t_{\text{під}} = 9,0$ хв.; $t_{\text{оч}} = 5,0$ хв.; $t_{\text{п}} = 18,98$ хв.; $t_{\text{відм}} = 0$; $t_{\text{зм}} = 0$; $t_{\text{пер}}^{\phi} = 11,64 + 5,0 + 18,98 + 0,0 + 0,0 = 32,95$ хв.;

2) для фактичних умов: $t_{\text{під}} = 13,76$ хв.; $t_{\text{оч}} = 10,18$ хв.; $t_{\text{п}} = 18,04$ хв.; $t_{\text{відм}} = 5,40$ хв.; $t_{\text{зм}} = 1,24$ хв.; $t_{\text{пер}}^{\phi} = 13,76 + 9,47 + 18,04 + 4,78 + 1,17 = 48,62$ хв.

Витрати часу пасажирів, пов'язані з відмовами в посадці, для фактичних умов розраховані за формулою

$$t_{\text{відм}}^{\phi} = \frac{t_{\text{відм}}^{\text{пик}} \cdot Q_{\text{пик}}}{Q_{\text{доб}}}, \quad (9)$$

де $t_{\text{відм}}^{\text{пик}}$ – витрати часу пасажирів, пов'язані з відмовами в посадці протягом години «пик», які розраховуються за формулою (8), в якій в якості $\gamma_{\text{д}}$ приймається зважений за обсягами перевезень на маршрутах динамічний коефіцієнт використання пасажиромісткості рухомого складу в години «пик»;

$Q_{\text{пик}}$ – обсяг перевезень пасажирів за ранкові та вечірні години «пик», пас.

За результатами обстеження пасажиропотоків визначено $\gamma_{\text{д}} = 1,35$, $Q_{\text{пик}} = 297102$ пас.

Таким чином, розрахунковий коефіцієнт якості транспортних послуг МГТ у місті Запоріжжя дорівнює

$$k_{\text{я}} = \frac{32,95}{48,62} = 0,677.$$

Згідно з рекомендаціями, наведеними в [14] для міст з населенням від 500 тис. до 1,0 млн. мешканців, значення коефіцієнту якості $k_{\text{я}} = 0,677$ відповідає рівню обслуговування «добре». Втім, це значення є близьким до нижньої границі такого рівня обслуговування ($k_{\text{я}} = 0,664 \dots 0,828$).

Слід констатувати, що МГТ міста Запоріжжя за середньодобовим показником витрат часу пасажиром на поїздку забезпечує добрий рівень якості обслуговування. Втім, при цьому незадовільні умови перевезення пасажирів у години «пик» у переповнених салонах маршрутних транспортних засобів та додатковий час очікування пасажирів на зупинках через відмови в посадці компенсуються відносно високою швидкістю пересування безпосередньо у транспортному засобі. Таку

ситуацію, з точки зору комфорту та безпечності поїздки пасажирів, не можна назвати доброю

Таким чином, першочерговими завданнями щодо удосконалення маршрутної системи МГТ міста Запоріжжя та підвищення рівня якості надання транспортних послуг пасажирів на підставі результатів комплексного обстеження пасажиропотоків є:

1) зниження значення маршрутного коефіцієнта шляхом зменшення ступеня дублювання маршрутів на маршрутній мережі з одночасним збільшенням щільності маршрутної мережі задля зменшення тривалості пішого пересування пасажирів до та від зупинок МГТ;

2) збільшення частки рухомого складу класу І (пасажиромісткістю понад 22 пасажирів) та підвищення регулярності його руху згідно з встановленим та оголошеним розкладом. Це дозволить забезпечити прийнятну ступінь наповнення салону маршрутних транспортних засобів у години «пик»; зменшити інтенсивність їх руху на транспортній мережі міста та пов'язані із цим витрати часу на технічні операції під час під'їзду та від'їзду від зупинок; зменшити додаткові витрати часу пасажирів на очікування транспорту на зупинках, пов'язані з відхиленнями від встановленого графіку руху.

Висновки. На підставі результатів комплексного обстеження пасажирських потоків у місті Запоріжжя (Україна) у 2017 році проаналізовано розвиток маршрутної мережі міського громадського транспорту міста та встановлені основні результативні показники пасажироперевезень.

Встановлено, що за показником якості, що визначається на підставі заданих та фактичних витрат часу пасажирів на пересування містом із використанням громадського транспорту, останній забезпечує якість послуг, що відповідає рівню «добре». При цьому, однак, за відносно великої швидкості пересування в транспортному засобі загалом умови перевезення пасажирів у години «пик» є незадовільними.

Сформульовано основні завдання щодо усунення недоліків в організації маршрутної системи та використанні рухомого складу на міських маршрутах міста Запоріжжя з метою підвищення рівня якості транспортних послуг.

Список літератури:

1. Шевченко І.Ю. Регіональна диференціація автомобілізації населення України. Економіка: реалії часу. 2015. № 3(19). С. 41.
2. Спирин І.В. Перевозки пасажирів городским транспортом. Москва: ИКЦ «Академкнига», 2004. 413 с.
3. Litman T. Valuing transit service quality improvements. Journal of Public transportation. 2008. № 11(2). P. 43–63.
4. Аулін В.В., Голуб Д.В. Якість перевезень пасажирів як невід’ємна частина транспортного процесу. Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського. 2008. № 5(52). С. 80–84.
5. Вінниченко В.С., Тарасюк І.Ю. Аналіз факторів і умов, які впливають на якість пасажирських перевезень на міському пасажирському транспорті. Комунальне господарство міст. 2011. № 99. С. 369–374.
6. Вакуленко К.С., Харченко В.Ф. Щодо якості перевезень на маршрутах міського пасажирського транспорту. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2012. № 3(4), С. 57–59.
7. Кужель В.П., Іщенко А.П., Бишко М.О. Визначення рівня якості пасажирських перевезень з позиції пасажирів. Вісник СНУ ім. Володимира Даля. 2013. № 15. С. 274–278.
8. Єрмак О.М., Пустовіт В.І. Щодо визначення якості пасажирських перевезень. Наукові нотатки. 2014. № 46. С. 170–176.
9. Transit Capacity and Quality of Service Manual, Third Edition : TRCP Report 165 / KFH Group [et al.]. Washington D.C.: Transportation Research Board, 2013. 685 p.
10. Maraglino V., dell’Olio L., Borri D., Portilla, A. I. Methodology for a study of the perceived quality of public transport in Santander. Procedia-Social and Behavioral Sciences. 2014. № 160, P. 499–508.
11. Eboli L., Mazzulla G. A new customer satisfaction index for evaluating transit service quality. Journal of Public transportation. 2009. № 12(3). P. 21–37.
12. Das S., Pandit D. Importance of user perception in evaluating level of service for bus transit for a developing country like India: a review. Transport Reviews. 2013. № 33(4). P. 402–420.
13. Ефремов І.С., Кобозев В.А., Юдин В.А. Теория городских пассажирских перевозок. Москва: Высшая школа, 1980. 535 с.
14. Штанов В.Ф., Поберезкин Г.А., Іщенко В.І., Чумаченко А.І. Организация перевозок пассажиров автомобильным транспортом. Киев: Техника, 1988. 94 с.

АНАЛІЗ РАЗВИТИЯ И УРОВНЯ КАЧЕСТВА УСЛУГ ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА ЗАПОРОЖЬЯ

В статье выполнен анализ современного состояния системы городского маршрутного пассажирского транспорта города Запорожье (Украина). На основании результатов комплексного обследования пассажиропотоков установлены основные показатели развития маршрутной сети и результативные показатели пассажироперевозок. Определен уровень качества транспортных услуг, и сформулированы мероприятия по его повышению.

Ключевые слова: общественный транспорт, маршрутная система, пассажирские потоки, уровень качества услуг.

PUBLIC TRANSIT IN ZAPORIZHZHIA CITY: DEVELOPMENT AND LEVEL OF SERVICE

The article is devoted the modern state of public transit system in Zaporizhzhia city (Ukraine). With using results of complex passenger flows research, the main indicators of transit network development and operative efficiency are determined. Level of public transit service is calculated and recommendations are given for its improving.

Key words: public transit, route system, passenger flows, level of service.

Ловська А.О.

Український державний університет залізничного транспорту

Рибін А.В.

Український державний університет залізничного транспорту

МОДАЛЬНИЙ АНАЛІЗ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ ВАГОНА-ПЛАТФОРМИ ЗЧЛЕНОВАНОГО ТИПУ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ПОРОМІ

У статті наведено результати визначення частот і форм коливань несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу при перевезенні на залізничному поромі. Проведені дослідження сприятимуть підвищенню ефективності експлуатації комбінованого транспорту в спектрі міжнародних транспортних перевезень.

Ключові слова: вагон-платформа, коливання, частоти, форми коливань, залізнично-поромні перевезення.

Постановка проблеми. Розвиток конкурентного середовища на ринку залізничних послуг, а також підвищення ефективності його функціонування вимагає введення в експлуатацію рухомого складу нового покоління, а також комбінованих транспортних систем. Одними з найбільш перспективних серед таких систем є залізнично-поромні перевезення. Цей вид перевезень характеризується можливістю слідування вагонів морем на спеціально обладнаних для цього судах – залізничних поромах.

Натепер залізнично-поромні маршрути сполучають Україну з Болгарією, Грузією та Туреччиною. А з 2016 р. ще із Китаєм через транспортний коридор новий «Шовковий шлях», складовою частиною якого є залізнично-поромний маршрут через акваторію Чорного моря.

У майбутньому прогнозується розширення географії залізнично-поромних сполучень через акваторію Чорного моря, що пояснюється прискореними темпами інтеграції країн чорноморського басейну в систему міжнародних транспортних коридорів.

Перевезення рухомого складу, зокрема вагонів-платформ, на залізничному поромі супроводжується дією на їх несучі конструкції значних величин навантажень, чисельні значення яких перевищують ті, що діють при експлуатації відносно рейкових колій. Це може спричинити пошкодження конструкційних елементів вагонів, за яких відбувається їх закріплення відносно палуб (рис. 1).

У зв'язку з цим необхідним є удосконалення несучих конструкцій вагонів для забезпечення надійності їх закріплення відносно палуб, а також урахування на стадії проектування уточнених величин динамічних навантажень, що діють на них при перевезенні на залізничному поромі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання удосконалення комбінованих перевезень, зокрема контейнерних, розглянуті у [1], де проведений аналіз особливостей кріплення контейнерів на вагонах-платформах. Із метою підвищення техніко-економічних показників вагонів при перевезенні контейнерів різного типорозміру проведено обґрунтування удосконалення конструкцій довгобазних вагонів-платформ та вагонів-платформ зчленованого типу для цих перевезень.

Конструкційні особливості вагона для інтермодальних перевезень розглянуті у [2]. Вагон має понижено середню частину, а наявність оборотної частини дає можливість здійснювати завантаження/вивантаження автотехніки на/з нього самокатом.

Аналіз конструкції вагона-платформи нового покоління наведений у [3]. Особливістю вагона-платформи є можливість регулювання корисної довжини залежно від габаритів вантажу.

Питання щодо створення ідеальних несучих конструкцій залізничних транспортних засобів та вимоги, яким вони повинні відповідати на сучасному етапі розвитку висвітлені у [4; 5].

Особливості дослідження динамічних якостей зчленованого вагона-платформи на математичних моделях розглядаються у [6]. У статті наведено оцінку власних форм коливань та стійкості незбуреного руху, дослідження динамічних якостей на нелінійній моделі зчленованого вагона-платформи.

Поліпшення технічних характеристик секційного вагона-платформи шляхом удосконалення його конструкції наведені у [7]. У роботі наводяться математичні моделі, які дозволяють визначити динамічні характеристики вагона-платформи зчленованого типу. Отримані теоретичні розрахунки підтверджені шляхом експериментальних досліджень міцності вагона-платформи.

Методологія визначення характеристик власних тонів коливань конструкцій, що є сукупністю окремих складових частин, за результатами динамічних випробувань цих складових частин наведені у [8].

У розглянутих працях не проводяться дослідження щодо можливості експлуатації запропонованих конструкцій вагонів у міжнародному залізнично-водному сполученні, а також їх модальний аналіз.

Постановка завдання. Модальний аналіз несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу при перевезенні на залізничному поромі за допомогою засобів комп'ютерного моделювання.

Виклад основного матеріалу дослідження. Недостатній рівень поповнення вагонного парку

Українській залізниці зумовлює необхідність впровадження в експлуатацію нових технічних рішень щодо удосконалення існуючих несучих конструкцій вагонів для підвищення ефективності функціонування комбінованого транспорту. Тому запропоновано створення вагона-платформи зчленованого типу на базі моделі 13-401 [9; 10].

Із метою можливості перевезення вагона-платформи зчленованого типу на залізничному поромі пропонується встановлення на його несучій конструкції вузлів для закріплення ланцюгових стяжок [11] (рис. 2).

Розміщення вузлів закріплення пропонується здійснювати на шворневих балках вагона-платформи, що дозволить забезпечити просторове розміщення ланцюгової стяжки та відповідність кутів її нахилу у просторі нормативним документам [12]. Із боку зон обпирання секцій на середній візок розміщення вузлів здійснюється на надбудовах коробчастого перетину [9].

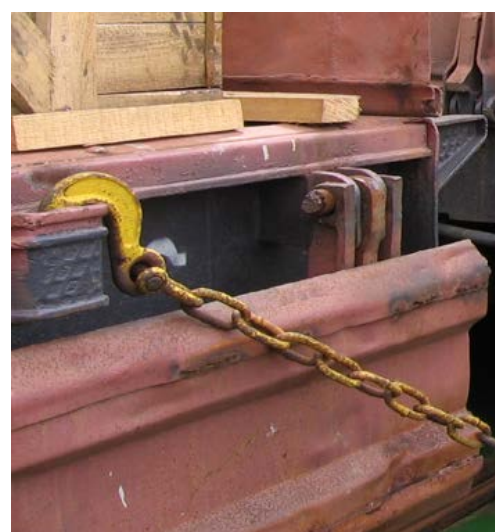
Розрахунок на міцність несучої конструкції вагона-платформи при перевезенні на залізничному поромі дозволив зробити висновок, що максимальні еквівалентні напруження не перевищують допустимі.

Для визначення частот та форм коливань несучої конструкції вагона-платформи при перевезенні на залізничному поромі проведений модальний аналіз у середовищі програмного забезпечення CosmosWorks [13].

Розрахунок проведений за методом скінчених елементів.



а)



б)

Рис. 1. Закріплення вагона-платформи відносно палуби залізничного порому
а) закріплення двох ланцюгових стяжок за проміжну скобу лісової стійки;
б) закріплення однієї ланцюгової стяжки за крайню від консолі скобу лісової стійки

Закріплення моделі здійснювалося у зонах обпирання несучої конструкції на візки та робочі поверхні механічних упор-домкратів. Для цього на рамі вагона-платформи встановлювалися накладки круглої форми, діаметр яких дорівнює діаметру робочої частини упор-домкрата.

Матеріалом конструкції є сталь марки 09Г2С зі значенням межі плинності 345 МПа та межі міцності 490 МПа [14].

Враховано, що на кожній секції вагона-платформи розміщується по два контейнери типорозміру 1СС (рис. 3).

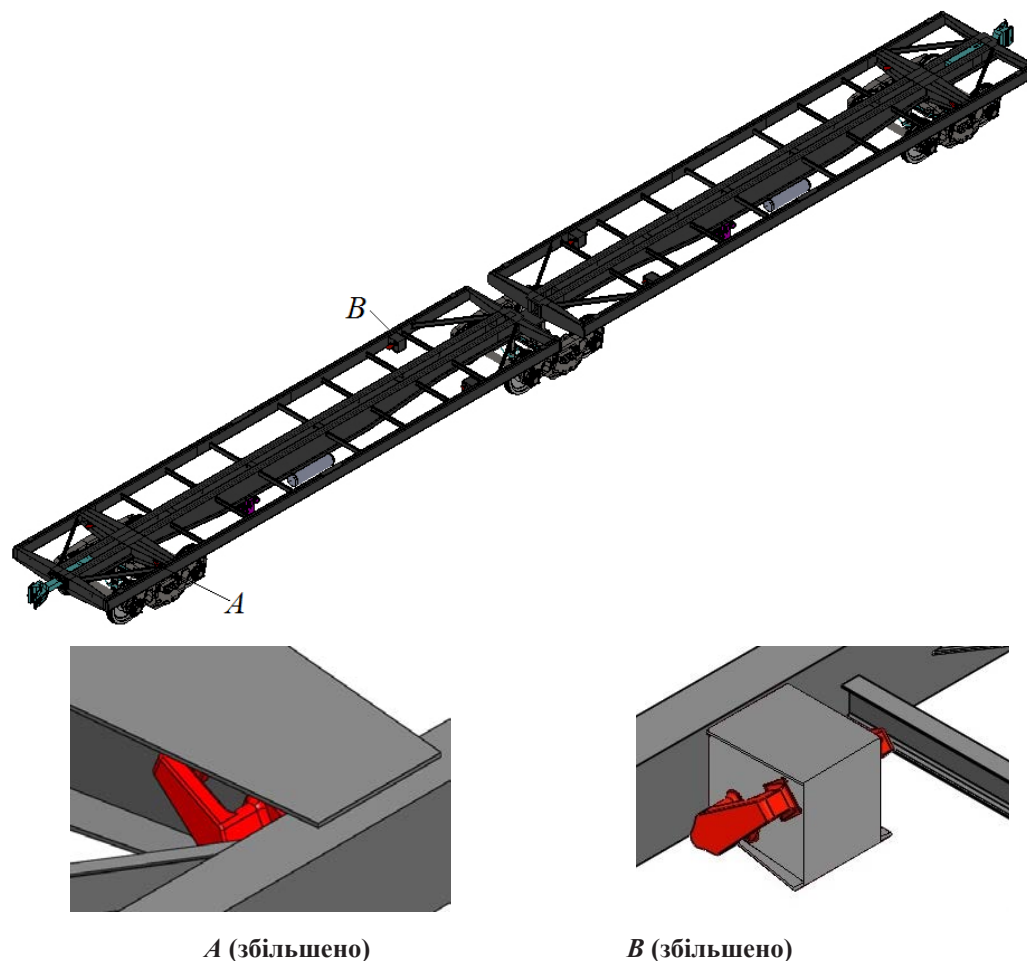


Рис. 2. Удосконалена несуча конструкція вагона-платформи зчленованого типу з вузлами для закріплення відносно палуби залізничного порому

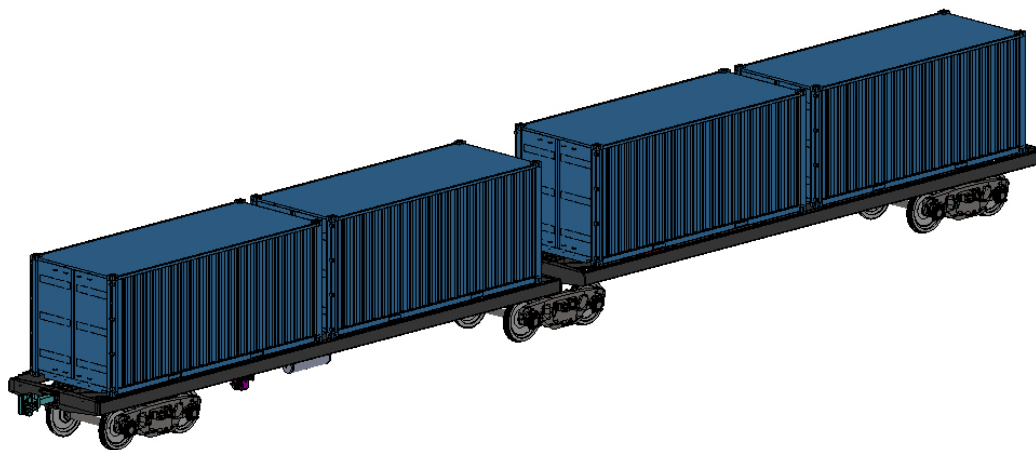


Рис. 3. Розміщення контейнерів типорозміру 1СС на удосконаленій несучій конструкції вагона-платформи

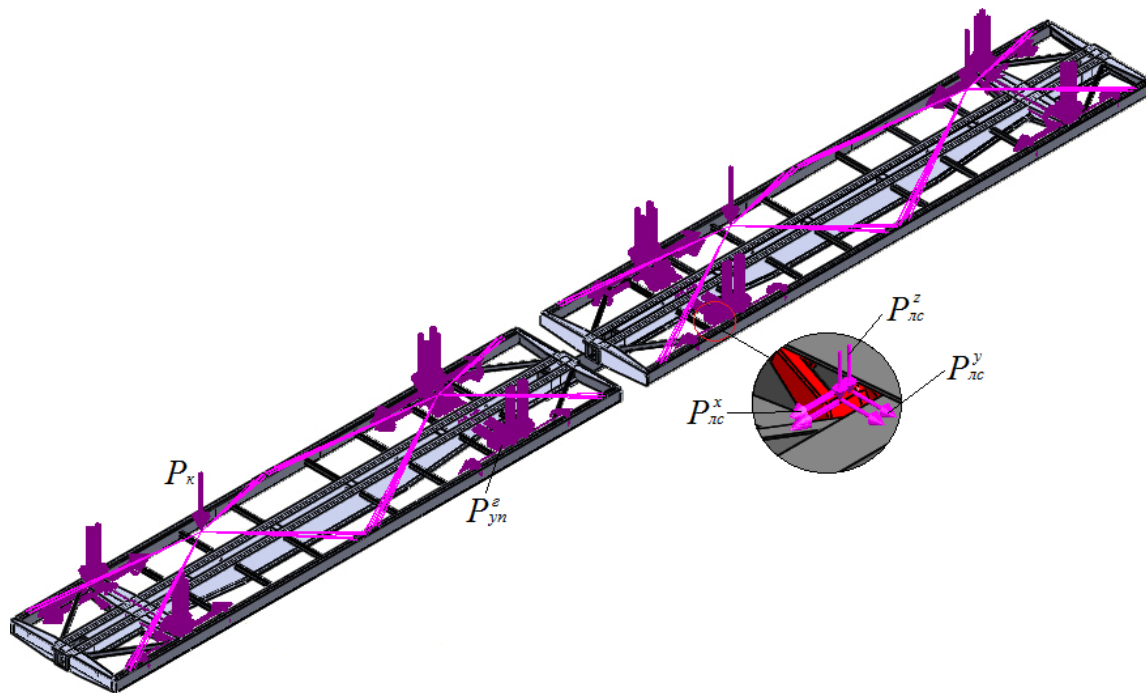


Рис. 4. Модель міцності удосконаленої несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу з вузлами для закріплення відносно палуби залізничного порому

При складанні моделі міцності несучої конструкції вагона-платформи до уваги прийнято вертикальне навантаження у зонах опирання контейнерів на фітингові упори P_k , що розглянуто у вигляді дистанційного, рівнодіюча якого знаходиться у центрі ваги контейнера та розподілене на чотири фітингові упори; горизонтальне, яке діє на фітинговий упор вагона-платформи від фітинга контейнера при його кутових переміщеннях відносно повздовжньої осі P_{yn}^z ; зусилля від ланцюгових стяжок на вузли для закріплення відносно палуби $P_{лс}^i$. Оскільки ланцюгова стяжка має просторове розміщення, то зусилля, що діє на вузол закріплення від неї розкладалося на три складові (рис. 4).

Для визначення оптимальної кількості елементів сітки застосований графоаналітичний метод. Кількість вузлів сітки склала 148 723, елементів – 462 131. Максимальний розмір елементу дорівнює 200 мм, мінімальний – 40 мм. Мінімальна кількість елементів в колі склала 9, співвідношення збільшення розмірів елементів у сітці – 1,7. Максимальне співвідношення боків – 6 182,6, відсоток елементів зі співвідношенням боків менше 3 – 13,4, більше 10 – 33,7. Мінімальна кількість елементів у колі склала 9, співвідношення збільшення розмірів елементів у сітці – 1,7.

Схеми непарних форм коливань несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу при перевезенні на залізничному порому зображені на

Таблиця 1

Чисельні значення критичних частот коливань несучої конструкції вагона-платформи

Форма коливань	Частота, рад/с	Частота, Гц
1	93,22	14,83
2	93,27	14,84
3	125,45	19,97
4	126,1	20,07
5	147,96	23,55
6	149,42	23,78
7	221,4	35,24
8	223,77	35,61

Таблиця 2

Чисельні значення переміщень несучої конструкції вагона-платформи відносно основних осей координат (масова участь)

Форма коливань	Напрямок переміщень відносно осі		
	X	Y	Z
1	$4,55 \cdot 10^{-8}$	0,24	$5,79 \cdot 10^{-6}$
2	$4,93 \cdot 10^{-10}$	0,24	$2,16 \cdot 10^{-6}$
3	$1,96 \cdot 10^{-4}$	$2,84 \cdot 10^{-6}$	0,21
4	$1,94 \cdot 10^{-4}$	$1,31 \cdot 10^{-5}$	0,21
5	$5,73 \cdot 10^{-8}$	$1,98 \cdot 10^{-3}$	$7,88 \cdot 10^{-5}$
6	$6,89 \cdot 10^{-7}$	$1,84 \cdot 10^{-3}$	$6,08 \cdot 10^{-4}$
7	$2,24 \cdot 10^{-4}$	$2,38 \cdot 10^{-6}$	$1,81 \cdot 10^{-3}$
8	$2,32 \cdot 10^{-4}$	$4,4 \cdot 10^{-7}$	$1,38 \cdot 10^{-3}$

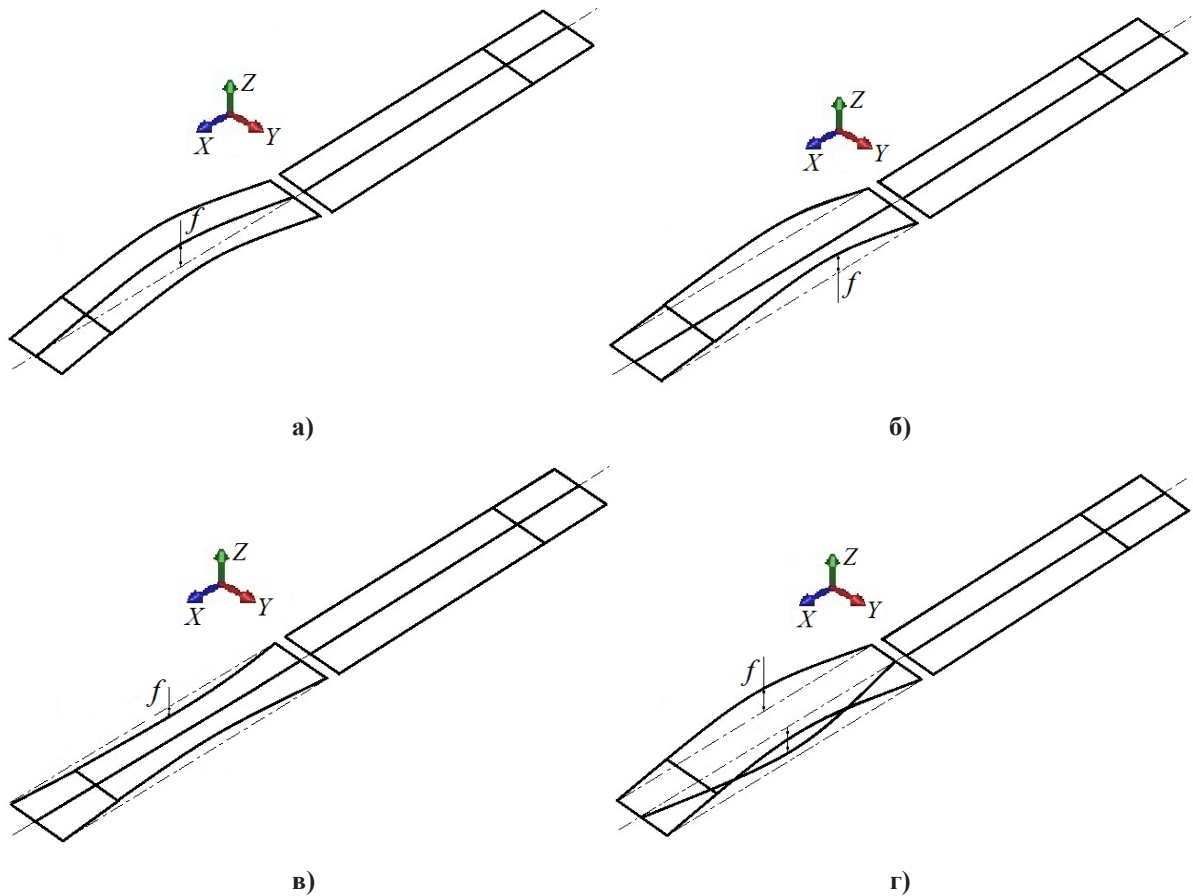


Рис. 5. Схеми форм коливань несучої конструкції вагона-платформи а) для першої частоти; б) для третьої частоти; в) для п'ятої частоти; г) для сьомої частоти

рис. 5. Чисельні значення критичних частот коливань наведені у табл. 1, а чисельні значення переміщень у несучій конструкції вагона-платформи в табл. 2.

Парні частоти коливань відповідають переміщенням другої секції вагона-платформи, тобто віддзеркалюють форми коливань першої секції.

На підставі проведених досліджень можна зробити висновок, що значення частот коливань знаходяться в межах допустимих [14].

Висновки. На підставі проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1) для підвищення ефективності комбінованих перевезень запропоновано виготовлення

зчленованого вагона-платформи на базі існуючої конструкції. Особливістю несучої конструкції вагона-платформи є розміщення на ній вузлів для закріплення ланцюгових стяжок із метою можливості перевезення на залізничних поромках морем;

2) результати досліджень частот та форм коливань несучої конструкції вагона-платформи при перевезенні на залізничному поромі показали, що значення критичних частот коливань знаходяться в межах допустимих;

3) проведені дослідження сприятимуть підвищенню ефективності комбінованого транспорту в напрямку міжнародних транспортних коридорів.

Список літератури:

1. Мямлин С., Шатунов А., Сороколет А. Подвижной состав для перевозки контейнеров железнодорожным транспортом. Сб. науч. трудов ДонИЖТ. 2010. Вып. 22. С. 125–132.
2. Krason W., Niezgodna T. Fe numerical tests of railway wagon for intermodal transport according to PN-EU standards. Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences. 2014. Vol. 62, Iss. 4. P. 843–851.
3. WBN Waggonbau Niesky GmbH: Developing a flexible platform of freight wagons. Intern. Edition. 2016. № 1. P. 46.
4. Fomin O. Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model. Scientific and technical journal “Metallurgical and Mining Industry”. 2015. № 1. P.45–48.
5. Kelrykh M., Fomin O. Perspective directions of planning carrying systems of gondolas. Scientific and technical journal “Metallurgical and Mining Industry”. 2014. № 6. P. 64–67.
6. Рудакова Е., Орлова А. Исследование динамических качеств сочлененного вагона-платформы на математических моделях. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. 2008. Вип. 23. С. 85–88.
7. Гуржи Н. Поліпшення технічних характеристик секційного вагону-платформи шляхом вдосконалення конструкції: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07. Дніпропетровськ, 2010. 20 с.
8. Бернс В., Долгополов А., Маринин А. Модальный анализ конструкций по результатам испытаний их составных частей. Доклады АН ВШ РФ. 2014. № 1 (22). С. 34–42.
9. Ловська А. О. Удосконалення несучої конструкції вагона-платформи для підвищення ефективності контейнерних перевезень. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. 2017. Вип. 1 (67). С. 168–183.
10. Ловська А. Особливості моделювання динамічної завантаженості вагона-платформи зчленованого типу з контейнерами. Зб. наук. праць. СХУ ім. В. Даля. 2017. С. 138–145.
11. Візник Р., Ловська А., Кеба Е. Розробка заходів щодо забезпечення збереження та адаптування конструкцій вагонів до їх надійної взаємодії з багатообертовими пристроями закріплення відносно палуб залізничних поромів. Зб. наук. праць ДонІЗТ. 2010. Вип. 21. С. 110–119.
12. Наставление по креплению генеральных грузов при морской перевозке для т/х «Герои Шипки». № 2512. 02. Одесса, 1997. 51 с.
13. Алямовский А. SolidWorks/COSMOSWorks 2006–2007. Инженерный анализ методом конечных элементов. М., 2007. 784 с.
14. ГОСТ 33211:2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. М. 2016. 54 с. ГОСТ 33211-2014.

МОДАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ ВАГОНА-ПЛАТФОРМЫ СОЧЛЕНЕННОГО ТИПА ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ПАРОМЕ

В статье представлены результаты определения частот и форм колебаний несущей конструкции вагона-платформы сочлененного типа при перевозке на железнодорожном пароме. Проведенные исследования будут способствовать повышению эффективности эксплуатации комбинированного транспорта в спектре международных транспортных коридоров.

Ключевые слова: вагон-платформа, колебание, частоты, формы колебаний, железнодорожно-паромные перевозки.

THE MODAL ANALYSIS OF THE CARRYING STRUCTURE OF AN ARTICULATED FLAT WAGON IN RAIL FERRY TRANSPORTATION

The article presents results of the research into the frequencies and modes of articulated flat wagons when transferring by train ferries. The research conducted enhances the higher efficiency of combined transportation along international transport corridors.

Key words: wagon-platform, oscillation, frequencies, vibration modes, railway-ferry transportations.

БУДІВНИЦТВО

УДК 69.059.7

Ковальов В.В.

ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

Броневицький С.П.

КО «Інститут Генерального плану м. Києва»

ПЛАНУВАННЯ ЗАХОДІВ ЩОДО МОДЕРНІЗАЦІЇ ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ ПІД ЧАС КОМПЛЕКСНОЇ РЕКОНСТРУКЦІЇ МІСЬКОЇ ЗАБУДОВИ

Метою статті є аналіз перспектив розвитку промислових та комунально-складських територій із визначенням оптимального використання. Виконано аналіз існуючого використання промислових територій на підставі статистичних даних. Виконано аналіз ефективності використання промислових територій Києва. Проведені дослідження дають можливість науково обґрунтувати принципи планування заходів щодо модернізації промислових об'єктів під час комплексної реконструкції міської забудови. Планування заходів щодо модернізації промислових об'єктів під час комплексної реконструкції міської забудови має ґрунтуватись на оцінці перспектив розвитку промислових та складських територій із визначенням оптимального їх використання.

Ключові слова: комплексна реконструкція, модернізація, вторинна забудова, промислові підприємства, раціональне використання територій.

Постановка проблеми. Трансформаційні процеси в політичній та економічній сферах діяльності держави обумовили докорінні зміни в структурі попиту на промислову продукцію, зокрема зменшилося або зовсім припинилося виробництво окремих видів продукції внутрішнього споживання, яке не витримало тиску імпорту.

У результаті цих процесів багато підприємств, суттєво знизивши обсяги виробництва, продовжують займати великі земельні ділянки, мати значні виробничі площі і потужності, які не використовуються в інтересах міста та держави, і тому вони або простоюють, або здаються в оренду під склади та інші цілі, не пов'язані з промисловим виробництвом.

Таким чином, особливе значення для розвитку міста має територіальна реструктуризація промислово-виробничого комплексу, необхідність вирішення цілої низки проблем. З одного боку, це проблеми територіально-планувального і екологічного характеру (неефективне використання території, хаотичність, порушення функціонального зонування і правил забудови, порушення зв'язків житлових районів, порушення меж санітарно-захисних і водозахисних зон, високе еко-

логічне навантаження на сельбищні території, проблеми утилізації відходів), з іншого боку, це фінансово-економічні і правові проблеми [1; 6; 7].

Аналіз досліджень та публікацій. Подальший розвиток міст зазвичай пов'язують із потребою в територіальних ресурсах, проте сьогодні в більшості великих міст України територіальні резерви вичерпані. Таким чином, на сьогодні забезпечення сталого розвитку великих міст України неможливе без вирішення проблем реконструкції деградованих міських територій, зайнятих занедбаними будівлями і спорудами промислових та складських підприємств. При цьому необхідно застосовувати системний підхід, який передбачає не лише реконструкцію будівель і споруд промислових підприємств із можливою зміною їх функціонального призначення, але й розвиток об'єктів інфраструктури. У такому випадку реконструкція будівель і споруд промислових та складських підприємств дозволить створити нове житло, нові робочі місця, забезпечити розвиток інженерної, вулично-дорожньої та транспортної інфраструктури, а також забезпечить можливість підвищення вартості прилеглих земельних ділянок [3–5; 8–15].

Метою статті є аналіз перспектив розвитку промислових та комунально-складських територій із визначенням оптимального використання.

Виклад матеріалу. Комунально-складська зона м. Київ призначена для розміщення окремих підприємств, які забезпечують потреби населення в зберіганні та розподілі товарів, комунальних і побутових послугах із загальними для них об'єктами інженерно-технічного забезпечення.

Частина промислових районів сформувались, головним чином, як комунально-складські з окремим включенням промислових підприємств. Це такі промислові утворення: Біличі, біля станції Пост-Волинський, Пирогово, Воскресенський, Позняки, Бортничі.

Більша частина комунально-складських територій розташована на правобережжі на території промислових утворень: промислові райони «Подільсько-Куренівський» – 530,36 га, «Нивки» – 123,91 га, «Теличка» – 176,74 га, «Корчувате» – 55,0 га, «Відрадний» – 329,19 га.

На лівобережжі комунально-складська територія також знаходиться в складі промислово виробничих районів «Дарницький» – 399,41 га, «Дніпровський» – 259,36 га, «Троєщина» – 239,19 га, промислові зони «Бортничі» – 25,08 га, «Березняки» – 35,31 га, «Позняки» – 104,36 га.

Розташовані за межами промислових утворень комунально-складські підприємства міста займають 815,93 га території.

У планувальній структурі міста бази і склади розміщені нерівномірно. Найменша їх кількість розташована в центральній частині міста, найбільша – в Дарницькому, Солом'янському та Оболонському районах. Деякі з таких складських підприємств розташовані на затиснутих і незручних за конфігурацією ділянках в оточенні щільно забудованих житлових кварталів, що виключає можливість їх послідовної реконструкції та розвитку.

Відкриті автостоянки та гаражі є складовою частиною всіх промислових утворень, а також знаходяться поза їх межами (табл. 1) [2].

Отже, територія, на якій розташовані металеві та цегляні одноповерхові гаражі та відкриті автостоянки, складає 621,9 га території міста. Таке використання території міста є неефективним. Тому її необхідно розглядати як резерв для будівництва об'єктів.

Під час планування розміщення нових за функціональним призначенням об'єктів враховується:

- зручне транспортне сполучення;
- наявність кваліфікованої робочої сили;
- наявність соціальної та виробничої інфраструктури.

Основними заходами з ліквідації проблем та запровадження основних пріоритетів розвитку промисловості, раціонального використання промислових і комунально-складських територій є:

- формування організаційних і правових механізмів територіальної реструктуризації (модерні-

Таблиця 1

Площа автостоянок, розташованих в межах промислових зон

№ з/п	Назва промислових утворень	Площа гаражів, автостоянок, га
1	Промзона «Біличі»	0,95
2	Промрайон «Нивки»	18,5
3	Промрайон «Микільська Борщагівка»	7,1
4	Промрайон «Відрадний»	15,5
5	Промзона «По вулиці Дегтярівській»	0,0
6	Промрайон «Біля станції Пост-Волинський»	9,1
7	Промрайон «Подільсько-Куренівський»	43,23
8	Промрайон «Теличка»	22,49
9	Промзона «Корчувате»	14,0
10	Промзона «Пирогово»	0,0
11	Промрайон «Воскресенський»	5,04
12	Промрайон «Дніпровський»	13,46
13	Промзона «Березняки»	2,72
14	Промзона «Позняки»	16,17
15	Промрайон «Дарницький»	39,32
16	Промзона «По вулиці Васильківській»	1,5
17	Промзона «Бортничі»	17,06
18	Промрайон «Троєщина»	64,80
19	Промзона «Осокорки»	0,0
20	Промзона «Бортничі-22»	0,0
21	Окремо розташовані гаражі, автостоянки	330,96
	Разом	621,9

зації) та оптимізації розташування промислових підприємств, які не потребують особливої кваліфікаційної підготовки та розміщення яких у місті не лімітується транспортно-економічною та технологічною необхідністю (в першу чергу, підприємства будівельної індустрії та складського господарства);

– вивільнення частини земельних ділянок та виробничих площ для передачі їх іншим користувачам;

– проведення моніторингу оцінки ефективності використання промислових і комунально-складських територій;

– реструктуризація значної частини територій із метою підвищення ефективності їх використання, перетворення промислових й комунально-складських територій із соціально й екологічно небезпечних деградованих територій у сучасні зони ділової активності, технологічно оновлені технопростори для впровадження новітніх технологій, наукових ідей українських учених і винахідників, залучення міжнародних інвестицій і світового капіталу;

– реструктуризація деградованих промислових та комунально-складських територій під багатофункціональну та ділову забудову для забезпечення ефективного використання територій та комплексності забудови з розміщенням необхідної кількості стоянок транспорту, озеленення та інших заходів щодо забезпечення комфортних умов для працюючих;

– освоєння в обмежених розмірах нових територій для промислово-комунальної забудови в існуючих межах м. Києва (території в промрайонах «Троєщина» та «Осокорки», які повинні бути побудовані за новітніми технологіями та не бути джерелами викидів шкідливих речовин, не створювати шуму, вібрації, електромагнітних та іонізуючих випромінювань вище нормативних рівнів);

– забезпечення санітарного та екологічного оздоровлення середовища, ефективного використання та суттєвого поліпшення архітектурної та естетичної якості забудови промислових районів та вузлів, окремих промислових зон, існуючих промислових та комунально-складських підприємств;

– зменшення загальної площі промислових та комунально-складських територій за рахунок підвищення ефективності використання земельних ділянок та виробничих фондів, використання підземного простору;

– формування інноваційних та технологічних парків, створення індустріальних парків та в пер-

спективі кластерних об'єднань на територіях промислово-виробничих районів «Нивки», «Дніпровський», «Троєщина», «Подільсько-Куренівський», «Позняки» та інших;

– збереження та інтенсифікація бюджетоутворюючих підприємств, які здійснюють успішну виробничу діяльність, мають високоякісну забудову та є екологічно безпечними в периферійній зоні міста, та окремих підприємств в центральних районах міста;

– перепрофілювання частини виробничих територій для громадської багатофункціональної, житлової багатоквартирної забудови, озеленення та інженерно-транспортної інфраструктури у промрайонах «Микільська Борщагівка», «Подільсько-Куренівський», «Нивки», «Теличка», «Пирогово», «Корчувате», «Дніпровський», «Дарницький», «Воскресеньський», «Троєщина» та інших;

– реконструкція та переоснащення промислових підприємств, що розміщені в центральній частині міста, на сельбищних та ландшафтно-рекреаційних територіях та забруднюють навколишнє природне середовище і негативно впливають на здоров'я; в разі невпровадження заходів із мінімізації шкідливих викидів зміна функціонального призначення ділянок цих підприємств під громадську та житлову забудову, озеленення та паркінги;

– реструктуризація із зміною функціонального призначення для відродження природного комплексу частини територій промислових підприємств у прибережних смугах акваторії Дніпра в промрайоні «Теличка» і в «Подільсько-Куренівському» промрайоні, а також для озеленення санітарно-захисних зон;

– розвиток транспортної інфраструктури міста за рахунок використання частини промислових територій в Оболонському, Подільському, Деснянському та Дарницькому районах для будівництва нових електродепо, магістралей та реконструкції існуючих вулиць;

– поліпшення інженерної підготовки та інфраструктурного забезпечення територій для її комплексного освоєння та можливості забезпечення найбільш сприятливих умов для вкладення інвестицій [2; 5; 7].

Висновки. Планування заходів щодо модернізації промислових об'єктів під час комплексної реконструкції міської забудови має ґрунтуватися на оцінці перспектив розвитку промислових та складських територій із визначенням оптимального їх використання.

Список літератури:

1. Стратегія розвитку міста Києва до 2025 року. Рішення Київської міської ради від 15 листопада 2011 р. № 824/7060. URL: search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/MR11160A.html (дата звернення: 10.03.2018).
2. Броневицький С., Присяжнюк В., Дьомін М., Целовальник С., Куделін А., Нечаєва Т. Генеральний план м. Києва: основні положення. Київ, КМДА, 2015. 134 с.
3. Броневицький С.П. Розвиток організаційно-технологічних основ будівництва доступного житла з урахуванням містоформуючих особливостей територій великих міст: дис. ... докт. техн. наук: 05.23.08. Дніпропетровськ, 2015. 383 с.
4. Запотоцький С., Левицька О. Ревіталізація промислових об'єктів міста (на прикладі м. Івано-Франківська). Часопис соціально-економічної географії. 2016. № 2(21). С. 102.
5. Ковальов В.В. Обґрунтування доцільності функціонального переосвоєння територій великих міст. Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. 2017. № 4. С. 71.
6. Компактний город. URL: <https://ru.wikipedia.org> (дата звернення: 10.03.2018).
7. Кравчуновська Т.С., Броневицький С.П., Разумова О.В., Ковальов В.В. Аналіз ресурсів для потенційної вторинної забудови та комплексної реконструкції міських територій. Строительство, материаловедение, машиностроение. 2016. Вып. 91. С. 70–76.
8. Назарова М.В. Современный опыт реконструкции объектов промышленной архитектуры под жилье (Европа, США, Австралия). URL: elima.ru/articles/index.php?id=73 (дата звернення: 10.03.2018).
9. Осипов О.Ф. Система обґрунтування та вибору організаційно-технологічних рішень реконструкції будівель: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.23.08. Одеса, 2015. 43 с.
10. Редевелопмент: новая жизнь промышленных зданий. URL: <http://ma-arch.com.ua/редевелопмент-новая-жизнь-промышлен/> (дата звернення: 10.03.2018).
11. Савйовський В.В., Броневицький А.П., Каржинерова О.Г. Ревіталізація – екологічна реконструкція міської забудови. Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. 2014. № 8. С. 47.
12. Седін В.Л., Ковальов В.В., Кравчуновська Т.С. Розвиток методів оцінки, аналізу, обґрунтування і вибору раціональних організаційно-технологічних рішень реконструкції промислових підприємств. Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. 2017. № 2. С. 49.
13. Richard L., Eschemuller J. Urban construction project management. New York: McGraw-Hill, 2008. 480 p.
14. Sarka V., Zavadskas E.K., Ustinovicus L., Sarkiene E., Ignatavicius C. System of project multicriteria decision synthesis in construction. Technological and Economic Development of Economy: Baltic Journal on Sustainability. 2008. Vol. 14, № 4. P. 546–565.
15. Sidney V.L. Project management in construction. New York: McGraw-Hill, 2006. 402 p.

ПЛАНИРОВАНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

Целью статьи является анализ перспектив развития промышленных и коммунально-складских территорий с определением оптимального использования. Выполнен анализ существующего использования промышленных территорий на основании статистических данных. Выполнен анализ эффективности использования промышленных территорий Киева. Проведенные исследования дают возможность научно обосновать принципы планирования мероприятий по модернизации промышленных объектов при комплексной реконструкции городской застройки. Планирование мероприятий по модернизации промышленных объектов при комплексной реконструкции городской застройки должно основываться на оценке перспектив развития промышленных и складских территорий с определением оптимального их использования.

Ключевые слова: комплексная реконструкция, модернизация, вторичная застройка, промышленные предприятия, рациональное использование территорий.

PLANNING MEASURES ON MODERNIZATION OF INDUSTRIAL OBJECTS IN RECONSTRUCTION OF URBAN DEVELOPMENT

The purpose is analysis of the prospects of development of industrial and municipal-warehousing areas with the definition of optimal use. The analysis of the existing use of industrial areas on the basis of statistical data are given. The analysis of efficiency of use of industrial territories of Kyiv is carried out. The conducted researches give an opportunity to scientifically substantiate the principles of planning measures for the modernization of industrial objects with a complex reconstruction of urban development. The planning of measures for the modernization of industrial facilities in the context of a complex urban development reconstruction should be based on an assessment of the prospects for the development of industrial and warehouse territories with an optimal use of them.

Key words: complex reconstruction, modernization, secondary development, industrial enterprises, rational use of territories.

УДК 624.131.5

Лучковский И.Я.

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

Чепурной Д.А.

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

Есакова С.В.

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

АКТИВНОЕ ДАВЛЕНИЕ ГРУНТА ПРИ ГИБКОЙ ТРАНСФОРМИРУЕМОЙ НАГРУЗКЕ НА ПОВЕРХНОСТИ ОДНОРОДНОГО И МНОГОСЛОЙНОГО ОСНОВАНИЯ

В современном строительстве существуют всевозможные сложные виды нагрузок, которые не всегда представляется возможным смоделировать без значительных погрешностей местной равномерно распределенной нагрузкой или силой на поверхности засыпки. Нами получена зависимость, позволяющая найти единое решение для горизонтального давления грунта на подпорные стены при гибкой нагрузке на поверхности, изменяющейся от равномерно распределенной до сосредоточенной. Принятие гипотезы о существовании в многослойной засыпке на любой глубине подпорных стен единой плоскости скольжения позволило создать численный метод определения горизонтального давления грунта при наличии сложной трансформируемой нагрузки на поверхности.

Ключевые слова: подпорная стена, нагрузка, активное давление, многослойное основание, напряжение.

Постановка проблемы. Подпорные стены являются одними из наиболее распространенных инженерных сооружений, они нашли широкое применение в различных видах строительства: промышленном, гражданском, дорожном и др.

В практике проектирования подпорных стен инженерные методы учета многослойного основания, при наличии нагрузок на поверхности, не разработаны. Существующие методы Г.К. Клейна [1; 2] и других авторов не могут быть использованы, так как в каждом слое неоднородной засыпки при учете собственного веса грунта принимается свой невыгодный угол наклона плоскостей сдвига, а закономерности распространения в массиве давлений от различного вида полезных нагрузок пока не найдены. Поэтому в настоящее время для многослойного грунта использование даже простейшего метода суперпозиции, при котором суммируется давление от веса грунта и нагрузок на поверхности, остается технически невыполнимым.

Кроме того, в современном строительстве существуют всевозможные сложные виды загрузки

жений, которые не всегда представляется возможным смоделировать (без значительных погрешностей) местной равномерно распределенной нагрузкой или силой на поверхности засыпки.

Анализ последних исследований и публикаций. Со времен Кулона, предложившего более 200 лет назад один из основополагающих методов определения давления грунта на подпорные стены, многие исследователи пытались решить задачу о давлении, передаваемом на ограждение местными нагрузками, располагаемыми на поверхности.

Данная задача решалась Г.М. Креем [3], Н.И. Безуховым [4], Б.А. Урецким [5], И.П. Прокофьевым [6], Н.К. Снитко [7], Г.К. Клейном [1; 2], В.В. Синельниковым [8], П.И. Яковлевлевым [9], Г.А. Дубровой [10], А.Я. Будиным [11], И.В. Яропольским [12] и др.

Сложность задачи состоит в том, что в данном случае принцип независимости действия сил не справедлив. Поэтому идея Кулона о применении правил максимума и минимума к проблемам статике сыпучей среды может быть использована

только при совместном действии веса грунта, местной нагрузки и сцепления.

Постановление задания. Целью работы является нахождение зависимости, позволяющей моделировать сложные виды нагружений, и разработка методов определения активного горизонтального давления от многослойной засыпки с учетом полезной местной нагрузки на поверхности.

Изложение основного материала исследования. Представим закономерность распределения гибкой нагрузки q_x на поверхности грунта.

$$q_x = \frac{q_{\max}}{1 + m(\bar{x} - 1)^2}, \quad (1)$$

где $m = \frac{q_{\max}}{q_0} - 1$; $\bar{x} = \frac{x}{a}$.

Принятие закона (1) позволяет получить единое решение для горизонтального давления грунта на подпорные стены при гибкой нагрузке на поверхности, изменяющейся от равномерно распределенной (при $m=0$) до сосредоточенной (при $m \rightarrow \infty$), что показано на рис. 1.

1. *Активное давление грунта при гибкой трансформируемой нагрузке на поверхности однородного основания*

Рассмотрим равновесие призмы обрушения ОАВ грунтового массива, нагруженного трансформируемой гибкой нагрузкой q_x (рис. 2).

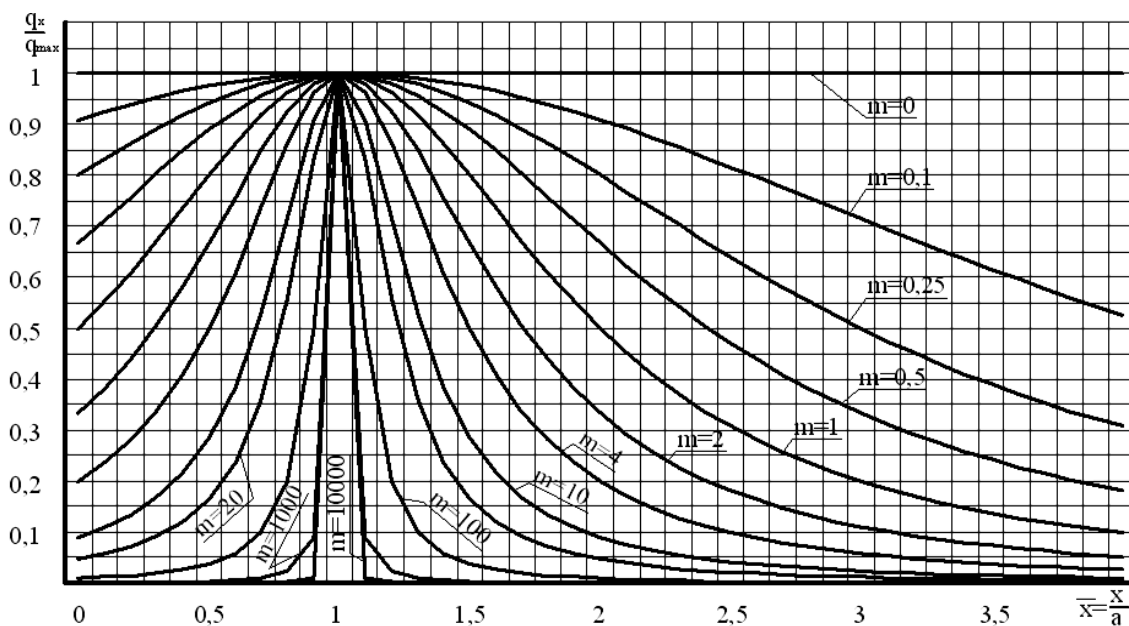


Рис. 1. Зависимость интенсивности внешней нагрузки q_x по длине засыпки при изменении параметра m

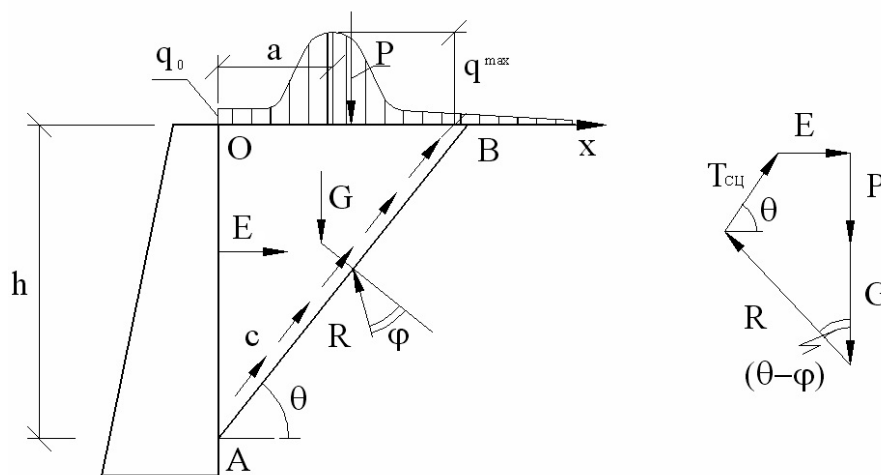


Рис. 2. Расчетная схема подпорной стенки

Предварительно вычислим вес призмы обрушения $G = \frac{\gamma h^2}{2} \text{ctg}\theta$, а также найдем равнодействующую P части внешней нагрузки q_x на участке $OB = h \cdot \text{ctg}\theta$ путем интегрирования равенства (1):

$$P = \int_0^{h \cdot \text{ctg}\theta} \frac{q^{\max} \cdot dx}{\frac{m}{a^2} \cdot x^2 - \frac{2m}{a} \cdot x + (1+m)} = a \cdot q$$

$$= \frac{a \cdot q^{\max}}{\sqrt{m}} \left[\arctg \sqrt{m} \left(\frac{h}{a} \text{ctg}\theta - 1 \right) + \arctg \sqrt{m} \right]. \quad (2)$$

Из равновесия силового многоугольника нетрудно получить выражение для равнодействующей активного давления E :

$$E_h = (0,5\gamma h^2 \text{ctg}\theta + P) \text{tg}(\theta - \varphi) - ch[\text{tg}(\theta - \varphi) + \text{ctg}\theta].$$

При отсутствии сцепления решение упрощается. В относительных безразмерных величинах оно может быть записано так:

$$\bar{E}_h = \frac{\bar{h}^2}{q} F_1 + t F_2 + \frac{1}{\sqrt{m}} F_2 \cdot F_4, \quad (3)$$

где обозначено:

$$t = \frac{1}{\sqrt{m}} \arctg \sqrt{m};$$

$$\bar{E}_h = \frac{E_h}{aq^{\max}}; \quad \bar{h} = \frac{h}{a}; \quad \bar{q} = \frac{2q^{\max}}{\gamma a}; \quad (4)$$

$$F_1 = \text{ctg}\theta \cdot \frac{(1 - \text{tg}\varphi \cdot \text{ctg}\theta)}{\text{tg}\varphi + \text{ctg}\theta}; \quad F_2 = \frac{1 - \text{tg}\varphi \cdot \text{ctg}\theta}{\text{tg}\varphi + \text{ctg}\theta};$$

$$F_2 \cdot F_4 = \frac{(1 - \text{tg}\varphi \cdot \text{ctg}\theta)}{\text{tg}\varphi + \text{ctg}\theta} \cdot \arctg \left[\sqrt{m} (\bar{h} \cdot \text{ctg}\theta - 1) \right].$$

Максимальное значение равнодействующей активного давления находим из условия $\frac{\partial E}{\partial (\text{ctg}\theta)} = 0$.

Для этого предварительно найдем производные от функций F_i :

$$\frac{\partial F_1}{\partial (\text{ctg}\theta)} = \frac{\text{tg}\varphi(1 - \text{ctg}^2\theta - 2\text{tg}\varphi \cdot \text{ctg}\theta)}{(\text{tg}\varphi + \text{ctg}\theta)^2};$$

$$\frac{\partial F_2}{\partial (\text{ctg}\theta)} = -\frac{1 + \text{tg}^2\varphi}{(\text{tg}\varphi + \text{ctg}\theta)^2};$$

$$\frac{\partial (F_2 \cdot F_4)}{\partial (\text{ctg}\theta)} = \frac{\bar{h}\sqrt{m}(1 - \text{tg}\varphi \cdot \text{ctg}\theta)}{[1 + m(\bar{h}\text{ctg}\theta - 1)^2] \cdot (\text{tg}\varphi + \text{ctg}\theta)} -$$

$$-\frac{1 + \text{tg}^2\varphi}{(\text{tg}\varphi + \text{ctg}\theta)^2} \cdot \arctg \left[\sqrt{m} \cdot (\bar{h}\text{ctg}\theta - 1) \right].$$

Подставив найденные выражения в исходное уравнение – получим уравнение для определения невыгоднейших углов наклона θ_0^h плоскости скольжения к горизонту на разных глубинах h :

$$\text{ctg}^2\theta_0^h + 2\text{tg}\varphi \cdot \text{ctg}\theta_0^h - 1 + \frac{q(1 + \text{tg}^2\varphi)}{\bar{h}^2 \cdot \text{tg}\varphi} \cdot M = 0, \quad (5)$$

где

$$M = \frac{1}{\sqrt{m}} \left\{ \arctg \sqrt{m} + \arctg \left[\sqrt{m} (\bar{h} \cdot \text{ctg}\theta_0^h - 1) \right] \right\} - \frac{\bar{h}(1 - \text{tg}\varphi \cdot \text{ctg}\theta_0^h) \cdot (\text{tg}\varphi + \text{ctg}\theta_0^h)}{(1 + \text{tg}^2\varphi) \cdot [1 + \sqrt{m} (\bar{h} \cdot \text{ctg}\theta_0^h - 1)]}. \quad (6)$$

Для определения θ_0^h используем метод последовательных приближений. На каждом этапе приближений принимаем:

$$\text{ctg}\theta_0^{i+1} = -\text{tg}\varphi + \frac{1}{\cos\varphi} \sqrt{1 - \frac{M_i}{\bar{h} \text{tg}\varphi}} \cdot \varphi. \quad (7)$$

На первом этапе можно принять $\theta_0^h = 45^\circ$.

После определения невыгоднейших углов θ_0^h определяются значения равнодействующей активного давления грунта на разных глубинах стенки \bar{h} :

$$\bar{E}_h = \text{tg}(\theta_0^h - \varphi) \left\{ \frac{\bar{h}^2}{q} \cdot \text{ctg}\theta_0^h + t + \frac{1}{\sqrt{m}} \arctg \left[\sqrt{m} (\bar{h} \cdot \text{ctg}\theta_0^h - 1) \right] \right\}. \quad (8)$$

Нами разработана программа расчета, в которой использовано условие Кулона и зависимость (8). Назначая $\theta_i \geq \varphi$, последовательно находим значения \bar{E}_h до установления \bar{E}_h^{\max} и соответствующего угла \bar{h} на всех глубинах h подпорной стенки.

После этого численным дифференцированием вычисляются напряжения активного давления $\bar{\sigma}$.

Приближенную зависимость для σ можно получить дифференцированием зависимости (3) по h , считая $F_1 = \text{const}$ и $F_2 = \text{const}$. При этом получим:

$$\sigma \cong F_1^h \left[\gamma h + \frac{q^{\max}}{1 + m(\bar{h} \cdot \text{ctg}\theta^h - 1)^2} \right]. \quad (9)$$

В качестве примера на рис. 3 показано распределение напряжений $\bar{\sigma}$ вдоль стенки, при нагружении поверхности полосовой нагрузкой и трансформируемой нагрузкой при следующих исходных данных:

$$\varphi = 30^\circ; \gamma = 2,0 \text{ тс/м}^3; \alpha = 1 \text{ м};$$

$$1) q^{\max} = 10 \text{ тс/м}^2; q_0 = 0,01 \text{ тс/м}^2; m = 1000;$$

$$2) q = 20 \text{ тс/м}^2; b = 0,05 \text{ м (полоса)}.$$

2. Трансформируемая нагрузка на многослойном основании

В традиционных методах определения давления разнородных грунтов на ограждающую конструкцию принимается, что для каждого нижележащего слоя вышележащие грунты являются внешней нагрузкой. Это означает, что в каждом слое грунта невыгоднейшая плоскость сползания наклонена к горизонту под углом θ_i , зависящим только от физико-механических характеристик грунта данного слоя. Следовательно, для многослойного грунта плоскости сползания при таком подходе получают изломы на границах слоев, характер которых зависит от свойств грунта

в смежных пластах, т. е. нарушается принцип Кулона, предполагавшего наличие единой поверхности, заменяемой плоскостью сползания на всю глубину грунта, независимо от его неоднородности. При этом каждой глубине z соответствует своя невыгоднейшая плоскость сползания, проходящая через все вышележащие слои и наклоненная к горизонту под углом θ .

Принятие единой плоскости скольжения для каждой глубины подпорной стенки позволяет сформулировать новые принципы определения горизонтального давления на подпорную стенку с учетом нагрузок на поверхности засыпки:

- массив засыпки между стенкой и плоскостью скольжения делится на отдельные призмы, опирающиеся в пределах каждого слоя h_i на плоскость обрушения;

- призмы разделяются вертикальными плоскостями, проходящими из точек пересечения плоскости скольжения (обрушения) с границами слоев грунта до поверхности засыпки (на участ-

ках незагружаемой поверхности), либо до подошвы местной нагрузки;

- часть распределенной нагрузки, находящаяся на какой-либо призме, суммируется с весом этой призмы, т.е. входит в величину G_i ;

- взаимодействие призм по вертикальным плоскостям не учитывается;

- каждой глубине соответствует своя плоскость скольжения, положение которой не зависит от общей глубины стенки H_{\max} .

Принятия данных принципов позволяет рассчитывать многослойное основание со сложными видами загрузений.

2.1. Плоскость сдвига проходит через два слоя грунта

Расчетная схема поставленной задачи показана на рис. 4. В этом случае полезная нагрузка делится на две составляющие P_1 и P_2 . На основании зависимости (1) нетрудно получить такой результат:

$$P_2 = \frac{q_m a}{\sqrt{m}} \left[\operatorname{arctg} \sqrt{m} \left(\frac{z \operatorname{ctg} \theta}{a} - 1 \right) + \operatorname{arctg} \sqrt{m} \right]. \quad (10)$$

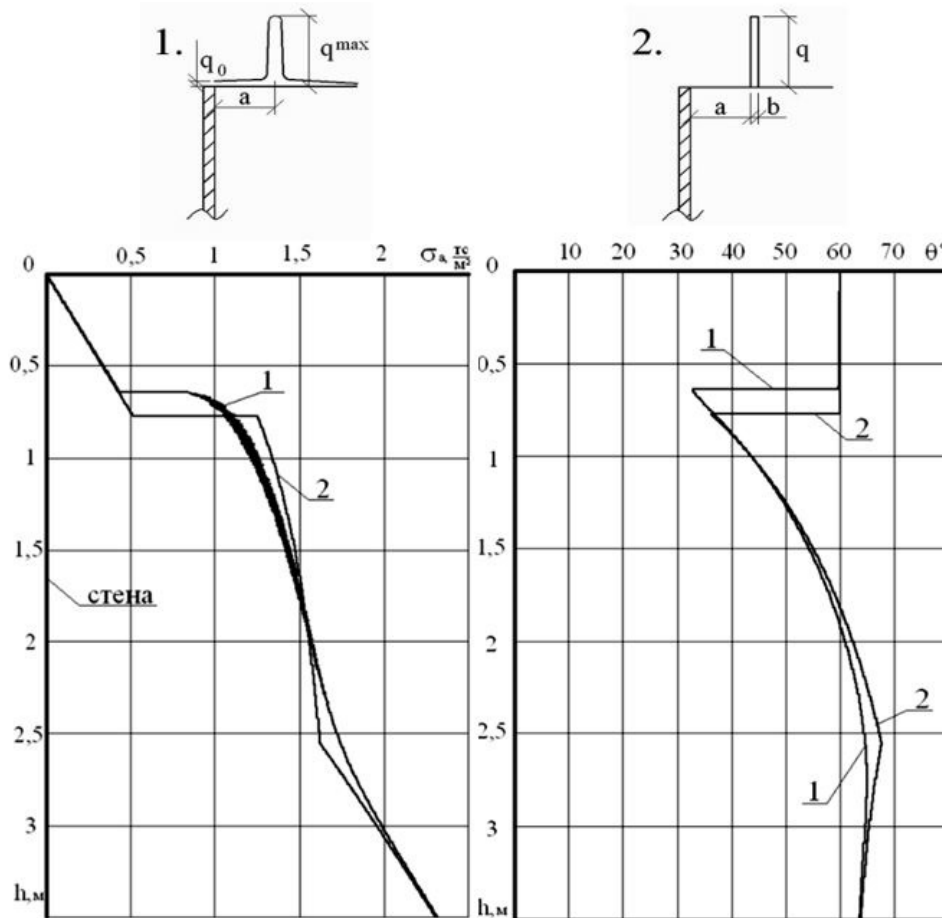


Рис. 3. Сопоставление невыгоднейших углов θ и горизонтальных напряжений σ от трансформируемой и полосовой нагрузок: 1 – трансформируемая нагрузка; 2 – полосовая нагрузка

$$(P_2 + P_1) = \frac{q_m a}{\sqrt{m}} \left[\arctg \sqrt{m} \left(\frac{(z + H_1) \operatorname{ctg} \theta}{a} - 1 \right) + \arctg \sqrt{m} \right]. \quad (11)$$

$$P_1 = \frac{q_m a}{\sqrt{m}} \left[\arctg \sqrt{m} \left(\frac{(z + H_1) \operatorname{ctg} \theta}{a} - 1 \right) - \arctg \sqrt{m} \left(\frac{z \operatorname{ctg} \theta}{a} - 1 \right) \right]. \quad (12)$$

Все необходимые зависимости для проведения численного решения даны ниже – (13, 14, 15):

$$\left. \begin{aligned} G_1 &= (\gamma_1 \frac{H_1^2}{2} \operatorname{ctg} \theta + P_1); \\ G_2 &= (\gamma_1 H_1 z \operatorname{ctg} \theta + \gamma_2 z^2 \frac{\operatorname{ctg} \theta}{2} + P_2). \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

$$E_2 = (\gamma_1 \frac{H_1^2}{2} \operatorname{ctg} \theta + P_1) \operatorname{tg}(\theta - \varphi_1) + (\gamma_1 H_1 z \operatorname{ctg} \theta + \gamma_2 z^2 \frac{\operatorname{ctg} \theta}{2} + P_2) \operatorname{tg}(\theta - \varphi_2). \quad (14)$$

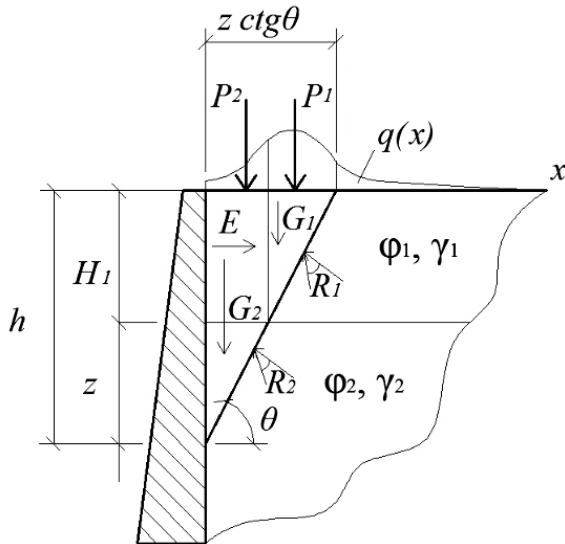


Рис. 4. Трансформируемая нагрузка при двухслойной засыпке

2.2. Многослойная засыпка

При наличии n слоев грунтовой засыпки трансформируемая внешняя нагрузка неограниченной

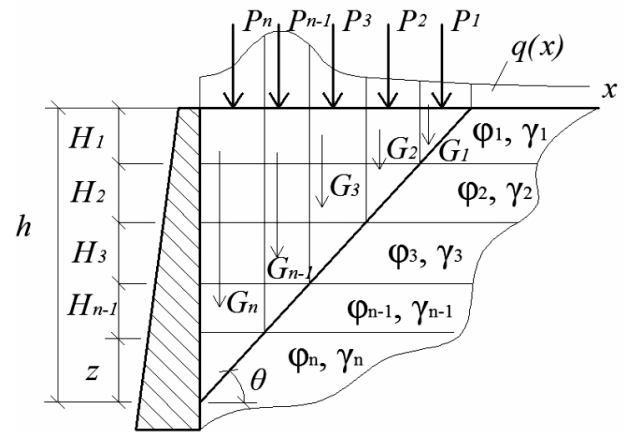


Рис. 5. Трансформируемая нагрузка при многослойной засыпке

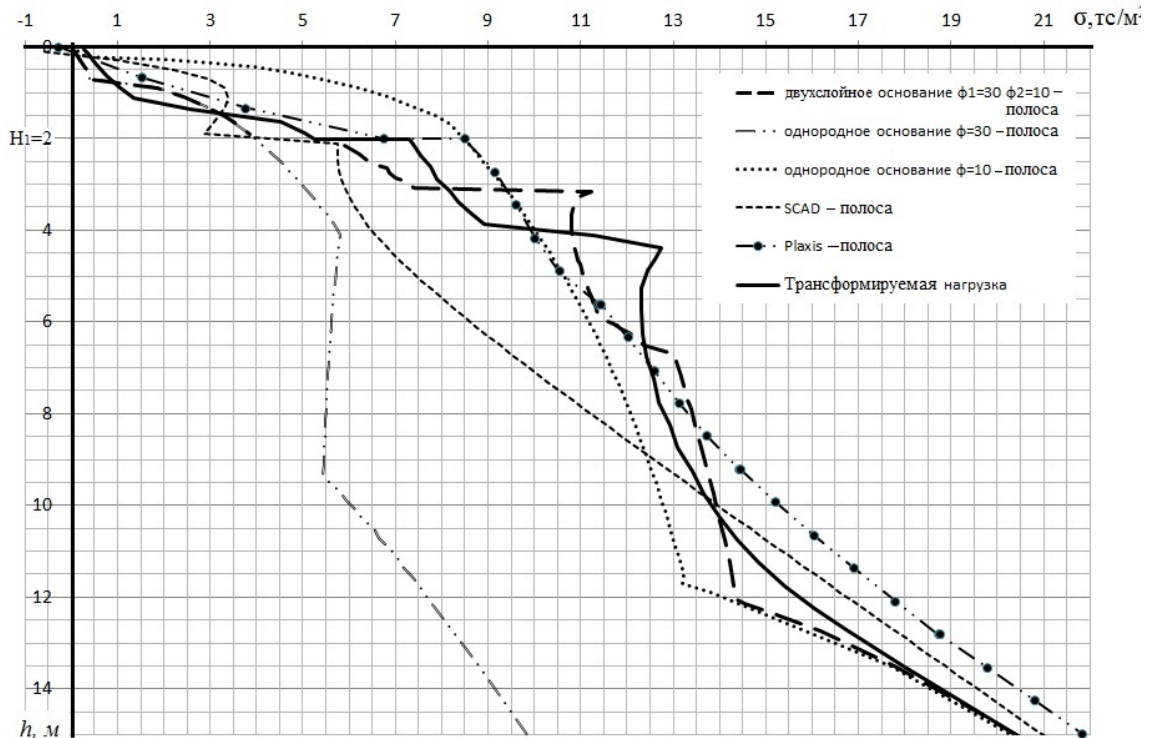


Рис. 6. Пример построения эпюр горизонтальных напряжений σ различными методами

протяженности делится на n составляющих P_1, P_2, \dots, P_n (рис. 5).

Значение этих частей общей нагрузки также можно записать, используя зависимость (1):

$$\left. \begin{aligned} P_n &= \frac{q_m a}{\sqrt{m}} \left[\operatorname{arctg} \sqrt{m} \left(\frac{z \operatorname{ctg} \theta}{a} - 1 \right) + \operatorname{arctg} \sqrt{m} \right]; \\ P_{n-1} &= \frac{q_m a}{\sqrt{m}} \left[\operatorname{arctg} \sqrt{m} \left(\frac{(z + H_{n-1}) \operatorname{ctg} \theta}{a} - 1 \right) - \right. \\ &\quad \left. - \operatorname{arctg} \sqrt{m} \left(\frac{z \operatorname{ctg} \theta}{a} - 1 \right) \right]; \\ P_3 &= \frac{q_m a}{\sqrt{m}} \left[\operatorname{arctg} \sqrt{m} \left(\frac{(z + H_{n-1} + \dots + H_3) \operatorname{ctg} \theta}{a} - 1 \right) - \right. \\ &\quad \left. - \operatorname{arctg} \sqrt{m} \left(\frac{(z + H_{n-1}) \operatorname{ctg} \theta}{a} - 1 \right) \right]; \\ P_2 &= \frac{q_m a}{\sqrt{m}} \left[\operatorname{arctg} \sqrt{m} \left(\frac{(z + H_{n-1} + \dots + H_3 + H_2) \operatorname{ctg} \theta}{a} - 1 \right) - \right. \\ &\quad \left. - \operatorname{arctg} \sqrt{m} \left(\frac{(z + H_{n-1} + H_3) \operatorname{ctg} \theta}{a} - 1 \right) \right]; \\ P_1 &= \frac{q_m a}{\sqrt{m}} \left[\operatorname{arctg} \sqrt{m} \left(\frac{(z + H_{n-1} + \dots + H_3 + H_2 + H_1) \operatorname{ctg} \theta}{a} - 1 \right) - \right. \\ &\quad \left. - \operatorname{arctg} \sqrt{m} \left(\frac{(z + H_{n-1} + H_3 + H_2) \operatorname{ctg} \theta}{a} - 1 \right) \right]. \end{aligned} \right\} \cdot (15)$$

При этом равнодействующая активного давления определяется по формуле

$$E = \sum_1^n G_i \operatorname{tg}(\theta - \varphi_i). \quad (16)$$

Пример

Рассмотрим двухслойное основание со следующими характеристиками: $\gamma_1 = \gamma_2 = 2 \text{ тс/м}^3$; $\varphi_1 = 30^\circ$, $\varphi_2 = 10^\circ$; $\mu_1 = 0,25$; $\mu_2 = 0,41$. Мощность верхнего слоя $H_1 = 2 \text{ м}$, глубина стенки $H_{\max} = 15 \text{ м}$.

Основание загружено полосовой нагрузкой: $q = 10 \text{ тс/м}^2$, $b = 2 \text{ м}$; $a = 1 \text{ м}$; либо эквивалентной ей трансформируемой нагрузкой с параметрами: $a = 2 \text{ м}$, $m = 28$, $q_m = 20 \text{ тс/м}^2$.

На рис. 6 приведены эпюры горизонтальных напряжений σ (тс/м^2), построенные различными методами.

Выводы:

1) разработана зависимость, позволяющая получить единое решение для горизонтального давления грунта на подпорные стены при гибкой нагрузке на поверхности, изменяющейся от равномерно распределенной до сосредоточенной;

2) Принятые гипотезы о существовании в многослойной засыпке на любой глубине подпорных стен единой плоскости скольжения позволило создать численный метод определения горизонтального давления грунта при наличии сложной трансформируемой нагрузки на поверхности.

Список литературы:

1. Клейн Г.К. Расчет подпорных стен. Москва: Высшая школа, 1964. 196 с.
2. Клейн Г.К. Строительная механика сыпучих тел. Москва: Стройиздат, 1977. 256 с.
3. Крей Г.М. Теория давления земли и сопротивление грунтов нагрузке. Москва: НТИ стройиндустрии и судостроения, 1932. 294 с.
4. Безухов Н.И. Теория сыпучих тел. Москва: Госстрой-издат, 1934. 107 с.
5. Урецкий Б.А. Портовые набережные, конструкции, расчет и проектирование. Москва: НТИ НКТП СССР, 1938. 282 с.
6. Прокофьев И.П. Давление сыпучих тел в приложении к расчету подпорных стенок. Москва: ОНТИ Госстройиздат, 1963. 260 с.
7. Снитко Н.К. Статическое и динамическое давление грунтов и расчет подпорных стенок. Ленинград: Стройиздат, 1970. 207 с.
8. Синельников В.В. Развитие метода Кулона при определении давления сыпучего тела. Труды МИИТ «Строительная механика». 1946. Вып. 69. С. 241–265.
9. Яковлев П.И., Готман А.Л., Курмаев Р.Г. Взаимодействие сооружений с грунтом и свайные основания. Одесса: Астропринт, 2004. 510 с.
10. Дуброва Г.А. Взаимодействие грунта и сооружений. Москва: Речной транспорт, 1963. 219 с.
11. Будин А.Я. Тонкие подпорные стенки. Ленинград: Стройиздат, 1974. 191 с.
12. Яропольский И.В. Основания и фундаменты. Москва: Речиздат, 1948. 384 с.
13. Лучковский И.Я. Определение нагрузок на подпорные стены: монография. Харьков: Коллегиум, 2011. 284 с.

**АКТИВНИЙ ТИСК ҐРУНТУ ПРИ ГНУЧКОМУ НАВАНТАЖЕННІ,
ЩО ТРАНСФОРМУЄТЬСЯ, НА ПОВЕРХНІ ОДНОРІДНОЇ ТА БАГАТОШАРОВОЇ ОСНОВИ**

У сучасному будівництві існують різноманітні складні види навантажень, які не завжди представляється можливим змоделювати без значних похибок місцевим рівномірно розподіленим навантаженням або силою на поверхні засипки. Нами отримано залежність, що дозволяє знати єдине рішення для горизонтального тиску ґрунту на підпірні стіни при гнучкому навантаженні на поверхні, що змінюється від рівномірно розподіленого до зосередженого. Ухвалення гіпотези про існування в багатошаровій засипці на будь-якій глибині підпірних стін єдиної площини ковзання дозволило створити чисельний метод визначення горизонтального тиску ґрунту за наявності складного трансформованого навантаження на поверхні.

Ключові слова: підпірна стіна, навантаження, активний тиск, багатошарова основа, напруження.

**ACTIVE PRESSURE OF A SOIL UNDER A FLEXIBLE TRANSFORMABLE LOAD
AT THE SURFACE OF A UNIFORM AND MULTI-LAYERED BASE**

In modern construction there are various complicated kinds of loading, for which it is not always possible to create a model without significant biases, by a local uniformly distributed load or by a force at the surface of a backfilling. However, we have obtained the dependency that allows us to get the common solution for the horizontal soil pressure on retaining walls, the load being flexible at the surface and changing from a uniformly distributed load to a focused one. When we assume the hypothesis that there exists the common sliding plane at any depth of a retaining wall in a multi-layered backfilling, we are able to create the numerical method to calculate the horizontal pressure of the soil, when there exists a complicated transformable load at the surface.

Key words: retaining wall, load, active pressure, multi-layered basis, strain.

УДК 69.059.7

Нечепуренко Д.С.

ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

Данилова Т.В.

ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

ДОСЛІДЖЕННЯ СЕКТОРІВ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ КРАЇН ЄВРОПИ ТА УКРАЇНИ

У статті досліджується досвід країн Євросоюзу та Європи у розвитку систем централізованого теплопостачання. Проведено аналіз українського сектору централізованого теплопостачання, виявлено основні його проблеми та можливі шляхи їх вирішення, враховуючи європейський досвід.

Ключові слова: системи централізованого теплопостачання, енергозбереження, відновлювальні джерела енергії, біомаса, анбандлінг.

Постановка проблеми. Сьогодні Україна володіє достатніми енергетичними потужностями, однак велику їх частку складає застаріле, технічно зношене обладнання та устаткування. Це спричиняє загострення комплексу проблем у житлово-комунальному господарстві, які негативно впливають на рівень енергетичної та екологічної безпеки країни, якість життя населення. Майже кожен власник житла в Україні незадоволений якістю послуг теплозабезпечення та гарячого водопостачання, що здійснюються міськими комунальними підприємствами, та постійним зростанням тарифів на них. Тому він змушений самостійно вирішувати проблему забезпечення власного житла комфортними умовами життєдіяльності та шукати альтернативні схеми теплопостачання.

Унаслідок цього маємо зростання соціальної напруженості, кількості неплатежів за послуги, збитковість підприємств теплопостачання. Також загострюється проблема забруднення навколишнього середовища, зміни клімату через неефективність функціонування систем теплопостачання на всіх етапах: енергоджерело – низька ефективність спалювання органічного палива; транспортування теплоносія – значні втрати енергоресурсів; теплопостачання будівель – великі витрати теплової енергії через низький рівень їх енергоефективності. Недостатність природного газу власного видобутку та обмеженість фінансових ресурсів держави посилює енергетичну та фінансову залежність від зовнішніх постачальників ресурсів.

Українці витрачають майже вдвічі більше енергоресурсів на квадратний метр площі, ніж мешканці Європейського Союзу (далі – ЄС) в країнах зі схожим кліматом. Неефективність житлового сектору є наслідком відсутності реальних заходів щодо його реформування протягом 20 років, серед яких є встановлення приладів обліку споживання енергоресурсів і розроблення ефективної тарифної політики. Питання модернізації теплоенергетичної промисловості належить до провідних напрямів державної енергетичної політики України, при цьому важливе значення має зарубіжний досвід теплопостачання міст у країнах, схожих за кліматичними умовами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів, енергозбереження та надійності теплових мереж вже тривалий час є предметом дослідження багатьох науковців не тільки України, а і всього світу. Зокрема роботи [2; 6; 10; 11] дозволяють оцінити перспективи розвитку енергоспоживання та шляхи розвитку енергетики в країнах ЄС. Дані цих досліджень можна застосувати для порівняння секторів централізованого теплопостачання країн Європи та України для можливого застосування європейського досвіду в енергозбереженні.

Роботи Є.Є. Нікітіна [7; 8] присвячені концепції управління енергоефективністю систем теплопостачання населених пунктів, розробленні перспективних оптимізованих систем теплопостачання, проектів і програм модернізації комунальної теплоенергетики.

Удосконаленню теоретико-методичних засад аналізу та оптимізації систем теплопостачання міст присвячені роботи А.А. Долінського, С.А. Степаненка, О.В. Мельниченка, О.В. Дорошенка та інших вчених [3].

Незважаючи на це, більшість проблем теплопостачання в Україні залишаються невирішеними, що вимагає подальших досліджень у цій галузі.

Постановка завдання. Мета статті – проаналізувати досвід теплопостачання міст у країнах Європи та порівняти його з вітчизняним, а також визначити перспективні шляхи розвитку системи централізованого теплопостачання в Україні.

Виклад основного матеріалу дослідження. У Європейському Союзі найбільша частка кінцевого енергоспоживання належить тепловій енергії і складає 45%, порівняно з іншими напрямками споживання: електроенергія – 20%, транспортний сектор – 26%, неенергетичне споживання – 9%. Житловий фонд споживає 40% від загального обсягу кінцевої енергії, із яких 68% іде на опалення і 14% – на гаряче водопостачання [1]. Основними споживачами енергії в Україні є населення (16,6%), промисловість (16,4%), транспорт (8,8%), неенергетичне споживання (3,3%), інші види споживачів (5,8%). При цьому житлово-комунальний сектор споживає близько 60–65% теплової енергії, тоді як промисловість – 20%, а інші галузі – 15–20% [4].

Сьогодні в Європі діє більше 6000 систем централізованого теплопостачання (далі – ЦТ), які забезпечують 12% загальної потреби в тепловій енергії. У деяких країнах останнім часом спостерігається зростання частки споживачів послуг централізованого теплопостачання, яка перевищує 50%: Ісландія – 92%, Латвія – 65%, Данія – 63%, Литва – 57%, Естонія – 62%, Польща – 53%, Швеція – 52%, Фінляндія – 50% [1].

В Україні системи централізованого теплопостачання охоплюють близько 60% споживачів. До мереж систем ЦТ підключено близько 11 млрд. квартир. Натепер потреби споживачів у тепловій енергії забезпечують близько 35 великих Теплоелектроцентралів (далі – ТЕЦ) (частка у теплозабезпеченні – 18%), 200 промислових установок (21%) та понад 100 тис. котлів (до 60%), а також квартирні генератори, джерела вторинних енерго-ресурсів, нетрадиційні та відновлювані джерела теплової енергії. Обладнання на більшості ТЕЦ є застарілим, не відповідає сучасним екологічним вимогам і нормативам та потребує реконструкції і модернізації. Більшість котелень є дрібними промисловими чи опалювальними автономними.

Стан обладнання більшості з них також незадовільний, воно потребує реконструкції або повної заміни [9].

Пріоритетність централізованого теплопостачання й охолодження є результатом наявності в Європі значної кількості надлишкової енергії від перетворення енергії, промислового використання, необхідності заміни органічного палива відновлювальними джерелами енергії, потреби будівель саме в низькотемпературній енергії для опалення, підготовки гарячої води, охолодження. Основними джерелами енергії для виробництва теплової енергії сьогодні в Євросоюзі є природний газ (43%), вугілля (29,3%), біомаса (15,1%), нафта (7,1%), атомна енергія (0,2%), інші джерела (5,3%). Системи теплопостачання на європейському ринку використовують ресурси достатньо ефективно: 81% теплової енергії виробляється з використанням відходів теплової енергії від технологічних процесів (наприклад, комбінованого використання теплової й електричної енергії) і відновлювальних джерел енергії; 19% – за рахунок прямого використання біомаси та органічного палива (для пікових потреб). Відповідно до [3], частки виробленої теплової енергії за рахунок використання вторинної теплової енергії останніми десятиліттями були найбільшими (91,2–68%) у Румунії, Німеччині, Швейцарії, Словенії, Фінляндії, Хорватії, Данії, Польщі, Чеській Республіці. За даними [3] частки виробленої теплової енергії на прямому використанні відновлювальних джерел склали в Латвії – 42%, Норвегії – 32%, Швеції – 26%, в Австрії, Естонії, Данії, Литві – на рівні 17–23%. В Ісландії частка прямого використання відновлювальних джерел енергії для потреб теплопостачання (геотермальних вод) склала 78,9%.

Згідно з енергетичним балансом України 2015 року [4], основними джерелами енергії залишаються традиційні: вугілля, газ та атом, частка відновлювальних джерел, на жаль, залишається незначною (вугілля – 27,3%, газ – 26,1%, атомна – 23%, нафта та нафтопродукти – 10,6%, відновлювальні – 2,7%). Природний газ використовується для виробництва 70% тепла. Основні джерела виробництва тепла в Україні [4] представлені на рис. 1.

Заміна викопного палива альтернативними джерелами енергії (заміна природного газу в житлово-комунальному господарстві) та інтенсивний розвиток відновлювальних джерел енергії в Україні є одним із шляхів зменшення імпортозалежності. Україна має передумови для суттєвого роз-

ширення використання біомаси для виробництва теплової енергії. Однією з таких передумов є значний потенціал біомаси, доступної для виробництва енергії. Найбільшими складовими частинами потенціалу є відходи сільського господарства та біомаса енергетичних культур [5]. Значним бар'єром є відсутність в Україні конкурентного ринку теплової енергії, на відміну від країн Європи.

Виробництво теплової енергії з біомаси в Європейському Союзі успішно розвивається завдяки планомірному застосуванню дієвих інструментів його підтримки і стимулювання: інвестиційні гранти, субсидії; податкові пільги; фінансування (пільгове кредитування та ін.) через спеціальні програми, фонди; законодавча підтримка. Розглянемо їх більш детально на прикладі деяких країн Євросоюзу та Європи.

У Німеччині до централізованого теплопостачання підключено більше 13% житлового фонду країни. Закон «Про стимулювання відновлювальних джерел енергії в секторі теплової енергії», прийнятий у 2009 році, зобов'язує використання певного відсотка теплової енергії з відновлювальних джерел у нових будинках. Постанова «Про загальні умови постачання теплової енергії в системах централізованого теплопостачання» регулює відношення між постачальниками та споживачами. Тарифи на теплоенергію не регулюються державою, а формуються на конкурентному ринку, стандартних методики встановлення тарифів немає.

До системи централізованого теплопостачання Данії підключено більше 63% житлового фонду, а частка відновлювальних джерел енергії у виробництві теплоенергії за останні десять років зросла до 47%. Тарифи на теплоенергію, згідно із законом «Про теплопостачання», встановлюються кожною теплопостачальною компанією відповідно до власних фактичних витрат на основі загального економічного принципу самозабезпеченості.

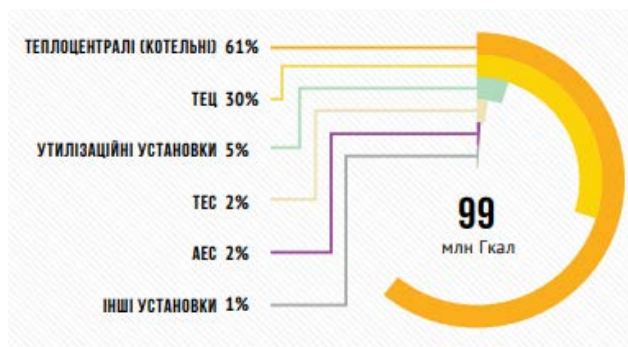


Рис. 1. Структура виробництва тепла в Україні (2016 рік), у %

У Великобританії стимулювання виробництва теплоенергії з відновлювальних джерел енергії – достатньо новий фінансовий механізм (з 2012 року), матеріальна підтримка надається на весь період життя установки.

У Фінляндії централізоване теплопостачання вважається ефективною та надійною системою для щільно забудованих районів, вона складає більше половини загального ринку опалення (у великих містах – більше 90%). У системах централізованого теплопостачання все більше використовується деревина (29%) та інше біопаливо (7,4%). Ринок теплоенергії в країні завжди був лібералізований, тому немає спеціального законодавства щодо централізованого теплопостачання. Тарифи на тепло у Фінляндії вважаються найнижчими в Західній Європі та у світі.

В Австрії централізоване теплопостачання забезпечує 21% загальної потреби в теплоенергії. Закон про «зелену» електроенергію, прийнятий у 2002 році з поправками 2006 року, увів «зелений» тариф також на теплову енергію. Станом на 2013 рік, теплоенергію з біомаси виробляли котельні централізованого теплопостачання (близько 54%, на ТЕЦ – 32%). 2015 року був прийнятий Закон «Про розширення мереж централізованого теплозабезпечення та охолодження», який передбачає інвестиційне стимулювання використання відновлювальних джерел енергії з метою підтримки невеликих регіональних постачальників теплоенергії в сільській місцевості, а також розширення централізованого теплопостачання у містах.

Централізоване теплопостачання Швеції складає 52% ринку теплоенергії, забезпечуючи муніципальні потреби в опаленні та гарячому водопостачанні. Ціни на теплоенергію в системі централізованого теплопостачання Швеції не регулюються, а встановлюються теплопостачальними компаніями на конкурентному ринку теплової енергії. Відповідно до Закону «Про централізоване теплопостачання» компанії-виробники теплоенергії повинні проводити переговори зі своїми клієнтами, преш ніж уносити якість зміни до умов поставки теплоенергії.

У системі централізованого теплопостачання Норвегії частка відновлювальних джерел сягає 70%. Відповідно до Закону «Про планування і будівництво» (2010 року), усі будинки площею більше 500 м² повинні забезпечуватися відновлювальною теплоенергією мінімум на 60%, а використання викопного палива та прямого електроопалення заборонено в усіх нових і рекон-

струйованих будівлях. У деяких регіонах країни підключення до систем централізованого теплопостачання є обов'язковим. Тарифи на теплову енергію встановлюються самими виробниками на конкурентному ринку теплоенергії.

Якщо у Швеції, Фінляндії, Данії, Німеччині, Великобританії та Австрії тарифи на теплоенергію встановлюються теплопостачальними компаніями на конкурентному ринку теплової енергії, то в Польщі, Литві, Латвії, Естонії, Чеській республіці, Словаччині та Болгарії діє дещо інший підхід. Максимальні тарифи визначаються згідно зі встановленою методологією і для кожної компанії затверджуються незалежним національним регулятором. Компанія може відступити від встановлених тарифів у бік його зниження.

За останні роки серйозного прогресу в питаннях економії в енергоспоживанні досягла Польща. Різко піднявши тарифи на теплову енергію до європейського рівня, уряд запропонував населенню законодавчо закріплену фінансову підтримку заходів щодо зниження енергоспоживання. До системи централізованого теплопостачання підключено 53% населення (на сьогодні діє більше 300 окремих систем у 450 теплопостачальних компаніях). Ціна на теплоенергію затверджується центральним органом державного управління – Управлінням регулювання енергетики.

У Литві, Латвії та Естонії системи централізованого теплопостачання забезпечують 57–65% населення, майже 60% усіх компаній знаходиться в муніципальній власності. Останнім часом спостерігається зростання частки відновлювальних джерел енергії в загальному обсязі споживання палива і, відповідно, зниження частки природного газу. Біопаливом використовують відходи деревини, солому, біогаз та інше.

На відміну від країн Євросоюзу та Європи, представлених вище, в Україні (як і в Білорусі, Росії, Румунії) тарифи визначаються відповідно до встановленої методології, затверджуються національним регулятором, і теплопостачальна компанія не може відійти від встановленого їй тарифу. Наслідком цього підходу є відсутність стимулів для підвищення якості теплоенергії і зменшення її собівартості, для вдосконалення процесів виробництва, транспортування та постачання теплоенергії. Тому на сьогоднішній день одним із стратегічних завдань України є лібералізація та демонополізація внутрішніх енергетичних ринків, для їх прозорості та конкурентоспроможності.

Етапи реалізації прийнятої Енергетичної стратегії України [5] передбачають створення умов

для відкритого доступу третіх осіб до теплових мереж та анбандлінг. Під анбандлінгом розуміється юридичне розділення існуючих теплопостачальних компаній, як мінімум на дві незалежні компанії. Так, наприклад, при створенні ринку електроенергії в Україні передбачено розділення обленерго на компанію-постачальника та оператора розподільчих мереж. Основна мета – відокремити виробництво енергії від транспортування, що буде сприяти більш легкому доступу незалежних виробників теплової енергії (зокрема з відновлювальних джерел енергії) до існуючих мереж.

Також серед напрямів підвищення енергоефективності економіки України, згідно з [5], можна виділити такі: скорочення енергоспоживання на потреби опалення шляхом підвищення енергоефективності житлових і громадських будівель, а також підвищення енергоефективності опалювальних приладів; підвищення енергоефективності в секторі виробництва і трансформації енергії, у теплоелектроенергетиці та централізованому теплопостачанні шляхом оптимізації використання потужностей, технічної та технологічної модернізації; скорочення витрат енергії в системах транспортування та розподілу електричної і теплової енергії шляхом технічної, технологічної модернізації та концептуального перегляду схем енергозабезпечення з урахуванням досягнень у сфері децентралізованого енергопостачання, зокрема за рахунок використання відновлювальних джерел енергії та управління енергоспоживанням тощо.

Незважаючи на слабку репутацію і кризовий стан централізованого теплопостачання в Україні, досвід країн Євросоюзу та Європи показує, що високий рівень ефективності використання енергії досягається в результаті розвитку саме системи централізованого теплопостачання.

Перевагами систем централізованого теплопостачання є такі:

- надійність постачання;
- зростання конкуренції;
- відсутність залежності від одного виду палива;
- можливість комбінованого вироблення теплової та електричної енергії;
- використання енергоефективних джерел тепла і екологічно безпечного низькосортного місцевого палива (сміття та інші тверді побутові відходи, а також тепла енергія стічних вод);
- широкомасштабне використання сонячної енергії для гарячого водопостачання та опалення;
- виробництво теплової енергії за найнижчих викидів в атмосферу;

– акумулювання теплової енергії в умовах її нерівномірного споживання та виробництва.

Висновки. Реалізація енергетичної стратегії України передбачає реформування ринків енергоресурсів із забезпеченням їх прозорості та конкурентоспроможності, запровадження системи стимулюючого тарифоутворення. Підтримання взаємовідносин виробника з усіма споживачами теплоенергії дозволить проводити єдину політику в питаннях енергозбереження, спрямовану на зменшення загального теплопостачання і зменшення кількості випадків нераціонального використання теплоти.

Централізоване теплопостачання (за умов відповідного планування і управління) може забезпечити споживачів високоякісним теплопостачанням за низькими конкурентоспроможними цінами. Тому підвищення ефективності централі-

зованого теплопостачання України з використанням сучасних технологій (заміна трубопроводів централізованого теплопостачання на попередньо ізольовані; скорочення витрат при транспортуванні енергії; оптимізація місцевих систем теплопостачання на основі економічної ефективності; узгодження централізації та децентралізації теплопостачання тощо) є одним із пріоритетних завдань.

Відповідно до цього, більш детальне дослідження та розвитку вимагають такі наукові напрями, як вдосконалення методів подовження експлуатаційного ресурсу діючих тепломереж, обґрунтування та вибір організаційно-технологічних рішень щодо їх ремонту і відновлення, зниження впливу агресивного середовища на конструкції та обладнання систем теплозабезпечення тощо.

Список літератури:

1. Аналіз тарифоутворення в секторі централізованого теплопостачання країн Європейського Союзу. Аналітична записка БАУ № 14. Київ, 2016. URL: <http://uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-14-ua.pdf>.
2. Білодід В.Д. Наукові основи формування та оптимізація паливно-енергетичних балансів. Проблеми загальної енергетики. 2015. С. 39–46.
3. Дорошенко О.В., Дорошенко В.В. Досвід теплопостачання міст у країнах ЄС. Комунальне господарство міст. 2014. Вип. 116. С. 32–36.
4. Енергетика України. Інфографічний довідник. Top Lead. 2017. URL: http://businessviews.com.ua/ru/get_file/id/the-infographics-report-energy-of-ukraine-2017_1.pdf.
5. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». Київ, 2017. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80>.
6. Зарубіжний досвід розвитку систем централізованого та автономного тепло- та електропостачання. Відділ інформаційно-аналітичної роботи департаменту міжнародного співробітництва та євроінтеграції. Київ, 2016. URL: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/01/5.-TSentralizovane-ta-avtonomne-teplozabezpechennya.pdf>.
7. Никитин Е.Е., Дутка А.В., Тарновский М.В. Анализ структуры и эффективности функционирования централизованных систем теплоснабжения населенных пунктов. Энерготехнологии и ресурсосбережение. 2012. № 2. С. 16–26.
8. Никитин Е.Е. Концепция управления энергоэффективностью систем теплоснабжения поселений. Энерготехнологии и ресурсосбережение. 2009. № 2. С. 25–33.
9. Перспективи виробництва теплової енергії з біомаси в Україні. Аналітична записка БАУ № 6. Київ, 2013. URL: <http://www.uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-6-ua.pdf>.
10. Плешков П.Г., Стець П.Г. Аналіз стану та пропозиції щодо заходів модернізації теплоенергетичної промисловості. Наукові записки. 2012. Вип. 12. Ч. II. С. 193–196.
11. P. Bertoldi, V. Atanasiu. Electricity Consumption and Efficiency Trends in the Enlarged European Union – Status report. Office for Official Publications of the European Communities. Luxembourg, 2006.

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕКТОРОВ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ СТРАН ЕВРОПЫ И УКРАИНЫ

В статье исследуется опыт стран Европы и Евросоюза в развитии систем централизованного теплоснабжения. Проведен анализ украинского сектора централизованного теплоснабжения и выявлены основные его проблемы и возможные пути их решения, учитывая европейский опыт.

Ключевые слова: системы централизованного теплоснабжения, энергосбережение, возобновляемые источники энергии, биомасса, анбандлинг.

RESEARCH OF CENTRALIZED HEAT-SUPPLY SECTORS IN EUROPEAN COUNTRIES AND UKRAINE

An experience of European countries and Ukraine in the development of centralized heat-supply systems is considered. The authors analyzed Ukrainian centralized heat-supply sector and defined its main problems and possible ways to solve them, in accordance with European experience.

Key words: centralized heat-supply system, energy saving, renewable energy sources, biomass, unbundling.

ГЕОДЕЗІЯ

УДК 528.92

Пілічева М.О.

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

Кінь Д.О.

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

МАСШТАБ ІНФРАСТРУКТУРИ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ МІСЦЕВОГО РІВНЯ

У статті досліджено масштаби інфраструктури геопросторових даних місцевого рівня різних країн світу залежно від точності необхідної інформації та рівня доступу до неї. Для формування базового набору геопросторових даних на місцевому рівні переважає масштабний ряд 1:500 – 1:5000. В Україні рекомендовано використовувати масштаб 1:500 для інфраструктури геопросторових даних місцевого рівня обласних центрів та міст обласного підпорядкування та 1:1000 – інших міст та населених пунктів.

Ключові слова: інфраструктура геопросторових даних, масштаб, генералізація, базовий набір, просторові класи, топографічні дані.

Постановка проблеми. Однією із сучасних тенденцій світу в галузі геоінформаційних технологій є створення Глобальної інфраструктури геопросторових даних (Global Spatial Data Infrastructure (GSDI)), яка реалізує політику управління ресурсами планети на основі міжнародних стандартів та відкритих даних. GSDI формуються за рахунок національних інфраструктур геопросторових даних (далі – НІГД) держав. У свою чергу, згідно з Директивою 2007/2/ЄС Європейського парламенту та Ради Європи щодо створення інфраструктури геопросторової інформації, Європейський Союз (далі – ЄС) (Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE)) [1] почав створювати систему заходів та механізмів, яка реалізує екологічну політику та інші управлінські рішення, пов'язані з охороною навколишнього середовища.

Схвалення урядом законопроєкту щодо впровадження Національної інфраструктури геопросторових даних (УкрНІГД) підтверджує актуальність та необхідність цієї системи і в Україні [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Досліджуючи звітну відкриту інформацію держав щодо реалізації інфраструктури геопросторових даних на різних рівнях, можна зазначити,

що одними з перших пунктів вказано масштаб та систему координат [3; 4]. Питанням вибору масштабів на певних рівнях ІГД займаються багато вчених світу і України: I. P. Williamson, K. McDougall, A. Rajabifard, L. Wu, X. Xiao, Douglas D. Nebert, M. Craglia, M. Campagna, V. Cetl, N. Vanda, J. D'Eugenio, Ю. О. Карпінський, А. А. Лященко, Р. М. Курільців та ін. [5–12].

Використання певного масштабу залежить від мети, обсягів, точності відображення необхідної інформації. У роботі [6] наголошено, що в ІГД масштаб від 1:500 тісно пов'язаний із земельним адмініструванням (контроль об'єктів землевпорядкування, містобудівного планування, проведення дій щодо охорони та управління земельними ресурсами тощо), тоді як дрібніші масштаби використовуються для відображення та аналізу даних демографії, географії та управління навколишнім середовищем. Топографічна та кадастрова інформація, що підтримує прийняття управлінських рішень, зазвичай є деталізованою (1:100–1:5000) [6, с. 7].

Авторами роботи [8] виділено такі картографічні продукти держав світу, які стали фундаментом для формування компонентів базового набору геопросторових даних (далі – БНГД) та впровадження національних ІГД:

- кадастрові карти (1:100–1:5000);
- крупномасштабні топографічні карти для містобудування та планування (1: 500–1:10 000);
- національна «базова карта» (1:20 000–1: 100 000);
- дрібномасштабні карти (від 1:100 000 і менше).

Також зазначено, що більшість геопорталів країн використовували ці основні «базові карти», як загальний набір для своїх додатків із використанням тематичних даних, потрібних уряду, завдяки чому була досягнута національна інтероперабельність [8]. Наприклад, ця властивість ІГД дозволила реалізувати проект INSPIRE.

У роботах [9–12] наголошено на необхідності обґрунтування базових масштабів цифрових карт для доцільного використання наборів геопросторових даних ІГД різних рівнів. Авторами [9] запропоновано виділити вузько-локальний рівень ІГД, якому відповідає масштаб 1:10000 і більше з відображенням окремих об'єктів картографування, що залишає за собою відкритість питання щодо неуточнених відокремлених об'єктів, які належать до топографічних планів відповідно до «Інструкції з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500» [14].

Постановка завдання. Мета представленої роботи полягає у визначенні доцільного масштабу інфраструктури геопросторових даних на місцевому рівні (залежно від точності інформації, яка відображається, та режиму доступу до неї).

Виклад основного матеріалу дослідження. Набори геопросторових даних країн-учасниць INSPIRE відображаються у трьох Додатках (Annex I, II, III), де Annex I – базовий набір геопросторових даних, а Annex II, III – профільні набори геопросторових даних. Майже 14 000 наборів даних відповідають різним масштабам з урахуванням політики цього проекту (узагальнення від більших до дрібніших масштабів) [3].

Одними із основних компонентів БНГД України на місцевому рівні є топографічні та кадастрові дані (координатно-просторова основа, межі земельних ділянок; цифрова модель рельєфу та інші) [13].

Сучасні геоінформаційні системи дозволяють відображати геопросторові дані у будь-якому масштабі з урахуванням потреб користувача та принципів генералізації топографічних та картографічних матеріалів. У топо- та картографічній діяльності використовуються масштаби 1:500–1:1000000 [14]. Варто зазначити, що топографічні плани масштабу 1:500 є основою для складання

планів всього масштабного ряду [14]. Генералізація планів і карт дозволяє відображати геопросторові дані на дрібніших масштабах, наприклад, шляхом зменшення розмірів та зміною типу просторових об'єктів.

Проаналізовано використання масштабів інфраструктури геопросторових даних різних країн світу на відповідних геопорталах (табл. 1).

Міжнародна практика демонструє, що для формування БНГД на місцевому рівні переважає масштабний ряд 1:500–1:5000.

Досліджуючи реалізовані ІГД на відповідних геопорталах, визначено такі особливості:

- на геопорталах держав-членів INSPIRE для відображення наборів геопросторових даних цієї ІГД розміщене окреме посилання;
- інтеграція геопорталу з електронним кадастром держави;
- об'єднання векторних та растрових топографічних матеріалів;
- відображення топографічної інформації у фіксованих значеннях масштабу;
- застосування програмного продукту ArcGIS;
- обмежений платний доступ до детальної геопросторової і атрибутивної інформації.

Наприклад, Швейцарія та Норвегія також є учасниками даного проекту на правах членства EFTA, тому їх НГД сформовані та діють згідно з Директивою [8]. У містах Фландрії геопросторові дані відображаються від 1:357 до 1:2857. Топографічна векторна і растрова інформація міст Польщі зображується масштабом від 1:1000, а ортофотознімки та кадастрові плани – від 1:500. На геопорталі Каталонії топографічна інформація в містах відображається масштабом 1:2000. Також цей геопортал інтегрований з електронним кадастром Іспанії, що дозволяє швидко та зручно перейти до форми з відкритою кадастровою інформацією, де також зображено кадастровий план земельної ділянки разом з угіддями. ІГД Ломбардії цього регіону Італії реалізовано у середовищі ArcGIS, у дво-, та тривимірному просторах, як і ІГД Малайзії. Базові набори геопросторових даних відображаються масштабом від 1:2000. Геопортал Баварії має різний режим доступності до карт і платні послуги, які надає компанія ALKIS, як розробник наборів геопросторових даних.

Грунтуючись на аналізі основних компонентів БНГД місцевого рівня, було виявлено, що для відображення топографічних і кадастрових даних країни використовують масштаб 1:500, 1:1000 на забудованій території, а для незабудованої – 1:2000, 1:5000.

Місцеві інфраструктури геопросторових даних держав світу залежно від використаного масштабу

№ п/п	Країна, регіон	Цифрові дані, які використовуються		Місцевий (локальний) рівень ІГД
1	Андалузія	Топографічні дані	на забудованій території	1:500; 1:1000
			на незабудованій території	1:2000; 1:5000
2	Іспанія	Кадастрові та топографічні дані	на забудованій території	1:500–1:1000
			на незабудованій території	1:5000
3	Лагос	Топографічні дані, контурні лінії	на забудованій території	1:500
			на незабудованій території	1:1000
		Ортофотознімки		1:2000
4	Ломбардія	Кадастрові та топографічні дані	на забудованій території	1:1000; 1:2000
			на незабудованій території	1:5000; 1:10000
5	Малайзія	Кадастрові та топографічні дані	у містах і на густонаселених територіях	1:500–1:1000
			на напівзбудованих територіях	1:5000–1:10000
			для сільських та віддалених районах	1:25000
6	Австралія	Кадастрові дані, парки, громадські об'єкти, підземні комунікації та інші		1:100–1:5000
7	Баварія	Цифрова топографічна карта (DTK)		1:25000; 1:50000; 1:500000
		Цифрова карта з назвами доріг (DOK)		1:10000
		Цифрова кадастрова карта (DFK)		1:1000
8	Голландія, Wageningen	Кадастрові та топографічні дані		1:500–1:5000
9	Індонезія	Адміністративні кордони та карти земельних ділянок		1:5000
10	Іран	Топографічні карти для великих міст		1:2000
		Кадастрові карти для великих міст (у межах проекту Iranian Cadastral Project)		1:500
11	Каталонія	Кадастрові та топографічні дані, ортофотознімки (у межах проекту The IDEC Project)		1:500–1:5000
12	Китай	Кадастрові карти		1:500, 1:1000, 1:2000
13	Норвегія	Кадастрові та топографічні дані (у межах проекту Geovekst)		1:500–1:5000
14	Польща	Дані Земельного та будівельного реєстру, Реєстру ЖКГ		1:500–1:5000
15	Португалія	Кадастрові карти		1:500–1:5000
16	Фландрія	Набори просторових класів: будівлі, інженерні споруди (мости, тунелі), земельні ділянки (the Large Scale Reference Database (GRB)).		1:250–1:2500

Таблиця 2

Точність місцезнаходження межового знака щодо найближчих пунктів державної геодезичної мережі, геодезичних мереж згущення, міських геодезичних мереж залежно від масштабу

	Середньоквадратичні похибки місцезнаходження межового знака					
	На місцевості	На карті				
		1:500	1:1000	1:2000	1:5000	1:10000
У містах Києві, Севастополі, містах – обласних центрах та містах обласного підпорядкування	0,1 м	0,2 мм	0,1 мм	0,05 мм	0,02 мм	0,01 мм
В інших містах та селищах	0,2 м	0,4 мм	0,2 мм	0,1 мм	0,04 мм	0,02 мм
у селах	0,3 м	0,6 мм	0,3 мм	0,15 мм	0,06 мм	0,03 мм
За межами населених пунктів для земельних ділянок площею до 10 га	0,5 м	1 мм	0,5 мм	0,25 мм	0,1 мм	0,05 мм
За межами населених пунктів для земельних ділянок площею 10 га і більше	2,5 м	5 мм	2,5 мм	1,25 мм	0,5 мм	0,25 мм

Шкали граничної графічної точності і графічної точності масштабу

	На карті	На місцевості				
		1:500	1:1000	1:2000	1:5000	1:10000
Гранична графічна точність	0,1 мм	0,05 м	0,1 м	0,2 м	0,5 м	1 м
Графічна точність масштабу	0,2 мм	0,1 м	0,2 м	0,4 м	1 м	2 м

У більшості держав ці дані інтегровані між собою, що дозволяє працювати з однією просторовою моделлю як у СУБД, так і в ГІС.

Кадастрові дані, як правило, зображуються на масштабах 1:500–1:10000 і зосереджені, насамперед, на межах земельних ділянок та їх метричних властивостях, просторовому положенні [15]. У законодавстві України встановлено значення середньоквадратичних похибок місцезнаходження межового знака щодо найближчих пунктів державної геодезичної мережі, геодезичних мереж згущення, міських геодезичних мереж (табл. 2) [16].

Для обраного масштабного ряду відповідають такі значення граничної графічної точності і графічної точності масштабу (табл. 3).

У таблицях 2 і 3 можна спостерігати, що для обласних центрів та міст обласного підпорядкування середньоквадратична похибка місцезнаходження межового знака дорівнює графічній точності масштабу 1:500 та подвійній граничній графічній точності – 0,2 мм.

Із цього аналізу випливає, що місцевий рівень інфраструктури геопросторових даних земельної ділянки рекомендовано створювати з використанням масштабу 1:500 (в окремих випадках 1:1000) для обласних центрів та міст обласного підпорядкування, а 1:1000 – у інших містах та інших населених пунктах. За межами населених пунктів БНГД земельної ділянки слід розглядати на регі-

ональному рівні із середньоквадратичною похибкою місцезнаходження межових знаків кутів повороту земельної ділянки від 0,5 м [16].

Сьогодні надання актуальної інформації на планах від 1:500, ортофотознімків високої просторової здатності, детальної кадастрової атрибутивної інформації як у світі, так і в Україні є платною послугою, тому рекомендація цього масштабу повинна також враховувати рівень доступу до таких даних, вартість послуг, час на створення та оновлення БНГД на місцевому рівні. Наприклад, для загального доступу можна не відображати підземну інфраструктуру, що дозволяє перейти до 1:2000.

Висновки. Дослідивши особливості основних компонентів БНГД (топографічні та кадастрові дані, геопортали країн світу), можна стверджувати, що для міст відокремлені об'єкти – це усі дані, що зображуються на топографічних планах 1:500–1:5000, залишаючи за собою назву ІГД на місцевому рівні.

Проаналізувавши чине законодавство України у сфері землеустрою та кадастру, теоретичні відомості щодо масштабів планів та карт, визначено, що рекомендованим масштабом інфраструктури геопросторових даних на місцевому рівні є 1:500 для обласних центрів та міст обласного підпорядкування, а 1:1000 – для інших міст та населених пунктів. Також варто звернути увагу на доступ до даних із такою точністю.

Список літератури:

1. Establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE): Directive 2007/2/EC of 14 March 2007. The European Parliament and the Council. URL: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:108:0001:0014:en:PDF> (дата звернення 01.03.2018).
2. Уряд ухвалив законопроект про Національну інфраструктуру геопросторових даних. Держгеокадастр. URL: <http://land.gov.ua/uriad-skhvalyv-zakonoproekt-pro-natsionalnu-infrastrukturu-geoprostorovykh-danykh/> (дата звернення 26.02.2018).
3. Advanced Regional Spatial Data Infrastructures in Europe. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment Sustainability. URL: http://inspire.ec.europa.eu/documents/Study_and_Workshop_Reports/arsdi_report.pdf (дата звернення 26.02.2018).
4. V. Cetl, V. Nunes de Lima, R. Tomas, M. Lutz, J. D'Eugenio, A. Nagy, J. Robbrecht Summary Report on Status of implementation of the INSPIRE Directive in EU. Luxembourg, 2017. URL: http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC109035/jrc109035_jrc109035_jrc_inspire_eu_summaryreport_online.pdf (дата звернення 04.03.2018).
5. Ian P. Williamson Land Administration and Spatial Data Infrastructures – Trends and Developments. FIG XXII International Congress. (Washington, D.C. USA, April 19-26 2002), Washington, 2002.

URL: https://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig_2002/Ts3-4/TS3_4_williamson.pdf (дата звернення 04.03.2018).

6. K. McDougall, A. Rajabifard, I. Williamson Local Government and SDI – Understanding their Capacity to Share Data. Nederlandse Commissie voor Geodesie Netherlands Geodetic Commission, 2009. URL: <http://www.csdila.unimelb.edu.au/publication/conferences/GSDI-11/LocalGovernmentandSDI.pdf> (дата звернення 06.03.2018).

7. Dr. Pengde Lia, Lan Wub, Dr. Xuenian Xiao SDI in China: progress and issues. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B4. Beijing, 2008. С. 7–10.

8. Developing Spatial Data Infrastructures: The SDI Cookbook. USA, 2004. URL: https://www.geosur.info/geosur/contents/gsd_i_cookbookv2.0.pdf (дата звернення 10.03.2018).

9. Бондаренко Е.Л. Інваріантні складові інфраструктур просторових даних для різних територіальних рівнів геоінформаційного картографування. Проблеми безперервної географічної освіти і картографії. 2010. Вип. 11. С. 30–36.

10. Карпінський Ю.О., Лященко А.А., Окада Я. Склад і принципи розроблення національного профілю стандартів з географічної інформації. Інженерна геодезія. 2016. Вип. 63. С. 110–121.

11. Карпінський Ю.О., Лященко А.А. Формування національної інфраструктури просторових даних – пріоритетний напрям розвитку геодезичної галузі. URL: http://lagao.at.ua/vikno/GIS_books/NIGD.pdf (дата звернення 10.03.2018).

12. Коренець О.В. Створення інфраструктур просторових даних для геоінформаційного картографування як актуальне наукове завдання. Часопис картографії. 2011. Вип. 2. С. 55–62.

13. Проект Закону України «Про Національну інфраструктуру геопросторових даних». Держгеокадастр. URL: <http://land.gov.ua/info/proekt-zakonu-ukrainy-pro-natsionalnu-infrastrukturu-geoprostorovykh-danykh/> (дата звернення 10.03.2018).

14. Про затвердження Інструкції з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 (ГКНТА-2.04-02-98): Наказ Головного управління геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті Міністрів України від 09 квітня 1998 р. № 56 / Головне управління геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті Міністрів України. Офіційний вісник України. 1998. № 29. С. 173. Ст. 1114.

15. A. Rajabifard, I. Williamson Integration of built and natural environmental datasets within national SDI. Seventeenth United Nations Regional Cartographic Conference for Asia and the Pacific Bangkok, (Bangkok, 18-22 September 2006). URL: https://unstats.un.org/unsd/geoinfo/RCC/docs/rccap17/ip/17th_UNRCCAP_econf.97_6_IP38.pdf (дата звернення 13.03.2018).

16. Про затвердження Інструкції про встановлення (відновлення) меж земельних ділянок в натурі (на місцевості) та їх закріплення межовими знаками: Наказ Державного комітету України із земельних ресурсів від 18 травня 2010 р. № 376 / Наказ Державного комітету України із земельних ресурсів. Офіційний вісник України. 2010. № 46. С. 251. Ст. 1519.

МАСШТАБ ИНФРАСТРУКТУРЫ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ МЕСТНОГО УРОВНЯ

В статье исследован масштаб инфраструктуры геопространственных данных местного уровня различных стран мира в зависимости от точности необходимой информации и уровня доступа к ней. В формировании базового набора геопространственных данных на местном уровне преобладает масштабный ряд 1:500–1:5000. В Украине рекомендуется использовать масштаб 1:500 для инфраструктуры геопространственных данных местного уровня областных центров и городов областного подчинения и 1:1000 – других городов и населенных пунктов.

Ключевые слова: инфраструктура геопространственных данных, масштаб, генерализация, базовый набор, пространственные классы, топографические данные.

THE SCALE OF INFRASTRUCTURE FOR SPATIAL INFORMATION IN LOCAL LEVEL

The article explores the scale of infrastructure for spatial information in local level in different countries of the world, depending on the accuracy of the required information and the level of access to it. The scale range 1:500-1:5000 is offered to form a basic set of spatial data in the local level. In Ukraine, the scale 1:500 is recommended to use for the infrastructure for spatial data in the local level for cities and 1:1000 – for towns and settlements.

Key words: infrastructure for spatial data, scale, generalization, basic set, spatial classes, topographic data.

ЕЛЕКТРОНІКА

УДК 004.056.55

Крилов А.В.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Ямненко Ю.С.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

БЕЗПЕКА ІНФОРМАЦІЇ В MICROGRID ІЗ ВПРОВАДЖЕНОЮ КОНЦЕПЦІЄЮ INTERNET OF THINGS

У статті викладено теоретичні принципи побудови системи розподіленої генерації MicroGrid із реалізацією концепції «Інтернету речей» (IoT – Internet of Things). Узгоджене енергоефективне керування електроживленням в MicroGrid набуває особливої актуальності в умовах сучасного розвитку енергетики, електротехніки та електроніки, при великій кількості електротехнічних пристроїв, які суттєво відрізняються за функціональними характеристиками, робочими режимами, рівнем споживання та важливістю для людини. У статті розглянуто два види захисту інформації: використання регульованого фільтру й програмне кодування інформації.

Ключові слова: MicroGrid, Internet of Things, керований фільтр, алгоритм, мікроконтролер.

Постановка проблеми. Задача розробки сучасних автоматизованих систем керування та прийняття рішень для систем розподіленої генерації MicroGrid у наш час є досить актуальною [1]. При цьому виникає ряд питань, пов'язаних із безпечною передачею та зберіганням інформації, отриманої з датчиків та контролюючих вузлів системи. Формування єдиного інформаційного середовища, що об'єднує всі наявні в MicroGrid пристрої, є принципово новою умовою формування узгодженого керування в спільному інформаційному середовищі, на відміну від традиційної побудови систем керування електроживленням [2]. Такий підхід забезпечує підвищення рівня «інтелектуалізації» керування електроенергетичними процесами. Тому важливим є залучення новітніх інформаційних методів та технологій для вирішення задачі керування. У цьому напрямку, зокрема, актуальним є підхід до формування єдиного інформаційного середовища за концепцією «Інтернету речей» (IoT – Internet of Things) [3].

Під час впровадження концепції IoT у MicroGrid утворюється локальна інформаційна

інфраструктура, здатна до функціонування згідно з встановленими алгоритмами з можливістю доступу та обміну інформацією із зовнішніми об'єктами.

Система MicroGrid

MicroGrid є інноваційною концепцією малої розподіленої енергетики, що передбачає створення локальних мережевих енергетичних структур. Уніфікована структура системи MicroGrid включає акумуляторні батареї, перетворювальні пристрої напруги, контролери заряду/розряду, різноміснi генератори (альтернативні та відновлювальні джерела енергії), а також навантаження (рис. 1). Наявність альтернативних джерел дозволяє забезпечити безперебійність роботи під час відключення централізованої мережі живлення або паралельно з нею. У випадку тривалої відсутності напруги мережі та недостатності енергії від альтернативних джерел відбувається відключення електротехнічних пристроїв з урахуванням їх пріоритетів.

Складові системи

До систем розосередженої генерації MicroGrid відносяться приватні будинки типу SmartHouse,

автономні та/або підключені до центральної електричної мережі локальні електротехнічні об'єкти – дослідницькі станції, фермерські господарства, морські та космічні комплекси. У залежності від типу об'єкту набір датчиків, виконавчих елементів, типів альтернативних джерел може варіюватися.

Необхідними умовами функціонування є виконання всіх технологічних завдань електрообладнання, передбачених специфікою та функціональним призначенням, а також дотримання необхідного рівня комфортності користування та зручності для власника/оператора.

З точки зору керування електроспоживанням застосовуються різні стратегії побудови керуючих алгоритмів, зокрема: централізоване, децентралізоване та комбіноване керування.

Концепція IoT

Результатом впровадження концепції IoT є мережа, що складається з взаємопов'язаних фізичних об'єктів (речей) або пристроїв, які мають вбудовані датчики, виконавчі пристрої, а також програмне забезпечення, що дозволяє здійснювати передачу і обмін даними між фізичним світом і комп'ютерними системами за допомогою використання стандартних протоколів зв'язку в дротових або бездротових мережах. Ці взаємопов'язані об'єкти можуть бути запрограмовані на зчитування інформації та приведення в дію пристроїв, що приєднані до них, ідентифікацію користувача, а також дозволяють при потребі виключити участь людини у функціонуванні цих пристроїв за

рахунок використання інтелектуальних інтерфейсів [3].

На сьогодні Інтернет речей знаходиться на початковій стадії розвитку. Для його повної реалізації необхідний подальший розвиток існуючих бездротових технологій передачі даних та мережевої інфраструктури, а також покращення існуючої елементної бази пристроїв зчитування інформації та виконання дій (датчиків, вимикачів, тощо). Розвиток Інтернету речей залежить від:

1) технологій бездротових мереж із низьким енергоспоживанням;

2) темпів впровадження стільникових мереж для IoT: EC-GSM, LTE-M, NB – IoT, а також універсальних мереж 5G;

3) переходу мережі Інтернет на версію протоколу IPv6 [4].

Найпоширенішим способом зв'язку в IoT є бездротові мережі, які використовують відповідні технології передавання даних. До цих технологій належать, перш за все, LPWAN (англ. Low-power Wide-area Network – енергоефективна мережа далекого радіусу дії), WLAN (Wireless Local Area Network – бездротова локальна мережа, WPAN (Wireless Private Area Network – бездротова приватна мережа).

На рис. 2 наведено типову технологію бездротової мережі LPWAN.

На рис.1 зображено: кінцеві датчики, представлені сенсорами з вбудованими LPWAN-модулями. Сенсори через бездротовий канал зв'язку з'єднані з LPWAN-станцією, яка охоплює певну зону

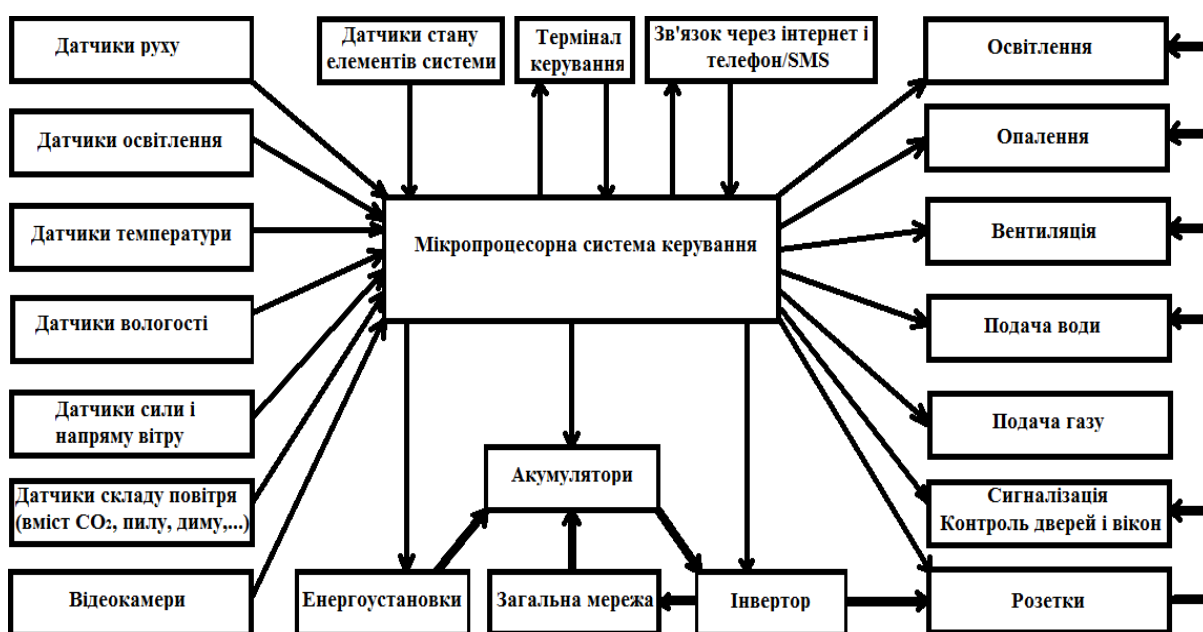


Рис. 1. Приклад структурної схеми MicroGrid – «розумного будинку»

покриття. Разом декілька таких станцій повністю покривають необхідну територію, забезпечуючи безперебійну роботу мережі. У свою чергу, LPWAN-станції з'єднані дротовими каналами зв'язку із сервером, який відіграє роль комутатора. LPWAN використовується для передачі інформації на далекі відстані, а для внутрішнього способу зв'язку використовується менш потужні мережі.

Тож у даній системі є важливим захист інформації. Для забезпечення захисту використовуються два варіанти:

1. **Фізичний метод** – використання регульованих фільтрів джерел живлення мікроконтролера.
2. **Програмний метод** – реалізація програмного кодування інформації.

Розглянемо ці методи більш детально.

Фізичний метод захисту інформації

Ключовим елементом захисту в даному випадку є спеціальним чином сконструйований регульований фільтр на вході живлення мікрокон-

тролера [5]. Система живлення мікроконтролера складається із зовнішнього джерела живлення та фільтру, який живить безпосередньо центральний процесор та пам'ять мікроконтролера та забезпечує спотворення струму живлення для виключення можливості ідентифікації виконуваних команд. Розробка регульованого фільтру живлення є перспективним апаратним методом забезпечення захищеності мікроконтролера від несанкціонованого зчитування за струмом споживання.

Реалізація такої система потребує виконання таких умов:

- 1) можливість зміни алгоритму захисту без зміни апаратної частини шляхом прошивки мікроконтролера – це необхідно для забезпечення можливості його подальшого вдосконалення;
- 2) забезпечення відслідковування реального струму споживання мікроконтролера для генерування хибного (спотвореного) струму споживання на основі цих даних.

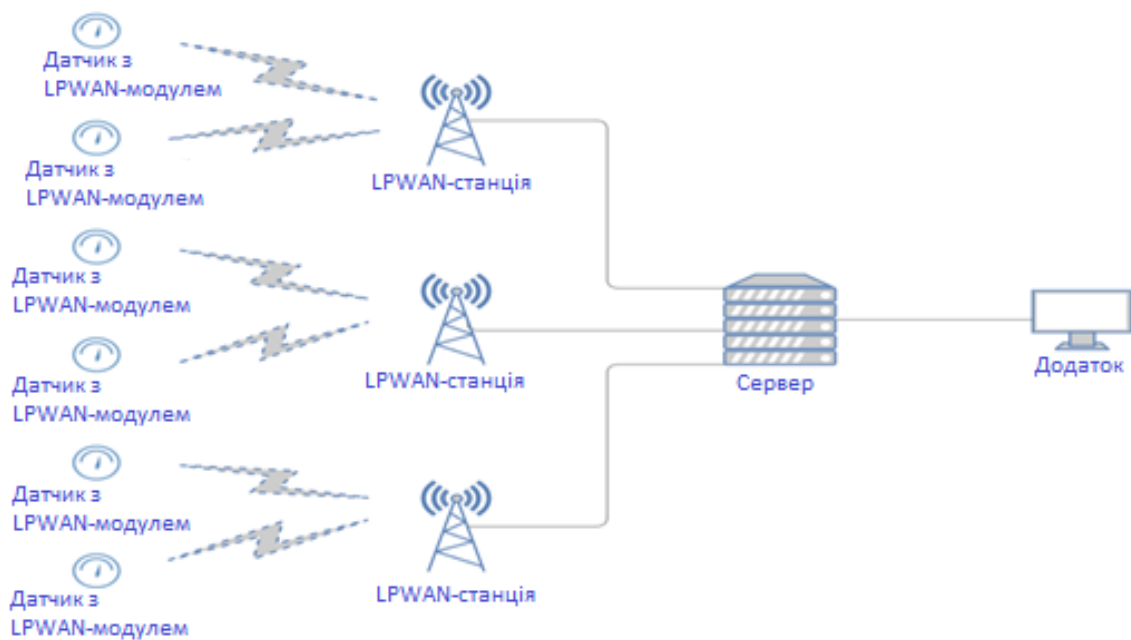


Рис. 2. Типова топологія LPWAN-мережі

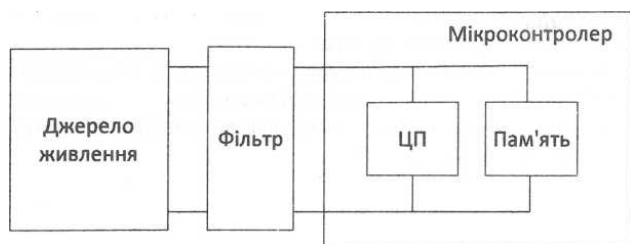


Рис. 3. Структурна схема живлення мікроконтролера з регульованим фільтром захисту

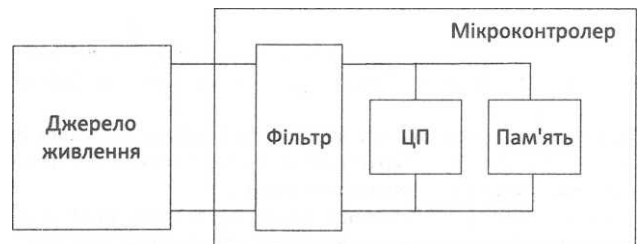


Рис. 4. Перенесення регульованого фільтру живлення у мікроконтролер

Для того щоб отримати інформацію про струм живлення мікроконтролера, потрібно підключитися між фільтром живлення та мікроконтролером. Для підвищення рівня захищеності мікропроцесорної системи від зчитування струму споживання регульований фільтр живлення розміщується всередині корпусу мікроконтролера (рис. 3) або в захищений корпус разом із мікроконтролером (рис. 4).

Параметри фільтру є регульованими і задаються за допомогою системи керування (СК на рис. 5). Вимірювання струму споживання центрального процесора (ЦП) та внутрішньої пам'яті мікроконтролера здійснюється за допомогою датчика струму на активному резисторі та АЦП. Введення додаткового регулювання фільтром дозволяє створити гнучкий алгоритм керування, який змінюється в процесі роботи. Фільтр складається не тільки з ємностей та індуктивностей, як традиційний згладжувальний фільтр, але й містить додаткові активні елементи для генерування шумоподібного сигналу із заданими параметрами, який «домішується» до струму споживання.

На рис. 6 зображено структурну схему пристрою захисту інформації на основі блоку ключів, що складається з кількох комірок, кожна з яких містить ключ на МДН-транзисторі та навантаження.

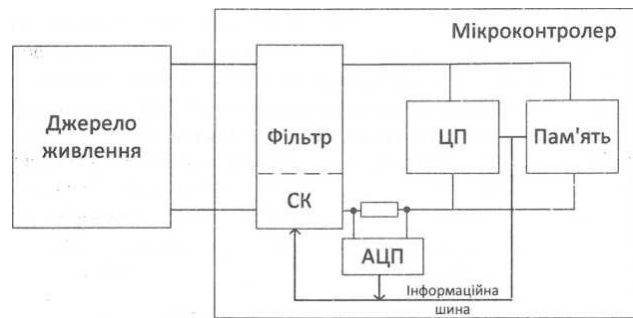


Рис. 5. Фільтр з інформаційною шиною

Завдяки блоку керування генератором випадкових станів досягається внесення додаткових флуктуацій у генеровані випадкові числа, що відповідають станам блоку ключів. Перевагою такої структури фільтру є те, що він не містить конденсаторів великої ємності, а отже, займає меншу площу кристалу.

Введення інформаційної шини дає можливість створювати гнучкі та масштабовані системи електроживлення в сучасних цифрових пристроях на мікропроцесорах. За допомогою інформаційної шини також стає можливим реалізувати алгоритми керування енергоспоживанням у пристроях, що живляться як від акумуляторів, так і від мережі [5].

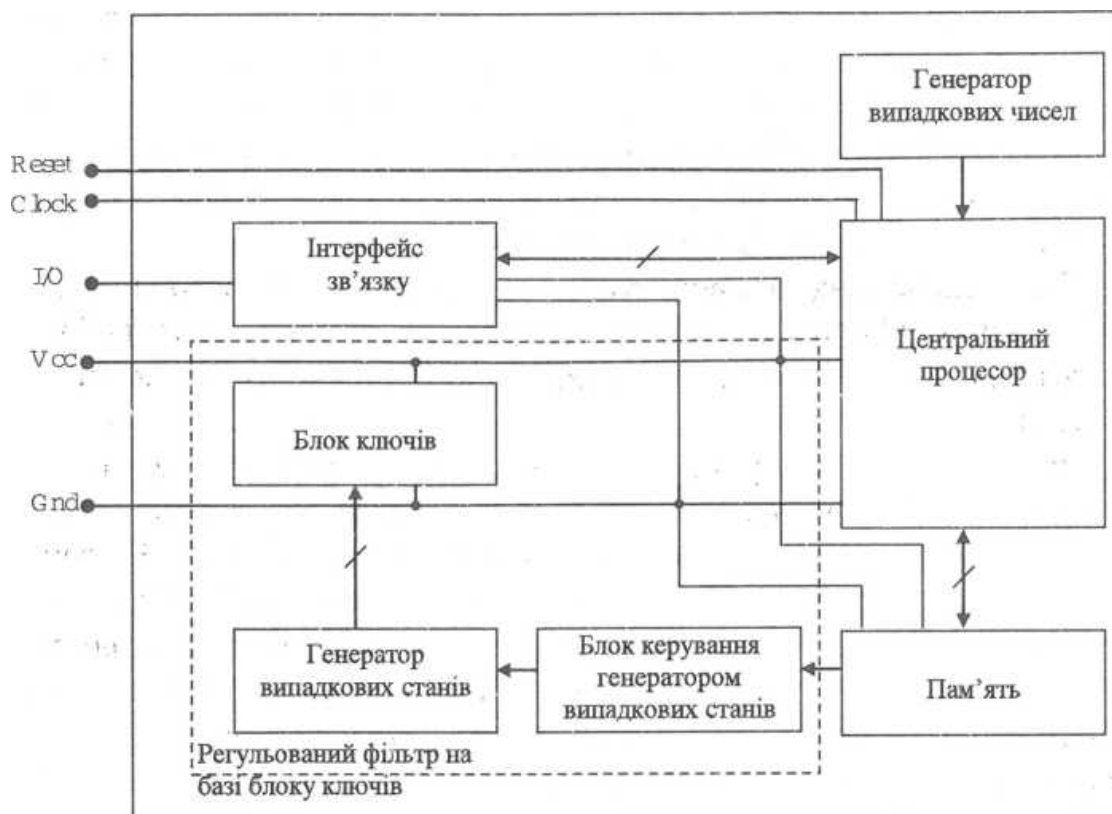


Рис. 6. Структура регульованого фільтра на основі блоку ключів

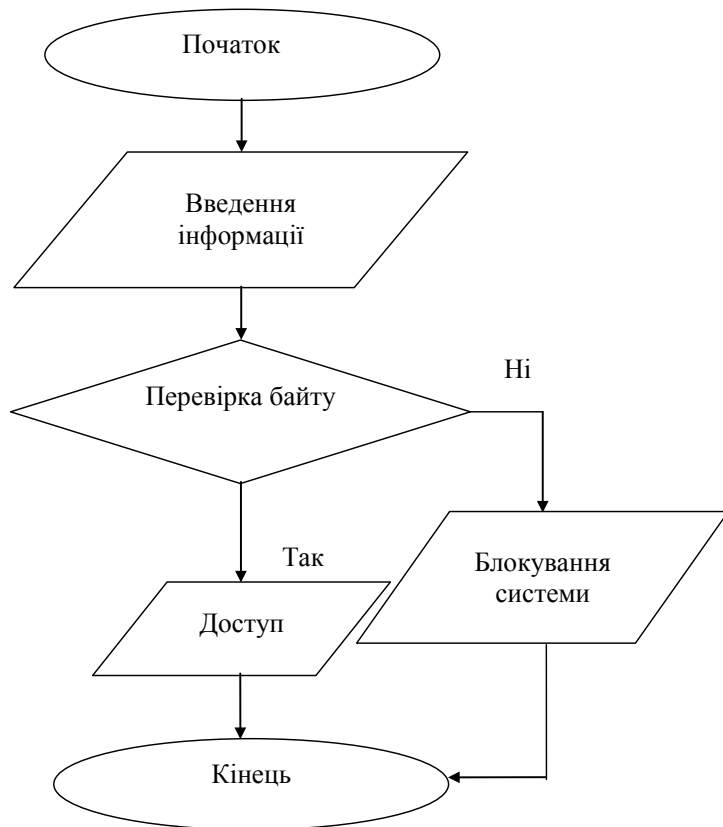


Рис. 7. Алгоритм роботи програмного методу захисту

Програмний метод

Даний метод базується на впровадженні в алгоритм роботи мікроконтролера перевірку початкового допоміжного (перевірочного) байту при передачі коду. У випадку позитивного результату перевірки генерується дозвіл на виконання основної програми, що проілюстровано в алгоритмі на рис. 7.

Під час перевірки задається перевірочний байт, з яким послідовно порівнюються біти початкового байту даних. Для прикладу нижче наведено фрагмент програмного коду при заданому перевірочному байті 10111011 та використанні порту А для передавання інформації по шині даних:

```

void Perevirka(inf) // inf- інформаційне повідомлення з першим перевірочним байтом
{
    if(a&1==1 && a&2==0 && a&3==1 &&
    a&4==1 && a&5==1 && a&6==0 && a&7==1 &&
    a&8==1) // перевірка умови
  
```

```

{
    A=A;
}
else
    A=0;
    Port_Reset=1;
    return 0;
}
  
```

Лістинг частини програми для додавання перевірного байту В:

```

void_Dod(A)
{
    A * pA;
    pA = fopen ("A.txt", "r+");// відкриваємо для правки
    if (pA!=NULL)// перевірка відкриття
    {
        fseek(pA, 8, SEEK_SET);//в файлі pA переміщується на 8 позицій вперед відносно початку файлу
        fwrite("B", pA);//пишемо туди перевірочний байт B
        fclose (pA);
    }
}
  
```

Також даний метод може бути використаний для організації точки доступу до вузла системи IoT. У цьому випадку ідентифікатор застосовується не для інформаційного повідомлення основної частини коду, а для девайсу з якого здійснюються доступ до бази даних.

Висновки. Реалізація узгодженого керування електротехнічними пристроями в системі розподіленої генерації MicroGrid з реалізацією концепції Інтернету речей дозволяє забезпечити дотримання вимог енергоефективності та інтелектуалізації сучасних електронних систем.

У залежності від функціонального призначення та поставленої задачі керування обмін даними між пристроями загальної системи реалізується з використанням технологій дротового або бездротового зв'язку. Для забезпечення захисту інформації застосовується апаратний метод введення регульованого фільтра джерела живлення мікроконтролера або програмний метод введення додаткового перевірочного байта.

Список літератури:

1. Петергеря Ю.С., Жуйков В.Я. Принципи побудови інтелектуальних систем керування перетворювачів у локальних об'єктах // Зб. праць науково-технічної конференції «Екотехнології і ресурсозбереження. Енергоефективність та охорона навколишнього середовища». К., 2001.
2. Гепко І.А., Олійник В.Ф., Чайка Ю.Д., Бондаренко А.В. Сучасні бездротові мережі: стан і перспективи розвитку Київ: ЕКМО, 2009., 672 с.
3. Семюел Грінгард «Інтернет речей. Майбутнє вже тут». Видавництво: Альпіна Паблішер, 2016.
4. Росляков А.В., Ваняшин С.В., Гребешков А.Ю., Самсонов М.Ю. «Інтернет речей» під ред. А.В. Рослякова. Самара: ПГУТІ, ТОВ «Видавництво Ас Гард», 2014. 340 с.
5. Жуйков В.Я, Терещенко Т.О., Ямненко Ю.С., Мороз А.В. Регульовані фільтри джерел живлення для захисту інформації в мікроконтролерах. Видавництво «Кафедра». Київ-2011. С. 43.

БЕЗОПАСНОСТЬ В MICROGRID С ВНЕДРЕННОЙ КОНЦЕПЦИЕЙ INTERNET OF THINGS

В статье изложены теоретические принципы построения системы распределенной генерации MicroGrid с реализацией концепции «Интернета вещей» (IoT – Internet of Things). Согласованное энергоэффективное управления электропитанием в MicroGrid приобретает особую актуальность в условиях современного развития энергетики, электротехники и электроники, при большом количестве электротехнических устройств, которые существенно отличаются по функциональным характеристикам, рабочими режимами, уровню потребления и важности для человека. В статье рассмотрены два вида защиты информации: использование регулируемого фильтра и программное кодирование информации.

Ключевые слова: *MicroGrid, Internet of Things, управляемый фильтр, алгоритм, микроконтролер.*

INFORMATION SECURITY IN MICROGRID WITH THE INTRODUCTION OF THE INTERNET OF THINGS

The article outlines the theoretical principles of constructing a distributed generation MicroGrid system with the implementation of the concept of «Internet of Things» (IoT). Aggregated energy-efficient power management in MicroGrid becomes particularly relevant in today's development of power engineering, electrical engineering and electronics, with a large number of electrical appliances that differ significantly in functionality, operating modes, level of consumption and human importance. Two types of information security are considered in the article – the use of an adjustable filter and programmatic information coding.

Key words: *MicroGrid, Internet of Things, controlled filter, algorithm, microcontroller.*

Відомості про авторів

Антоненко А.В. – кандидат технічних наук, доцент кафедри готельно-ресторанного бізнесу Київського університету культури;

Бабаков Р.М. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри прикладної математики і теорії систем управління Донецького національного університету імені Василя Стуса (м. Вінниця);

Бадаєв Ю.І. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизації проектування енергетичних процесів і систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Богачов Є.В. – магістрант кафедри виробництва приладів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Бойків М.В. – кандидат технічних наук, асистент кафедри транспортних технологій Національного університету «Львівська політехніка»;

Борисенко В.А. – випускник Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького;

Бородай В.О. – доктор медичних наук, професор, начальник хірургічного відділення хірургічної клініки Військово-медичного клінічного центру Північного регіону, полковник медичної служби;

Братченко О.В. – кандидат технічних наук, професор, професор кафедри механіки і проектування машин Українського державного університету залізничного транспорту;

Брич М.В. – інженер кафедри телекомунікацій Національного університету «Львівська політехніка»;

Броварець О.О. – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри інформаційно-технічних та природничих дисциплін Київського кооперативного інституту бізнесу і права;

Броневицький С.П. – доктор технічних наук, начальник Комунальної організації «Інститут Генерального плану м. Києва»;

Бучек П.І. – аспірант кафедри промислової електроніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Васюченко П.В. – кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри фізики, електротехніки та електроенергетики Української інженерно-педагогічної академії;

Вікуль С.І. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри харчової хімії Одеської національної академії харчових технологій;

Владов С.І. – кандидат технічних наук, завідувач навчально-методичної лабораторії, викладач кафедри енергозабезпечення і систем управління Кременчуцького льотного коледжу Національного авіаційного університету;

Власюк А.П. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри економіко-математичного моделювання та інформаційних технологій Національного університету «Острозька академія»;

Ганношина І.М. – старший викладач кафедри інформаційних систем і технологій Національного транспортного університету;

Гарбуз С.К. – аспірант кафедри управління проектами Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;

Глоба Л.С. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційно-телекомунікаційних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Гнатівська А.А. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформатики Одеського державного екологічного університету;

Гончаров Д.С. – аспірант кафедри технології молочних, олійно-жирових продуктів і косметики Одеської національної академії харчових технологій;

Горбуліч О.В. – кандидат медичних наук, асистент кафедри торакоабдомінальної хірургії Харківської медичної академії післядипломної освіти;

Грищенко І.М. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри готельно-ресторанного бізнесу Київського університету культури;

Громов В.І. – аспірант Українського державного університету залізничного транспорту;

Данилова Т.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри планування і організації виробництва ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»;

Данілов І.С. – магістр Київського університету культури;

Дец Н.О. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технології молочних, олійно-жирових продуктів і косметики Одеської національної академії харчових технологій;

Дзержинська О.В. – аспірант кафедри підйомно-транспортних машин Донбаської державної машинобудівної академії;

Діхтяр О.В. – студент кафедри транспортних технологій Національного університету «Львівська політехніка»;

Добровольський О.С. – кандидат технічних наук, доцент кафедри двигунів та теплотехніки Національного транспортного університету;

Довгаль М.О. – студент кафедри автоматизації енергосистем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Думич С.С. – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри телекомунікацій Національного університету «Львівська політехніка»;

Есакова С.В. – кандидат технічних наук, доцент кафедри геотехніки та підземних споруд Харківського національного університету будівництва та архітектури;

Житенко О.В. – кандидат технічних наук, асистент, доцент кафедри транспортних технологій Національного університету «Львівська політехніка»;

Жуковська Н.А. – кандидат технічних наук, доцент кафедри прикладної математики Національного університету водного господарства та природокористування;

Жуковський В.В. – старший викладач кафедри прикладної математики Національного університету водного господарства та природокористування;

Жученко О.А. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації хімічних виробництв Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Заєць С.С. – старший викладач кафедри виробництва приладів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Земліна Ю.В. – кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри готельно-ресторанного бізнесу Київського університету культури;

Злепко С.М. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри біомедичної інженерії Вінницького національного технічного університету;

Калініченко О.В. – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри підземної розробки родовищ корисних копалин ДВНЗ «Криворізький національний університет»;

Калініченко Ю.В. – аспірант кафедри фізико-технічних систем та інформатики Державного закладу «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка»;

Карев С.В. – кандидат технічних наук, доцент кафедри двигунів та теплотехніки Національного транспортного університету;

Качурівський В.О. – кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій та вищої математики Відокремленого підрозділу Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»;

Кирисов І.Г. – старший викладач кафедри фізики, електротехніки та електроенергетики Української інженерно-педагогічної академії;

Кінь Д.О. – студент 4 курсу спеціальності «Геодезія, картографія та землеустрій» Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова;

Клепач Л.Є. – аспірант кафедри промислової електроніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Клімова Я.Р. – викладач циклової комісії конструкції та експлуатації повітряних суден і авіадвигунів Кременчуцького льотного коледжу Національного авіаційного університету;

Кобилянський Б.Б. – кандидат технічних наук, доцент кафедри охорони праці та екологічної безпеки Навчально-наукового професійно-педагогічного інституту Української інженерно-педагогічної академії;

Коваленко О.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри кібербезпеки та програмного забезпечення Центральноукраїнського національного технічного університету;

Ковальов В.В. – кандидат технічних наук, доцент ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»;

Колоскова Г.М. – кандидат технічних наук, доцент Національного аерокосмічного університету імені М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»;

Кондратець В.О. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизації виробничих процесів Центральноукраїнського національного технічного університету;

Корж Р.О. – кандидат технічних наук, доцент, проректор з науково-педагогічної роботи Національного університету «Львівська політехніка»;

Корнага Я.І. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Коробцов Є.І. – магістрант кафедри виробництва приладів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Косенко А.В. – аспірант, асистент кафедри підземної розробки родовищ корисних копалин ДВНЗ «Криворізький національний університет»;

Котунов В.О. – аспірант кафедри автоматизації проектування енергетичних процесів і систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Кривонос В.Е. – кандидат технічних наук, доцент Приазовського державного технічного університету;

Криворучко М.Ю. – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри інженерно-технічних дисциплін Київського національного торговельно-економічного університету;

Крилов А.В. – аспірант факультету електроніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Крот О.П. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри безпеки життєдіяльності та інженерної екології Харківського національного університету будівництва та архітектури;

Кузькін О.Ф. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортних технологій Запорізького національного технічного університету;

Куменко С.О. – магістрант групи АКІТ-17м кафедри автоматизації, комп'ютерних наук і технологій ДВНЗ «Криворізький національний університет»;

Лагодіна Л.П. – кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних систем і технологій Національного транспортного університету;

Ланженко Л.О. – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри технології молочних, олійно-жирових продуктів і косметики Одеської національної академії харчових технологій;

Ліфіренко О.С. – викладач кафедри готельно-ресторанного бізнесу Київського університету культури;

Лобов В.Й. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації, комп'ютерних наук і технологій ДВНЗ «Криворізький національний університет»;

Лободзинський В.Ю. – асистент кафедри теоретичної електротехніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Ловська А.О. – кандидат технічних наук, доцент кафедри вагонів Український державний університет залізничного транспорту;

Лучковський І.Я. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри геотехніки та підземних споруд Харківського національного університету будівництва та архітектури;

Маковська Т.В. – асистент кафедри технології молочних, олійно-жирових продуктів і косметики Одеської національної академії харчових технологій;

Максимюк Т.А. – кандидат технічних наук, асистент кафедри телекомунікацій Національного університету «Львівська політехніка»;

Мацуй А.М. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації виробничих процесів Центральноукраїнського національного технічного університету;

Медушевський С.В. – аспірант Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького;

Мельник О.Є. – кандидат технічних наук, доцент кафедри електроспоживання та енергетичного менеджменту ДВНЗ «Криворізький національний університет»;

Мещеряков Д.В. – аспірант Одеської національної академії харчових технологій;

Миронець І.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційної безпеки та комп'ютерної інженерії Черкаського державного технологічного університету;

Михальчан В.С. – кандидат технічних наук, доцент Одеської національної академії харчових технологій;

Мнухін А.Г. – доктор технічних наук, професор, завідувач науково-дослідної лабораторії Запорізької державної інженерної академії;

Мудрик В.І. – студент кафедри автоматизації енергосистем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Нечепуренко Д.С. – кандидат технічних наук, доцент кафедри планування і організації виробництва ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»;

Овчинніков Д.В. – аспірант кафедри двигунів та теплотехніки Національного транспортного університету;

Олійник Ю.С. – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри фізики, електротехніки і електроенергетики Української інженерно-педагогічної академії;

Омельченко А.В. – кандидат технічних наук, кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання Донецького національного університету економіки та торгівлі імені Михайла Туган-Барановського (м. Кривий Ріг);

Парненко В.С. – асистент кафедри інтегрованих технологій машинобудування Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Пилипенко Л.М. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри біохімії, мікробіології та фізіології харчування Одеської національної академії харчових технологій;

Пиротти Е.Л. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерної математики і аналізу даних Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;

Пілічева М.О. – кандидат технічних наук, доцент кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова;

Равська Н.С. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри інтегрованих технологій машинобудування Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Реута О.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електронних засобів телекомунікацій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

Рибін А.В. – старший викладач кафедри вагонів Український державний університет залізничного транспорту;

Ричок С.О. – інженер 1-ої категорії ДП «ДержавтотрансНДІпроект»;

Романов О.І. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри телекомунікацій систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Савенко О.С. – кандидат технічних наук, доцент, декан факультету програмування та комп'ютерних і телекомунікаційних систем Хмельницького національного університету;

Севастьянова О.В. – кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри технології молочних, олійно-жирових продуктів і косметики Одеської національної академії харчових технологій;

Семенов А.О. – кандидат технічних наук, доцент, докторант кафедри радіотехніки Вінницького національного технічного університету;

Скрипніченко Д.М. – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри технології молочних, олійно-жирових продуктів і косметики Одеської національної академії харчових технологій;

Скулиш М.А. – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, докторант кафедри інформаційно-телекомунікаційних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Сліпченко В.Г. – доктор технічних наук, професор Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Стахов Р.О. – студент кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Ступак Н.С. – аспірант кафедри двигунів та теплотехніки Національного транспортного університету;

Терещенко Т.О. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри промислової електроніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Тимчик Г.С. – доктор технічних наук, професор, декан Приладобудівного факультету Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Титов С.Д. – доцент кафедри вищої математики Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;

Тільняк Ю.Я. – магістр кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Ткаченко Н.А. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології молочних, олійно-жирових продуктів і косметики Одеської національної академії харчових технологій;

Томашевський Р.С. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри промислової і біомедичної електроніки Національного технічного університету України «Харківський політехнічний інститут»;

Федорчук В.Ю. – магістр з прикладної математики Національного університету водного господарства та природокористування;

Хабраман Хаді – аспірант кафедри електронних засобів телекомунікацій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

Химко О.М. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Національного університету «Львівська політехніка»;

Хохлов Ю.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри промислової електроніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Цапар В.С. – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації хімічних виробництв Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Цокота М.В. – аспірант кафедри виробництва приладів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Чекурін В.Ф. – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач відділу математичних проблем механіки неоднорідних тіл Інституту прикладних проблем механіки і математики імені Я.С. Підстригача НАН України;

Чепурний Д.О. – кандидат технічних наук, доцент кафедри геотехніки та підземних споруд Харківського національного університету будівництва та архітектури;

Черепанова К.В. – асистент кафедри інформатики Одеського державного екологічного університету;

Чорна В.О. – кандидат технічних наук, доцент кафедри систем електроспоживання та енергетичного менеджменту Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського;

Шевченко В.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри виробництва приладів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Шкреттій А.В. – аспірант кафедри інформаційної безпеки та комп'ютерної інженерії Черкаського державного технологічного університету;

Шмельов Ю.М. – кандидат технічних наук, заступник начальника коледжу з навчальної роботи, викладач кафедри енергозабезпечення і систем управління Кременчуцького льотного коледжу Національного авіаційного університету;

Шульга О.С. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри експертизи харчових продуктів Національного університету харчових технологій;

Шульга С.І. – кандидат хімічних наук, доцент, професор кафедри харчової хімії Національного університету харчових технологій;

Щапов П.Ф. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри промислової і біомедичної електроніки Національного технічного університету України «Харківський політехнічний інститут»;

Щербань А.П. – асистент кафедри інформаційно-вимірювальної техніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Ямненко Ю.С. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри промислової електроніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Ямненко Ю.С. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри промислової електроніки факультету електроніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Яремко О.М. – кандидат технічних наук, доцент кафедри телекомунікацій Національного університету «Львівська політехніка».

НОТАТКИ

Науковий журнал

**ВЧЕНІ ЗАПИСКИ
ТАВРІЙСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ІМЕНІ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО**

Серія: Технічні науки

Том 29 (68) № 2 2018

Коректура • *Н. Пирог*

Комп'ютерна верстка • *С. Калабухова*

Адреса редакції:

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

м. Київ, вул. Івана Кудрі, 33

Електронна пошта: editor@tech.vernadskyjournals.in.ua

Сторінка журналу: www.tech.vernadskyjournals.in.ua

Формат 60x84/8. Гарнітура Times New Roman.

Папір офсетний. Цифровий друк. Обл.-вид. арк. 37,43. Ум.-друк. арк. 42,31. Зам. № 0618/55

Підписано до друку 14.06.2018. Наклад 150 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»

73034, м. Херсон, вул. Паровозна, 46-а, офіс 105

Телефон +38 (0552) 39 95 80

E-mail: mailbox@helvetica.com.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 4392 від 20.08.2012 р.