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 30 (69) № 5 2019

Частина 1

Видавничий дім
«Гельветика»
2019

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;
Дехтяр Анатолій Соломонович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри архітектурних конструкцій Національної академії образотворчого мистецтва і архітектури;
Дичко Аліна Олегівна – доктор технічних наук, професор, професор кафедри інженерної екології Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;
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 телекомунікацій 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, завідувач кафедри інформаційних систем Національного університету харчових технологій;
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 № 3 від 06.11.2019 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)

Журнал включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus International (Республіка Польща)

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

ISSN 2663-5941 (Print)
ISSN 2663-595X (Online)

© Таврійський національний університет ім. В.І. Вернадського, 2019

ЗМІСТ

ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ У МАШИНОБУДУВАННІ

Бернацький А.В., Шелягін В.Д., Сидорець В.М., Сіора О.В., Шуба І.В., Набок Т.М.
РОЗРОБКА ОБЛАДНАННЯ ТА СТВОРЕННЯ АПАРАТНО-ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ЛАЗЕРНОГО ЗВАРЮВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ СТАЛЕЙ І СПЛАВІВ В РІЗНИХ ПРОСТОРОВИХ ПОЛОЖЕННЯХ……1

ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

Бунько В.Я.
ВИКОРИСТАННЯ МІКРОПРОЦЕСОРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ В РОЗПОДІЛЬНИХ ПРИСТРОЯХ ЕНЕРГОСИСТЕМ……6

Соловей І.М.
ОБРОБКА НАСІННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР У ВИСОКОЧАСТОТНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПОЛЯХ……12

ПРИЛАДИ

Тимчик Г.С., Шевченко В.В., Гурова Т.О.
КЕРУВАННЯ МАГНІТНО-ЛАЗЕРНОЮ ТЕРАПІЄЮ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАМИ……17

Ткачук А.Г., Добржанський О.О., Коваль А.В., Богдановський М.В.
РОЗРОБКА НОВОГО ЧУТЛИВОГО ЕЛЕМЕНТУ КОМПЛЕКСУ СТАБІЛІЗАЦІЇ ОЗБРОЄННЯ……23

РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

Бойко Ю.М., Пятін І.С.
ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ УМОВ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ І ДЕЦИМАЦІЇ СИГНАЛІВ НА ЕНЕРГЕТИКУ ЗАСОБІВ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ З ФАЗОВОЮ МАНІПУЛЯЦІЄЮ……29

Варенко А.М.
АНАЛІЗ ТА ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ ПОКРАЩАННЯ КОНТРАСТУ ЗОБРАЖЕНЬ……38

ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

Антонюк Д.С., Вакалюк Т.А., Якобчук А.С., Янчук В.М.
ПРОЕКТУВАННЯ ПРОГРАМНО-ІМІТАЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ТА УПРАВЛІННЯ ПЕРСОНАЛЬНИМИ ФІНАНСАМИ……45

Борисенко В.Д., Устенко І.В., Устенко А.С.
МОДЕЛЮВАННЯ ПРОФІЛІВ ЛОПАТОК ОСЬОВИХ ТУРБОМАШИН ЕЛІПСАМИ ЛАМЕ……56

Власенко О.В., Єфремов Ю.М., Єфремов М.Ф., Оринчак І.А.
МОТИВАЦІЯ СИСТЕМ ЗІ ШТУЧНИМ РОЗУМОМ……63

Глухова Н.В., Пісоцька Л.А.
АВТОМАТИЗОВАНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПРОЯВІВ ПСИХОЕМОЦІЙНОЇ ЛАБІЛЬНОСТІ НА ЗОБРАЖЕННЯХ ГАЗОРОЗРЯДНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ……69

Голик О.П., Жесан Р.В., Мірошніченко М.С., Ісмаіл Мухаммед
ПОШУК ОПТИМАЛЬНИХ РІШЕНЬ ЩОДО ВИБОРУ МЕТОДІВ ОЧИЩЕННЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ ВІД НАФТОВИХ ЗАБРУДНЕНЬ……75

Деревянко Г.В., Мещеряков В.И.
АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СИСТЕМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕПЛО- И МАССООБМЕННЫХ СЕТЕЙ……81

Завгородня Г.А., Корнага Я.І., Мухін В.Є., Завгородній В.В., Базака Ю.А.
МОДЕЛЮВАННЯ СЦЕНАРІЇВ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ
НА АВТОМОБІЛЬНИХ ГАЗОЗАПРАВНИХ СТАНЦІЯХ.....92

Качурівський В.О., Качурівська Г.М.
ПРОГРАМУВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ ІЗ ЗОБРАЖЕННЯМИ НА ВЕБСАЙТІ.....98

Киричек Г.Г., Фалькевич В.Г.
ОПТИМІЗАЦІЯ МЕРЕЖЕВИХ СИСТЕМ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ FRONT-END ТЕХНОЛОГІЙ.....103

Крісілов В.А., Комлева Н.О., Бурдейний Є.І.
ПРОГРАМНА СИСТЕМА АНАЛІЗУ ЯКОСТІ ДЖЕРЕЛ МЕДИЧНОЇ СТАТИСТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ.....109

Лахно В.А., Осипова Т.Ю., Матус Ю.В.
ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ
ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШІННЯ ЗЕРНА.....116

Малахова Д.О.
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ
ПРОЦЕССА ВЕНТИЛЯЦИИ ГРУЗОВЫХ ТРЮМОВ ТАНКЕРОВ.....122

Медушевський С.В.
ІНТЕРПРЕТАЦІЯ МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ІНТЕГРАЛЬНОЇ
ОЦІНКИ РІВНЯ ЯКОСТІ ВАЛІДАЦІЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ.....127

Оксанич И.Г.
СИНТЕЗ АРХИТЕКТУРЫ УПРАВЛЯЕМОЙ СИСТЕМЫ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АГЕНТНОГО ПОДХОДА.....132

Повхан І.Ф.
ОСОБЛИВОСТІ ВИПАДКОВИХ ЛОГІЧНИХ ДЕРЕВ КЛАСИФІКАЦІЇ
В ЗАДАЧАХ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ.....138

Полушкін Є.М., Беглов К.В.
МОДЕЛЮВАННЯ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ
ЕНЕРГОБЛОКУ АТОМНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ІЗ ВВЕР-1000 В РЕЖИМІ «К».....143

Поляченко А.І.
ПРОСТОРОВА АВТОКОРЕЛЯЦІЯ ТА МЕТОД ОЦІНКИ ЯКОСТІ МРТ-ЗНІМКІВ.....148

Приходько С.Б., Приходько Н.В., Книрік К.О.
ТРИФАКТОРНЕ НЕЛІНІЙНЕ РЕГРЕСІЙНЕ РІВНЯННЯ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ТРУДОМІСТКОСТІ
РОЗРОБКИ МОБІЛЬНИХ ЗАСТОСУНКІВ У ФАЗІ ПЛАНУВАННЯ.....154

Святний В.А., Мірошкін О.М., Мінаков М.А., Маргієв Г.Е.
ВИКОРИСТАННЯ РОЗПОДІЛЕНОГО ПАРАЛЕЛЬНОГО МОДЕЛЮЮЧОГО СЕРЕДОВИЩА
ПІД ЧАС РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ.....161

Stepanets O.V., Shram D.O.
APPLICATION OF FAULT-TOLERANT AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS
ON THERMAL POWER PLANTS.....166

Струзік В.А., Грибков С.В., Чобану В.В.
ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЯ РЕФАКТОРИНГУ
В СУЧАСНИХ МЕТОДОЛОГІЯХ РОЗРОБКИ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ.....173

Терлецький В.О., Давидов В.О.
МОДЕЛЮВАННЯ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ
ЕНЕРГОБЛОКУ АТОМНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ІЗ ВВЕР-1000 В РЕЖИМІ «Т».....178

Хорошевська І.О., Бондар А.В.
РОЗРОБКА МЕТОДИКИ СТВОРЕННЯ МУЛЬТИМЕДІЙНОГО ВИДАННЯ
«САМОВЧИТЕЛЬ ГРИ НА ФОРТЕПІАНО».....185

Чирін Д.А., Іродов В.Ф., Чорнойван А.А.
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СОНЯЧНОГО КОЛЕКТОРА ПЛІВКОВОГО ТИПУ.....194

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ.....199

CONTENTS

MATERIAL PROCESSING IN MECHANICAL ENGINEERING

Bernatskyi A.V., Sheliagin V.D., Sydorets V.M., Siora O.V., Shuba I.V., Nabok T.M.
THE DEVELOPMENT OF EQUIPMENT AND THE CREATION OF HARDWARE
AND SOFTWARE FOR THE IMPLEMENTATION OF THE LASER WELDING PROCESS
OF STEEL AND ALLOY STRUCTURES IN VARIOUS SPATIAL POSITIONS 1

ELECTRICAL ENGINEERING

Bunko V.Ya.
USE OF MICROPROCESSOR ELEMENTS OF RELAY PROTECTION
IN DISTRIBUTION DEVICES OF ENERGY SYSTEMS 6

Solovei I.M.
GRAIN CULTURAL SEED PROCESSING IN HIGH-FREQUENCY ELECTRICAL FIELDS 12

EQUIPMENT

Tymchuk G.S., Shevchenko V.V., Hurova T.O.
MANAGEMENT OF MAGNETIC LASER
THERAPY BASED ON THE ANALYSIS OF PHOTOPLETHYSMOGRAM 17

Tkachuk A.H., Dobrzhanskyi O.O., Koval A.V., Bohdanovskyi M.V.
DEVELOPMENT OF A NEW SENSITIVE ELEMENT OF THE ARMS STABILIZATION COMPLEX 23

RADIO ENGINEERING AND TELECOMMUNICATIONS

Boiko J.M., Pyatin I.S.
EVALUATION OF THE INFLUENCE INTERPOLATION
AND DECIMATION CONDITIONS ON THE ENERGY GAIN
IN MEANS TELECOMMUNICATIONS WITH PHASE SHIFT KEYING 29

Varenko A.M.
ANALYSIS AND COMPARISON
OF METHODS FOR IMPROVING CONTRAST OF IMAGES 38

INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING AND AUTOMATION

Antoniuk D.S., Vakalik T.A., Yakobchuk A.S., Yanchuk V.M.
DESIGN OF THE BUSINESS-SIMULATION SOFTWARE COMPLEX
FOR PERSONAL FINANCE VISUALIZATION AND MANAGEMENT 45

Borisenko V.D., Ustenko I.V., Ustenko A.S.
MODELING THE AIRFOIL PROFILES
OF AN AXIAL FLOW TURBOMACHINE BLADES BY LAME'S ELLIPSES 56

Vlasenko O.V., Efremov Yu.M., Efremov M.F., Orynchak I.A.
MOTIVATION OF SYSTEMS WITH ARTIFICIAL MIND 63

Glukhova N.V., Pisotskaja L.A.
AUTOMATED IDENTIFICATION OF PSYCHOEMOTIONAL LABILITY EXPOSITIONS
ON GAS DISHARGE RADIATION IMAGES 69

Holyk O.P., Zhesan R.V., Miroshnichenko M.S., Mohammad Ismail.
THE SEARCHING TO THE OPTIMAL DECISION FOR THE METOD SELECTION
FOR THE WATER TREATMENT FROM OIL POLLUTION 75

Derevjanko G.V., Mescherjakov V.I.
ANALYTICAL REVIEW OF SYSTEMS OF DESIGNING HEAT AND MASS EXCHANGE NETWORKS 81

Zavgorodnya A.A., Mukhin V.Ye., Kornaga Ya.I., Zavgorodnii V.V., Bazaka Yu.A.
MODELING OF EMERGENCY SITUATIONS AT CAR GAS STATION 92

Kachurivskyi V.O., Kachurivska H.M.
PROGRAMMING INTERACTIONS WITH IMAGES ON THE WEBSITE..... 98

Kirichek G.G., Falkevych V.G.
NETWORK SYSTEMS OPTIMIZATION BY USING FRONT-END TECHNOLOGIES 103

Krisilov V.A., Komleva N.O., Burdeinyi E.I.
SOFTWARE FOR QUALITY ANALYSIS OF SOURCES OF MEDICAL STATISTICAL INFORMATION... 109

Lakhno V.A., Osypova T.Yu., Matus Yu.V.
USE OF COMPUTER SYSTEMS TO INCREASE
THE EFFICIENCY OF INFORMATION SUPPORT OF INFRARED GRAINE DRIYNG 116

Malakhova D.O.
INFORMATION TECHNOLOGIES FOR CONTROLLING THE VENTILATION PROCESS
OF TANKER HOLDS 122

Medushevskyi S.V.
INTERPRETATION OF METHODS OF TESTING PROCESSES AND INTEGRAL EVALUATION
OF THE QUALITY LEVEL OF THE AUTOMATIC INFORMATION SYSTEM VALIDATION 127

Oksanych I.G.
SYNTHESIS OF CONTROL SYSTEM ARCHITECTURE USING AN AGENT APPROACH 132

Povkhan I.F.
FEATURES OF RANDOM LOGICAL CLASSIFICATION TREES
IN PATTERN RECOGNITION PROBLEMS..... 138

Polushkin Ye.M., Beglov K.V.
SIMULATION ASR OF POWER OF THE POWER UNIT
OF THE NPP WITH VVER-1000 IN MODE “K”..... 143

Poliachenko A.I.
SPATIAL AUTOCORRELATION AND THE METHOD
OF ASSESSING THE QUALITY OF MRI-IMAGES..... 148

Prykhodko S.B., Prykhodko N.V., Knyrik K.O.
THREE-FACTOR NON-LINEAR REGRESSION EQUATION TO ESTIMATE THE EFFORTS
OF DEVELOPMENT OF MOBILE APPLICATIONS IN A PLANNING PHASE 154

Svyatnyy V.A., Miroshkin O.M., Minakov M.A., Marhiiev H.E.
DISTRIBUTED PARALLEL SIMULATION ENVIRONMENT USAGE
FOR EMBEDDED SYSTEMS DEVELOPMENT 161

Stepanets O.V., Shram D.O.
APPLICATION OF FAULT-TOLERANT AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS
ON THERMAL POWER PLANTS..... 166

Struzik V.A., Hrybkov S.V., Chobanu V.V.
DETERMINATION OF REFACTORING PLACE IN MODERN METHODOLOGIES
OF INFORMATION SYSTEMS DEVELOPMENT 173

Terletsky V.A., Davydov V.O.
SIMULATION ASR OF POWER OF THE POWER UNIT OF THE NPP WITH VVER-1000 IN MODE “T” 178

Khoroshevska I.O., Bondar A.V.
METHOD DEVELOPMENT FOR CREATING A MULTIMEDIA EDITION “SELF-TEACHER OF PIANO”..... 185

Chirin D.A., Irodov V.F., Chornoivan A.A.
EXPERIMENTAL RESEARCH OF A FILM TYPE SOLAR COLLECTOR..... 194

INFORMATION ABOUT AUTHORS..... 199

ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ У МАШИНОБУДУВАННІ

УДК 621.3.049:621.791.725
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-1/01

Бернацький А.В.
Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України

Шелягін В.Д.
Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України

Сидорець В.М.
Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України

Сіора О.В.
Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України

Шуба І.В.
Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України

Набок Т.М.
Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України

РОЗРОБКА ОБЛАДНАННЯ ТА СТВОРЕННЯ АПАРАТНО-ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ЛАЗЕРНОГО ЗВАРЮВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ СТАЛЕЙ І СПЛАВІВ В РІЗНИХ ПРОСТОРОВИХ ПОЛОЖЕННЯХ

Шляхом створення алгоритмів реалізації процесу лазерного зварювання тривимірних конструкцій із сталей і сплавів в різних просторових положеннях у роботі виконано забезпечення опису переліку дій та розробку відповідного обладнання, необхідних для виконання процесу лазерного зварювання у різних просторових положеннях, а також досягнення заданих показників якості одержуваних зварних з'єднань. Це дало змогу розглянути проблеми лазерного зварювання в різних просторових положеннях, зокрема пов'язані з автоматизацією зварювальних процесів.

Створено апаратно-програмне забезпечення підґрунтя для дослідної перевірки гіпотези, згідно якої умови проведення лазерного зварювання в різних просторових положеннях пов'язані із постійним підтриманням сталого балансу між силами, що діють на вільну поверхню рідкого металу ванни. Для виконання завдання лазерного зварювання в різних просторових положеннях розроблений апаратно-програмний комплекс був інтегрований з джерелом живлення генератора лазерного випромінювання і модулем лінійного переміщення. Основними елементами створеного апаратно-програмного комплексу є лінійний модуль переміщення, генератор лазерного випромінювання і блок управління. Функціонування апаратно-програмного комплексу здійснюється завдяки алгоритмам роботи в ручному і автоматичному режимі, які реалізовані у вигляді набору програм на мові СІ.

Розроблений апаратно-програмний комплекс призначений для виконання наступних функцій: реєстрації керуючих (командних) впливів з боку оператора установки; програмування положення початкової і кінцевої точки зварювальної траєкторії; відображення інформаційних (діагностичних) повідомлень; передавання керуючих імпульсів в лінійний модуль; реєстрації стану кінцевих датчиків; виконання робочого циклу зварювання. Створений лабораторний стенд для лазерного зварювання сталей та сплавів у різних просторових положеннях, відмінних від нижнього.

Ключові слова: *лазерне зварювання, алгоритм процесу, автоматизація, апаратно-програмний комплекс, лабораторний стенд.*

Постановка проблеми. Номенклатура виробів для авіакосмічної промисловості включає деталі як малого так і великого розміру, а їх конструкція часто має складну просторову форму із важкодоступними ділянками для зварювання або із криволінійними профілями поверхні. Тому виникає потреба виконання різноманітних видів зварювальних з'єднань (стикових, напусткових, таврових, кутових тощо) у різних положеннях (вертикальному, горизонтальному тощо) або навіть у довільному складному просторовому положенні. У таких умовах треба не тільки враховувати, але задіяти на користь, фізичні ефекти, які супроводжують лазерне зварювання у таких умовах. Наприклад, враховуючи сили гравітації та поверхневого натягу можливо впливати на ступінь розкриття каналу проплавлення при переміщенні зварювальної ванни у різних напрямках [1]. Врахування вищезгаданих особливостей може дозволити отримати сукупність технологічних карт процесу під час зварювання з'єднань у різних просторових положеннях, та потребує розробки необхідних алгоритмів реалізації цих процесів та відповідного технологічного оснащення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Алгоритми реалізації процесу лазерного зварювання тривимірних конструкцій із сталей і сплавів в різних просторових положеннях призначені для опису різних варіантів дій [1-5]. Ці дії є необхідними і достатніми для виконання процесу лазерного зварювання тривимірних конструкцій зі сталі і сплавів в різних просторових положеннях [1, 2]. Під різними просторовими положеннями зварювання мається на увазі можливість довільного напрямку вектору швидкості переміщення джерела нагріву (лазерного пучка) в просторі [1, 3]. Для розробки вказаних алгоритмів, дослідники застосовують різні шляхи, які спираються на результати теоретичних або експериментальних досліджень, або їх комбінації [1-5].

Постановка завдання. Створення алгоритмів реалізації процесу лазерного зварювання тривимірних конструкцій із сталей і сплавів в різних просторових положеннях спрямоване на забезпечення опису переліку дій та розробку відповідного обладнання, необхідних для виконання процесу лазерного зварювання у різних просторових положеннях, а також досягнення заданих показників одержаних швів - якості, надійності, міцності, відсутності пор тощо.

Виклад основного матеріалу. Алгоритм реалізації процесу лазерного зварювання тривимірних конструкцій із сталей і сплавів, описує закономірності переміщення сфокусованого лазерного випромінювання вздовж складної траєкторії виробу (координати, лінійна швидкість, прискорення на окремих ділянках шва тощо), а також керування параметрами лазерного випромінювання (потужність, положення фокальної площини лінзи відносно поверхні зразка тощо).

Згідно розробленого алгоритму реалізації процесу лазерного зварювання тривимірних конструкцій із сталей і сплавів в різних просторових положеннях, для спрощення розв'язання задачі зварювання тривимірних конструкцій складну просторову траєкторію зварювання було запропоновано розділити на так звані просторові примітиви, тобто окремі зварні з'єднання (стикові, таврові, напусткові та кутові), що зварюються в тих чи інших просторових положеннях. Це дало змогу розглянути проблеми лазерного зварювання в різних просторових положеннях, зокрема пов'язані з автоматизацією зварювальних процесів.

Реалізація режимів керування комплексом здійснюється на підставі технологічних карт процесу, отриманих при зварюванні контрольних зразків зварних з'єднань зі сталей та сплавів у різних просторових положеннях. Перевірка ефективності розробленого алгоритму була здійснена при створенні апаратно-програмного забезпечення комплексу, описаного нижче.

Розроблений апаратно-програмний комплекс (далі – АПК) призначений для автоматизації управління процесом лазерного зварювання. Об'єктом автоматизації було лазерне зварювання великогабаритних тривимірних конструкцій у різних просторових положеннях. АПК являє собою сукупність агрегатів, пристроїв та програмних модулів, які забезпечують виконання лазерного зварювання в різних просторових положеннях. АПК забезпечує можливість переміщення сфокусованого лазерного пучка по лінійної траєкторії в різних просторових положеннях. АПК забезпечує можливість попередньої ручної установки положення початкової і кінцевої точки лінійної траєкторії переміщення сфокусованого лазерного пучка перед проведенням процесу лазерного зварювання. АПК забезпечує можливість установки швидкості лінійного переміщення сфокусованого лазерного пучка при відпрацюванні процесу лазерного зварювання. АПК має централізовану структуру, єдиним органом управління якої є «Блок управління». Структура розроблювального АПК показана на рис. 1.

Основними елементами АПК є лінійний модуль переміщення, лазер і блок управління. Функціонування АПК здійснюється завдяки алгоритмам роботи в ручному і автоматичному режимі, які реалізовані у вигляді набору програм на мові СІ. Ці алгоритми розташовані в незалежній пам'яті

мікроконтролера, що є основним елементом блоку управління. Додатковими елементами АПК є джерела живлення лазера, блоку управління і лінійного модуля. В процесі виконання лазерного зварювання, випромінювання транспортується по оптоволоконному кабелю до фокусуючої лінзи, яка розташована всередині лазерної зварювальної головки. Лазерна зварювальна головка закріплена на каретці лінійного модуля і переміщається разом з нею в процесі роботи АПК в ручному або автоматичному режимі.

Як показано на рис. 1, АПК складається з таких основних елементів: блоку керування, лазера, модуля переміщення, блоку кріплення, заготовки, системи управління, джерел живлення. АПК обладнаний системою передачі і прийому керуючих і діагностичних (інформаційних) сигналів.

Для виконання завдання лазерного зварювання в різних просторових положеннях АПК, що був розроблений, інтегрований з джерелом живлення генератора лазерного випромінювання і модулем лінійного переміщення. Джерело живлення генератора лазерного випромінювання було обладнане інтерфейсом керування, який дозволяє передавати і приймати сигнали. Модуль лінійного переміщення був обладнаний інтерфейсом керування переміщенням.

Розроблений АПК має можливість функціонування в ручному і автоматичному режимі. Ручний режим призначений для переміщення каретки лінійного модуля в процесі підготовки до проведення процесу лазерного зварювання в різних просторових положеннях. Автоматичний режим призначений для виконання процесу лазерного зварювання сталей та сплавів в різних просторових положеннях. Розроблений АПК відображає діагностичну інформацію на екрані рідкокристалічного дисплея.

Розроблений АПК може бути дообладнаний системою регулювання вихідної потужності лазерного випромінювання. В такому випадку продуктивність і гнучкість процесу лазерного зварювання може бути збільшена за рахунок зниження витрат часу на перепрограмування параметрів лазерного генератора.

Першою фазою створення АПК було виконання незалежно один від одного розробки і виготовлення деталей і вузлів:

– блоку керування;
– стійки кріплення заготовки;
– пристрої нахилу модуля лінійного переміщення;

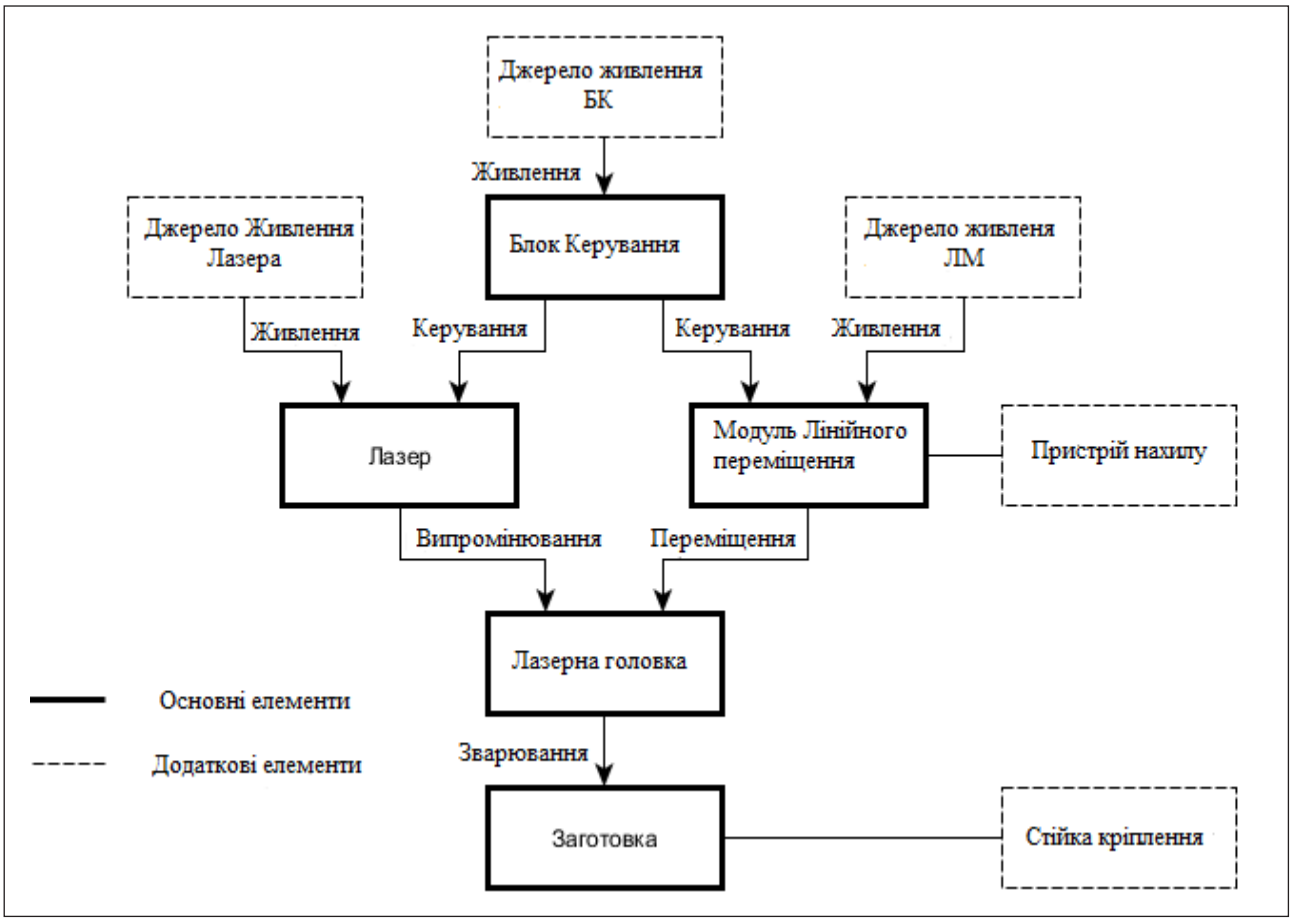


Рис. 1. Структура розробленого АПК

– другою фазою створення АПК є збірка виготовлених вузлів.

– Розроблений апаратно-програмний комплекс призначений для виконання наступних функцій:

– реєстрація керуючих (командних) впливів з боку оператора установки;

– програмування положення початкової і кінцевої точки зварювальної траєкторії;

– відображення інформаційних (діагностичних) повідомлень;

– передача керуючих імпульсів в лінійний модуль;

– реєстрація стану кінцевих датчиків;

– виконання робочого циклу зварювання.

Блок управління (БУ) призначений для зберігання і виконання алгоритму керування АПК. Алгоритм керування реалізований у вигляді програми на мові CI, яка скомпільована у машинний код і завантажена у незалежну пам'ять мікроконтролера ATMega 328, що забезпечує автономність роботи.

Алгоритм керування виконується циклічно, чекаючи надходження керуючих впливів з боку оператора. При надходженні конкретного впливу з боку оператора алгоритм викликає пов'язану з цим впливом підпрограму.

До основних підпрограм належать:

– «анулювання» – пошук абсолютного початкового положення каретки;

– контроль початкової / кінцевої точки траєкторії;

– управління електрогальмами сервоприводу;

– регулювання швидкості робочого / холостого ходу;

– включення / вимикання лазерного випромінювання.

Головною підпрограмою є підпрограма «робочого» циклу, необхідна для здійснення процесу зварювання. Робочий цикл виконується тільки в тому випадку, якщо оператор виконав попередню настройку положення початкової і кінцевої точки траєкторії зварювання і здійснив «Анулювання» сервоприводу. Виконання «робочого» циклу здійснюється у відповідності з наступною послідовністю:

– переїзд в початкову точку траєкторії;

– включення лазерного випромінювання;

– переїзд із заданою швидкістю в кінцеву точку траєкторії;

– виключення лазерного випромінювання.

Таким чином, було розроблено та виготовлено макетний зразок апаратно-програмного комплексу забезпечення процесу лазерного зварювання конструкцій із сталей і сплавів в різних просторових положеннях, який було адаптовано з елементами зварювального лабораторного стенду, показаного на рис. 2.

Висновки. 1. Створено апаратно-програмне забезпечення підґрунтя для дослідної перевірки гіпотези, згідно якої умови проведення лазерного зварювання в різних просторових положеннях пов'язані із постійним підтриманням сталого

Рис. 2. Лабораторний стенд для лазерного зварювання у різних просторових положеннях

балансу між силами, що діють на вільну поверхню рідкого металу ванни.

2. Створений новий лабораторний стенд для лазерного зварювання у різних просторових положеннях, відмінних від нижнього.

3. Створений стенд та допоміжне технологічне оснащення забезпечують можливість одержання стикових, таврових, кутових та напусткових зварних з'єднань у широкому діапазоні зміни режимів технологічних параметрів.

Список літератури:

1. Sohail M., Han S. W., Na S.J., Gumenyuk A., Rethmeier M. Numerical investigation of energy input characteristics for high-power fiber laser welding at different positions. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology.* 2015. Vol. 80. P. 931-946. doi: 10.1007/s00170-015-7066-6.

2. Chang B., Yuan Z., Pu H., Li H., Cheng H., Du D., Shan J. A. Comparative Study on the Laser Welding of Ti6Al4V Alloy Sheets in Flat and Horizontal Positions. *Applied Sciences*. 2017. Vol. 7. P. 376. doi: 10.3390/app7040376.

3. Guo W., Liu Q., Francis J. A., Crowther D., Thompson A., Liu Z., Li L. Comparison of laser welds in thick section S700 high-strength steel manufactured in flat (1G) and horizontal (2G) positions. *CIRP Annals Manufacturing Technology*. 2015; 64:197–200. doi: 10.1016/j.cirp.2015.04.070.

4. Shen X. F., Li L., Guo W., Teng W.H., He W.P. Comparison of processing window and porosity distribution in laser welding of 10 mm thick 30CrMnSiA ultrahigh strength between flat (1G) and horizontal (2G) positions. *Journal of Laser Applications*. 2016. Vol. 28. P. 022418. doi: 10.2351/1.4943992.

5. Шелягін. В.Д., Бернацький А.В., Шуба І.В., Сіора О.В. Розробка інструменту для лазерного ручного зварювання сталевих виробів у різних просторових положеннях. *Вісник ДДМА*. 2016. № 2 (38). С. 241–246.

Bernatskyi A.V., Sheliagin V.D., Sydorets V.M., Siora O.V., Shuba I.V., Nabok T.M.

THE DEVELOPMENT OF EQUIPMENT AND THE CREATION OF HARDWARE AND SOFTWARE FOR THE IMPLEMENTATION OF THE LASER WELDING PROCESS OF STEEL AND ALLOY STRUCTURES IN VARIOUS SPATIAL POSITIONS

By creating algorithms for the implementation of the laser welding process of three-dimensional structures of steels and alloys in different spatial positions, the work provides the description of the list of actions and the development of appropriate equipment required to perform the laser welding process in different spatial positions, as well as to achieve the specified quality of obtained welding joints. This allowed us to consider the problems of laser welding in various spatial positions, including those related to the automation of welding processes. Hardware and software have been developed to test the hypothesis that laser welding conditions in different spatial positions are associated with the constant maintenance of a constant balance between the forces acting on the free surface of the liquid metal of welding pool. To perform the task of laser welding in different spatial positions, the developed hardware and software complex was integrated with the power source of the laser generator and the linear displacement module.

The principal elements of the created hardware and software complex are the linear module of movement, the generator of laser radiation and the control unit. The operation of the hardware and software complex is carried out due to algorithms of work in manual and automatic mode, which are implemented in the form of a set of programs in CI language.

The developed hardware and software complex is intended to perform the following functions: registration of control (command) impacts by the installation operator; programming of position of start and end point of welding trajectory; display of information (diagnostic) messages; transfer of control pulses to the linear module; registration of the state of the end sensors; execution of welding duty cycle. The laboratory equipment has been created for laser welding of steels and alloys in different spatial positions other than the lower one.

Key words: *laser welding, process algorithm, automation, hardware and software complex, laboratory equipment.*

ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

УДК 621.311.42
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-1/02

Бунько В.Я.
Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування «Бережанський агротехнічний інститут»

ВИКОРИСТАННЯ МІКРОПРОЦЕСОРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ В РОЗПОДІЛЬНИХ ПРИСТРОЯХ ЕНЕРГОСИСТЕМ

У статті проведено обґрунтування та аналіз використання і впровадження елементної бази мікропроцесорних релейних пристроїв та реле в розподільних пристроях енергетичних систем. Проведено дослідження щодо використання таких пристроїв в лабораторних умовах, а також їх випробування, обробки даних та програмування безпосередньо як на робочому місці так і з диспетчерського пульта.

Наведено деякі характеристики щодо випробування, а також використано програмне забезпечення для його налаштування в спеціальному програмному забезпеченні. Встановлено, що основну функцію проведення такого дослідження виконують мікропроцесорні елементи, зокрема пристрої релейного захисту і автоматики, які широко впроваджуються в системах енергозабезпечення енергетичних компаній, а також використовуються для захисту електричного обладнання станцій, підстанцій та електромереж високої і низької напруги.

Наведено принципову електричну схему керування високовольтним вимикачем, який використовується в розподільних пристроях енергосистеми.

Встановлено, що цей мікропроцесорний термінал дозволяє запам'ятовувати параметри спрацювання захисту і автоматики в журналі аварій для 100 подій із фіксацією виду захисту, значення струму і часу спрацювання, а також запам'ятовування параметрів вимірювання конфігурації відбувається в журналі подій для певної кількості (200 подій).

Використання програмного розділу у вікні «Вимірювання і контроль» дозволяє вмикати-вимикати відображення окремих векторів на діаграмі і призначати їх кольори, а також робити зміни масштабу відображуваних векторів, фіксувати струми у кожній фазі та струм нульової послідовності.

У статті досліджено та встановлено, що використання мікропроцесорного терміналу дасть можливість правильно та детально аналізувати роботу релейного захисту та автоматики систем електропостачання в цілому. Зокрема застосування мікропроцесорного терміналу дозволить використовувати параметри роботи відходящих ліній електропередач, електричних станцій та підстанцій, оскільки можна буде більш точно визначити параметри подій та аварій у роботі енергетичного обладнання.

Ключові слова: *мікропроцесорний релейний захист, мікропроцесорний пристрій, розподільний пристрій.*

Постановка проблеми. Закордонний досвід експлуатації мікропроцесорних (МП) пристроїв різного призначення показав, що вони мають такі ж або кращі показники надійності й значно менші затрати праці на технічне обслуговування порівняно із традиційними системами. За останні десятиліття мікропроцесорні захисти замінили електромеханічні реле на переважній більшості об'єктів енергетики, промисловості та розподільних пристроїв напругою 10-750 кВ.

Найчисленніший сектор ринку – фідери 10 (6) кВ – відтепер здебільшого використовує мікропроцесорний релейний захист. Одним із найважливіших факторів, що стримують широке застосування МП пристроїв у цьому сегменті є їхня ціна. Перевагами мікропроцесорних пристроїв нехтують, вибираючи дешевші електромеханічних реле, які застаріли технічно й морально. Крім цього, обслуговуючий персонал зазнає певних труднощів із МП-пристроями, тому що для роботи з ними необхідні певні навички. Проміжним тимчасовим рішенням стали мікроелектронні реле, які задовольняють необхідним умовам, але мають істотні недоліки.

У результаті ситуація не влаштовує ні споживачів, що експлуатують і впроваджують РЗА, ні виробників мікропроцесорної техніки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженнями мікропроцесорних пристроїв захисту займались Кузнецов С.М., Демиденко І.С., Гашкова А.В., Гречишников В.А., Кутін В.М., Кутіна М.В., Ілюхін М.О. та інші. Значний внесок у розвиток МП систем РЗА внесли: ІЕД НАН України (м. Київ) – Стогній Б.С., Кириленко О.В., Сопель М.Ф.; ВНДІР (м. Чебоксари) – Шнеєрсон Е.М., Нудельман Г.С., Бірг А.Н. [4, с. 12; 5, с. 26]. Досить вагомі результати були отримані в Київському, Львівському, Мінському, Новочеркаському і Ризькому політехнічних інститутах. В останні роки роботи з розробки, підвищенню ефективності функціонування і впровадженню МП РЗА ведуться вітчизняними розроблювачами: ВО «Київприлад», конструкторським бюро «Реле й автоматики», ТОВ «Енергомашвин» і підприємством «Хартрон-Інкор» [1, с. 8].

Постановка завдання. Розробка і впровадження вітчизняних МП РЗА в розподільних пристроях, а також для більш високих класів напруг ведеться, проте, варто говорити про окремі пристрої, а не про повну систему релейного захисту й автоматики електричної підстанції 35–750 кВ, що може бути забезпечено тільки закордонною фірмою виробником. Тому комплексний характер проблеми й особливості існуючого стану електроенергетики України і РЗА потребують розв'язання зазначених проблем шляхом розробки методів і засобів підвищення ефективності функціонування вітчизняних МП РЗА різноманітних класів напруг [6, с. 27–28].

Виклад основного матеріалу дослідження. Використання МП РЗА привело до організації на нових принципах експлуатації силового устаткування. Постійний контроль справності кіл вмикання і відключення комутаційного устаткування, граничного числа оперативних дій, моніторинг струмів відключення дозволяє створити системи діагностики устаткування. Ця функція дозволяє більш обґрунтовано приймати рішення про проведення робіт із ремонту або техобслуговування і виконувати ці роботи тільки тоді, коли цього потребує ситуація [1, с. 26].

Розглянемо деякі режими роботи мікропроцесорного реле РС-83А2.0 в лабораторних умовах та дослідимо його роботу в цілому із системою автоматики та високовольтного вимикача, який може використовуватись в розподільних пристроях напругою 10(6)-35кВ.

Мікропроцесорний пристрій захисту РС-83А2.0, призначений для виконання функцій релейного захисту, автоматики, керування і сигналізації приєднань напругою 6-35 кВ, а також може бути використаний на лініях електропередач інших класів напруг [3, с. 6].

Пристрій може встановлюватися в релейних комірках КРП, КРПЗ і КСО, на панелях і в шафах у релейних залах та на пультах керування, а також в релейних шафах зовнішнього встановлення на ВРП.

Пристроєм реалізуються наступні функції:

– 3-х ступінчастий двох або трифазний максимально-струмовий захист (МСЗ) з незалежною або залежною витримкою часу і можливістю блокування від кидка намагнічувального струму (КНС) по другій гармоніці контрольованого струму;

– 2-х ступінчастий захист від замикань на землю (ЗНЗ) по виміряному (при двофазному виконанні пристрою) або розрахунковому (при трифазному виконанні) струму нульової послідовності зі струмом спрацювання відповідно (0,004-1) А або (1-120) А;

– 2-х ступінчастий захист від несиметричного навантаження або обриву фаз по струму зворотної послідовності (ОБР);

– двократне автоматичне повторне вмикання (АПВ);

– АЧР/ЧАПВ – автоматичне частотне розвантаження/частотне АПВ (по дискретному вході від зовнішнього реле частоти);

– прискорення МСЗ при вмиканні вимикача;

– місцеве, з передньої панелі пристрою, або дистанційне керування вимикачем (включення, відключення), у тому числі по інтерфейсі зв'язку RS-485, з контролем несправності кіл включення-відключення (НКЕВО);

– зовнішнє блокування захисту вводу і СВ від пристроїв РЗА відходящих ліній, (логічний захист шин-ЛЗШ);

– резервування відмови вимикача (УРОВ);

– вимірювання струмів фаз і струму нульової послідовності;

– наявність двох груп уставок, що перемикаються з меню по дискретному вході, по мережі;

– реєстрація параметрів спрацювання захистів у журналі аварій (ЖА) на 100 подій;

– реєстрація зміни уставок і налаштувань у журналі подій (ЖП) на 200 подій;

– цифрове осцилографування параметрів аварійних подій.

Використання мікропроцесорного реле відбувається наступним чином. При проходженні струму короткого замикання згідно уставок реагує реле РС83-А2.0, яке підключено у струмових

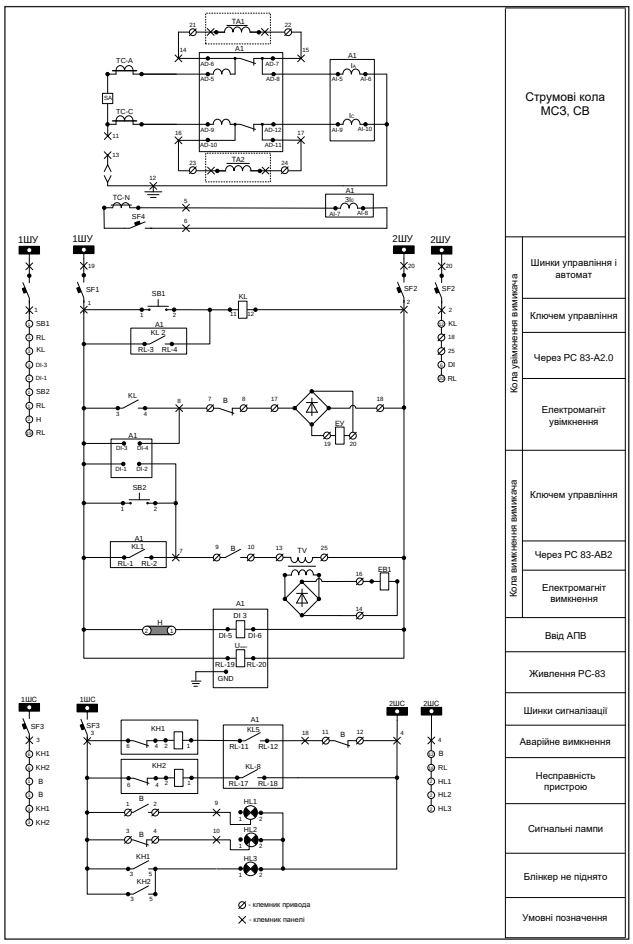


Рис. 1. Дослідна схема керування вимикачем за допомогою мікропроцесорного пристрою

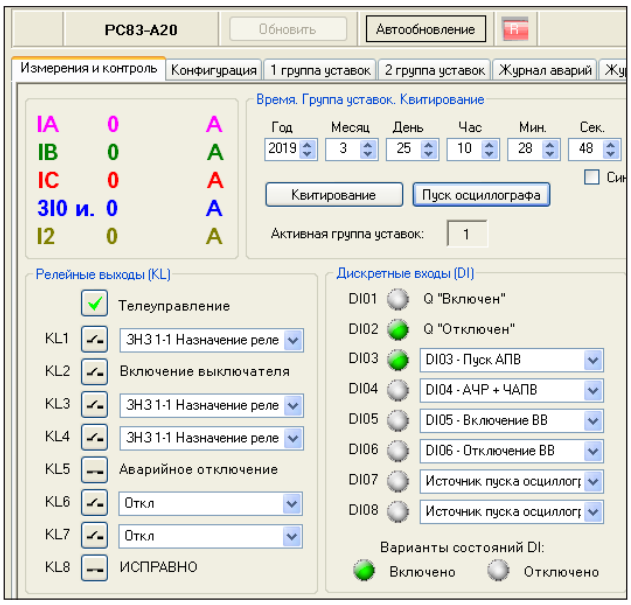


Рис. 2. Використання програмного забезпечення для налаштування МП реле

колах входами AD-5; AD-9 і AI-6; AI-10. Дешунтуючі виходи AD-6, AD-7 підключені до трансформатора ТА1; AD-10, AD-11 підключені до трансформатора ТА2, які паралельно під'єднані до трансформатора TV і діють на ЕВ (електромагніт вимкнення), який вимикає привід. Також привід можна вимкнути натисканням кнопки SB2 або на лицевій панелі приладу РС83-А2.0 кнопкою, якій відповідає реле KL1 з дискретними входами RL-1 і RL-2. Про вимикання сигналізуватиме світлодіод HL2, який контролюється контактом В1-2 і світлодіодом на лицевій панелі приладу з дискретними входами DI-3 і DI-4. Контакт В9-10 забороняє помилкову роботу на електромагніт вимикання при вимкненому приводі.

Вмикання приводу здійснюється кнопкою SB1 і кнопкою на лицевій панелі приладу, якій відповідає реле KL2 з дискретними входами RL-3 і RL-4, що діють на реле KL. Дане реле своїми контактами 3-4 подає напругу на ЕУ (електромагніт увімкнення) і привід вмикається. Про вмикання сигналізуватиме світлодіод HL1, який контролюється контактом В3-4 і світлодіодом на лицевій панелі приладу з дискретними входами DI-1 і DI-2. Також вмикання можливе по АПВ, контроль якого здійснюється накладкою H1-2 на дискретні входи DI-5 і DI-6. Контакт В7-8 забороняє помилкову роботу на електромагніт вмикання при ввімкненому приводі. Живлення приладу РС83-А2.0 здійснюється по входах RL-19 і RL-20.

Про несправність приладу РС83-А2.0 вказує вказівне реле KH2, на якого діє реле приладу KL-8 з дискретними входами RL-17 і RL-18. Про аварійне вимкнення привода вказує вказівне реле KH1, на якого діє реле приладу KL-5 з дискретними входами RL-11 і RL-12, а також контакт В11-12.

Роботу вказівних реле можна побачити не тільки на них, а про це буде сигналізувати світлодіод HL3, який підключений до контактів 3-5 вказівних реле KH1 і KH2.

Основну увагу слід зосередити на телеуправління вимикачем, яке здійснюється за допомогою програмного забезпечення "Codis" [3, с. 18–25].

Пристрій має дві групи уставок. Робоча група уставок може задаватися з меню, по локальній мережі із програми "Codis". Перемикання робочої групи уставок також може здійснюватися сигналом на дискретному вході, призначеному для цієї мети [7, с. 20–24].

Уставки і налаштування можуть вводитись індивідуально в меню пристрою кнопками на лицьовій панелі, а також з програми «Codis» індивідуально по кожному параметру або завантаженням всього масиву уставок і налаштувань файлом у пам'ять пристрою.

РС83-А20 25202111301 S/N 06061212
Название станции: Лабораторія 2л
Название присоединения: РП 8
Журнал аварий
Дата и время создания отчета: 15.09.2019 11:16:10

N п/п	Дата события	Событие	Входы	Выходы	Ia, A	Ib, A	Ic, A	I0, A
001	15/09/2019 10:56:36	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
004	15/09/2019 10:56:21	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
006	15/09/2019 10:56:08	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
008	15/09/2019 10:54:40	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
011	15/09/2019 10:53:18	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
013	15/09/2019 10:52:58	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
015	15/09/2019 10:52:49	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
017	15/09/2019 10:52:27	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
020	15/09/2019 10:33:54	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
022	15/09/2019 10:33:15	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
024	15/09/2019 10:32:53	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
026	15/09/2019 10:31:47	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
028	15/09/2019 10:20:52	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
030	15/09/2019 10:20:40	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
036	21/06/2002 18:38:51	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
039	27/03/2019 15:54:50	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
041	25/03/2019 10:27:49	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
044	26/04/2018 11:21:45	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
048	25/04/2018 11:15:13	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
050	25/04/2018 09:56:35	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
055	25/04/2018 09:55:22	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
058	25/04/2018 09:54:50	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
060	25/04/2018 09:54:36	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
072	25/04/2018 09:51:16	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
080	25/04/2018 09:35:07	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
083	13/06/2017 10:35:12	АПВ 1-1 Нет включения	0100000000000000	0100100100000000				
084	13/06/2017 10:35:11	АПВ 1-1 Работа	0100000000000000	0000100100000000				
085	13/06/2017 10:35:06	РПО	0100000000000000	1000100100000000				
087	12/06/2017 10:00:26	РПО	0100000000000000	1000100100000000				
096	12/06/2017 09:56:00	РПО	0100000000000000	1000100100000000				
099	12/06/2017 09:55:49	РПО	0100000000000000	1000100100000000				

Рис. 3. Призначення і відображення у вікні «Вимірювання і контроль» програми “Codis” відображаються вектори і їх кольори на діаграмі

У всіх режимах конфігурації, задання уставок, налагодження та перевірки пристрою його зв’язок із комп’ютером і програмою верхнього рівня може здійснюватися через локальну інформаційну мережу з інтерфейсом RS-485 або порт USB на передній панелі пристрою за допомогою протоколу зв’язку Modbus-RTU [7, с. 30].

Використання цього розділу в програмі дозволяє вмикати-вимикати відображення окремих векторів на діаграмі і призначати їх кольори. У правій частині діаграми є повзунки для зміни масштабу відображуваних векторів, також фіксувати струми у кожній фазі та струм нульової послідовності (рис. 3) [2, с. 67].

Даний мікропроцесорний термінал дозволяє запам’ятовувати параметри спрацювання захисту і автоматики в журналі аварій для 100 подій з фіксацією виду захисту, значення струму і часу спрацювання (рис. 4).

Запам’ятовування параметрів вимірювання конфігурації відбувається в журналі подій для певної кількості (200 подій) (рис. 5).

Висновки. Отже, використання мікропроцесорного терміналу дасть можливість правильно та детально аналізувати роботу релейного захисту та автоматики систем електропостачання. Зокрема застосування мікропроцесорного терміналу дозволить використовувати параметри роботи відходящих ліній електропередач, електричних станцій та підстанцій, оскільки можна буде більш точно визначити параметри подій та аварій у роботі енергетичного обладнання.

РС83-А20 25202111301 S/N 06061212
Название станции: Лабораторія 2л
Название присоединения: РП 8
Журнал аварий
Дата и время создания отчета: 15.09.2019 11:16:10

N п/п	Дата события	Событие	Входы	Выходы	Ia, A	Ib, A	Ic, A	I0, A
001	15/09/2019 10:56:36	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
004	15/09/2019 10:56:21	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
006	15/09/2019 10:56:08	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
008	15/09/2019 10:54:40	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
011	15/09/2019 10:53:18	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
013	15/09/2019 10:52:58	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
015	15/09/2019 10:52:49	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
017	15/09/2019 10:52:27	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
020	15/09/2019 10:33:54	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
022	15/09/2019 10:33:15	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
024	15/09/2019 10:32:53	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
026	15/09/2019 10:31:47	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
028	15/09/2019 10:20:52	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
030	15/09/2019 10:20:40	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
036	21/06/2002 18:38:51	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
039	27/03/2019 15:54:50	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
041	25/03/2019 10:27:49	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
044	26/04/2018 11:21:45	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
048	25/04/2018 11:15:13	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
050	25/04/2018 09:56:35	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
055	25/04/2018 09:55:22	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
058	25/04/2018 09:54:50	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
060	25/04/2018 09:54:36	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
072	25/04/2018 09:51:16	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
080	25/04/2018 09:35:07	РПО	0110000000000000	1000100100000000				
083	13/06/2017 10:35:12	АПВ 1-1 Нет включения	0100000000000000	0100100100000000				
084	13/06/2017 10:35:11	АПВ 1-1 Работа	0100000000000000	0000100100000000				
085	13/06/2017 10:35:06	РПО	0100000000000000	1000100100000000				
087	12/06/2017 10:00:26	РПО	0100000000000000	1000100100000000				
096	12/06/2017 09:56:00	РПО	0100000000000000	1000100100000000				
099	12/06/2017 09:55:49	РПО	0100000000000000	1000100100000000				

Рис. 4. Параметри журналу аварій за певний період

РС83-А20 25202111301 S/N 06061212
Название станции: Лабораторія 2л
Название присоединения: РП 8
Журнал событий
Дата и время создания отчета: 15.09.2019 11:17:04

N п/п	Дата события	Название события	Новое значение	Источник события
001	15/09/2019 10:52:09	Команда откл. ВВ		
002	15/09/2019 10:51:45	НЦЭВО	0000000000000000	
003	15/09/2019 10:51:04	Команда вкл. ВВ		
004	15/09/2019 10:50:53	Команда откл. ВВ		
005	15/09/2019 10:50:51	Команда откл. ВВ		
006	15/09/2019 10:39:29	Команда вкл. ВВ		
007	15/09/2019 10:38:06	Команда откл. ВВ		
008	15/09/2019 10:32:12	Команда вкл. ВВ		
009	15/09/2019 10:32:01	Команда вкл. ВВ		
010	15/09/2019 10:31:19	Включили устройство	Устройство включено	
011	15/09/2019 10:29:31	Выключили устройство	Устройство отключено	
012	15/09/2019 10:29:29	НЦЭВО	0000000000000000	
013	15/09/2019 10:24:19	Команда откл. ВВ		
014	15/09/2019 10:24:15	Команда откл. ВВ		
015	15/09/2019 10:19:29	Разрешение ТУ	Вкл.	
016	15/09/2019 10:19:28	Разрешение ТУ	Откл.	
017	15/09/2019 10:33:46	Команда вкл. ВВ		
018	15/09/2019 10:33:44	Команда вкл. ВВ		
019	15/09/2019 10:33:07	Команда откл. ВВ		
020	15/09/2019 10:32:21	Команда откл. ВВ		
021	15/09/2019 10:20:37	Команда откл. ВВ		
022	15/09/2019 10:20:17	Команда откл. ВВ		
023	15/09/2019 10:20:07	НЦЭВО	0000000000000000	
024	15/09/2019 10:19:49	Команда откл. ВВ		
025	15/09/2019 10:19:27	НЦЭВО	0000000000000000	
026	15/09/2019 10:18:34	Команда откл. ВВ		
027	15/09/2019 10:18:01	НЦЭВО	0000000000000000	

Рис. 5. Параметри журналу подій

Список літератури:

1. Релейний захист. Цифрові пристрої релейного захисту, автоматики та управління електроенергетичних систем [Електронне видання] : навч. посіб. / О.С. Яндульський, О.О. Дмитренко; під загальною редакцією д.т.н. О.С. Яндульського. К. : НТУУ «КПІ», 2016. 102 с.
2. Бунько В.Я. Дослідження та аналіз роботи мікропроцесорного пристрою в умовах зміни потужності споживача [Електронний ресурс] / В.Я. Бунько, П.М. Дарморіс // *Енергетика і автоматика.* 2019. № 1. С. 64–72. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/eia_2019_1_9.
3. Микропроцессорное устройство релейной защиты и автоматики РС83-А2.0. Руководство по эксплуатации ЕАБР.656112.011 РЭ (редакция 1.8).
4. Кутін В.М. Засоби діагностування релейного захисту і автоматики електроенергетичних систем / В.М. Кутін, М.В. Кутіна, М.О. Ілюхін. Вінниця : ВНТУ, 2013. 117 с.
5. Данилов О.А. Спрощений метод розрахунку параметрів мікропроцесорного захисту по збільшенню струму / О.А. Данилов // *Електрифікація транспорту.* 2014. № 8. С. 26–29. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/eltr_2014_8_5.
6. Бунько В.Я. Аналіз методів та засобів підвищення надійності елементів релейного захисту / В.Я. Бунько // *Технологический аудит и резервы производства.* 2015. № 3(1). С. 26–30. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Tatrv_2015_3%281%29__7.
7. URL: http://rzasystems.com/product/rs83-a2_0/ (дата звернення 17.09.2019).

Bunko V.Ya. USE OF MICROPROCESSOR ELEMENTS OF RELAY PROTECTION IN DISTRIBUTION DEVICES OF ENERGY SYSTEMS

The article substantiates and analyzes the use and implementation of the microprocessor relay element and relay element base in power distribution systems. Research has been conducted on the use of such devices in the laboratory, as well as their testing, data processing and programming directly from the workplace and from the control room.

Some test specifications are provided, as well as software used to configure it in special software. Microprocessor elements, such as relay protection and automation devices, which are widely implemented in energy systems of power companies, and used to protect the electrical equipment of high and low voltage power stations, substations, and power grids have been found to be the main function of such research.

The schematic diagram of the control of the high-voltage switch used in power distribution systems is shown.

It is established that this microprocessor terminal allows to store the parameters of the protection and automatics in the log of accidents for 100 events with fixation of the type of protection, the value of the current and the time of the actuation, as well as storing the parameters of the measurement of configuration occurs in the log of events for a certain number (200 events).

Using the software section in the Measurement and Control window allows you to enable and disable the display of individual vectors in the diagram and assign their colors, as well as make changes to the scale of the displayed vectors, capture currents in each phase and zero sequence current.

The article investigates and establishes that the use of microprocessor terminal will allow to analyze correctly and in detail the work of relay protection and automation of power supply systems as a whole. In particular, the use of a microprocessor terminal will allow the use of parameters of the outgoing power lines, power plants and substations, since it will be possible to more accurately determine the parameters of events and accidents in the operation of power equipment.

Key words: *microprocessor relay protection, microprocessor device, switchgear.*

УДК 631.53
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-1/03

Соловей І.М.
Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»

ОБРОБКА НАСІННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР У ВИСОКОЧАСТОТНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПОЛЯХ

У статті досліджується вплив високочастотного електричного поля на посадковий матеріал зернових культур. Дослідження проводилося під час обробки насіння кукурудзи. Електричні поля високої напруги є одним із перспективних засобів впливу на насіння сільськогосподарських культур. Одним з напрямків використання високочастотних електричних полів високої напруги є передпосівна обробка насіння, обробка при зберіганні та переробці, вплив на рідини і живильні розчини для збільшення їхньої біологічної активності. Дослідження з впливу високочастотного мікрохвильового електричного поля при опромінюванні насіння зернових культур проводилося з метою збільшення проростання насіння та покращення росту рослин. Експериментальні дослідження проводилися в лабораторних умовах на спеціально розробленій установці із використанням промислового і розробленого джерел високої напруги. Основною складовою частиною установки є джерело високої напруги, яке базується на використанні трансформатора Тесли, вторинна обмотка якого одним кінцем приєднана до заземлення або корпусу, а іншим – до вихідного електрода з плоскою поверхнею. На поверхні електрода утворюються коливання електричного поля, частота дорівнює 1/4 довжини розповсюдження електромагнітної хвилі у провіднику вторинної обмотки високовольтного трансформатора. Величина вихідної напруги між кінцями вихідної обмотки в установці збільшується через входження вихідної обмотки високовольтного трансформатора у L-C резонанс. L-C резонанс у такому трансформаторі досягається завдяки настроюванню параметрів індуктивності та міжвиткової ємності самої вихідної котушки L2 високовольтного трансформатора. Встановлено дози обробки, які дають практичну можливість використання високочастотного електричного поля високої напруги в електротехнічних системах обробки насіння сільськогосподарських культур. Встановлено позитивний вплив високочастотного електричного поля на підвищення посівних якостей та врожайних властивостей насіння.

Ключові слова: *мікрохвильове поле, час обробки, врожайність, потужність, частота.*

Постановка проблеми. Підвищення врожайності зернових культур і зниження їх собівартості вже довго є актуальною проблемою. Збільшення виробництва й підвищення якості продукції можливо досягнути шляхом зменшення втрат врожаю від хвороб, грибків та бактерій під час зберігання, а також за умови максимального використання потенційних біологічних можливостей насіннєвого матеріалу.

Проблема забезпечення потреби країни продуктами рослинництва є досить гострим і актуальним питанням. Інтенсивне застосування хімічних засобів для передпосівної обробки насіння, а також використання в землеробстві пестицидів, гербіцидів та мінеральних добрив водночас із підвищенням продуктивності рослин неминуче спричинює низку небажаних явищ екологічного та економічного характеру. Тому вчені і практики з розвинених країн переходять на альтернативні системи землеробства [1].

Застосування отруйних хімікатів для обробки насіннєвого матеріалу призводить до екологічного збитку, тому на сучасному етапі розвитку сільського господарства все більше уваги спрямовується на використання екологічно чистих методів обробки насіння сільськогосподарських культур з метою збільшення врожайності та покращення зберігання.

Одними з напрямів підвищення врожайності є використання методів і прийомів стимуляції і управління ростовими процесами насіння і рослин, впровадження нових електротехнологій.

Електричні поля високої напруги є одним із перспективних засобів впливу на насіння сільськогосподарських культур. Використовуються електричні поля високої напруги у передпосівній обробці насіння, обробці під час зберігання та переробки.

Результати сучасних досліджень показують, що ефективність методів стимуляції посівних якостей насіння залежить від узгодження технологічних і конструктивних параметрів установок та їх режимів роботи з фізіологічними показниками і біохімічним складом насіння. Увага приділяється елек-

трофізичним методам, які передбачають обробку насіння електромагнітним, іонізуючим, світловим, ультрафіолетовим, лазерним випромінюванням тощо [2]. Але ці методи не набули промислового використання через недостатньо чітку відтворюваність отриманих результатів та низьку ефективність у боротьбі зі збудниками хвороб насіння, а деякі є дуже енергоємними. Одним з екологічно чистих способів передпосівної обробки насіння є опромінення його мікрохвильовим полем (далі – МХП) високих частот (далі – ВЧ).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз методів активації насіннєвого матеріалу показав, що за допомогою фізичних факторів впливу можна покращувати якість посівного матеріалу. Електромагнітні поля як зовнішні фактори впливу мають низку переваг. На базі цих методів вченими розроблені технології і технологічні операції, що дозволяють певною мірою впливати на схожість насіння, адаптивні здібності рослин і їх врожайність. Порівняно з іншими методами стимуляції обробка насіння мікрохвильовим полем високих частот має такі переваги: низьку собівартість, екологічну безпечність, високу ефективність [3; 4].

Постановка завдання. Мета дослідження – забезпечення ефективного та енергозбережного методу передпосівної обробки зернових для підвищення проростання, схожості, стійкості рослин до хвороб, збільшення урожайності культур через оптимізацію режимів передпосівної обробки насіння основних зернових культур мікрохвильовим полем.

Виклад основного матеріалу дослідження. ***Матеріали та методика досліджень***. Для проведення досліджень було розроблено дослідну установку для обробки зерна кукурудзи в змінному електричному полі високої частоти на базі трансформатора Тесли (рис. 1).

Розміщення обмоток вихідного високовольтного трансформатора, як і в трансформаторі Тесла, тобто первинна знаходиться знизу вторинної. Живлення установки здійснюється від джерела постійного струму напругою 16 В при струмі споживання 0,3 А. Основним елементом у дослідній установці є вихідний високовольтний трансформатор, вторинна обмотка якого одним кінцем приєднана до заземлення або корпусу, а іншим – до вихідного електрода з плоскою поверхнею. На поверхні електрода утворюються коливання електричного поля, частота якого дорівнює 1/4 довжини розповсюдження електромагнітної хвилі у провіднику вторинної обмотки високовольтного трансформатора. Величина вихідної напруги між кінцями вихідної обмотки в установці збільшується через входження вихідної обмотки високовольтного трансформатора у L-C резонанс. L-C резонанс у такому трансформаторі досягається завдяки настроюванню параметрів індуктивності та міжвиткової ємності самої

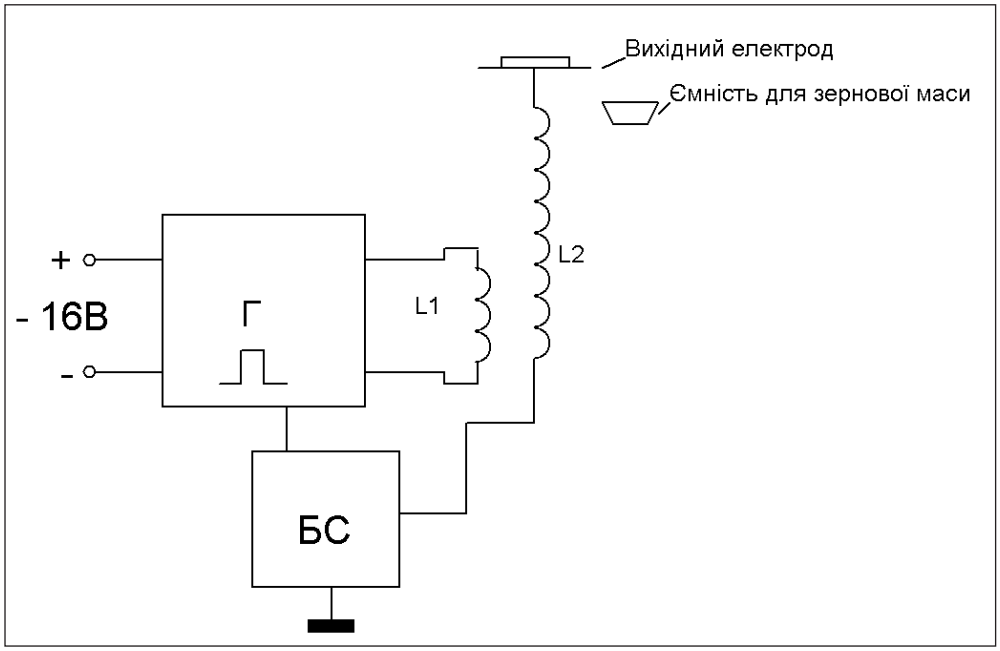


Рис. 1. Схема дослідної установки для обробки зерна кукурудзи у змінному електричному полі високої частоти: Г – генератор імпульсів; БС – блок синхронізації подачі імпульсів на первинну обмотку вихідного трансформатора

вихідної котушки L2 високовольтного трансформатора. Така конструкція дозволяє значно скоротити рівень витрат енергії під час роботи самої установки. Споживана потужність дослідної установки для обробки насіння становить 4,8 Вт.

Зернова маса розміщується біля поверхні або на деякій відстані від поверхні плоского електрода вихідного кінця вторинної обмотки високовольтного вихідного трансформатора. Другий кінець вторинної обмотки високовольтного трансформатора під'єднаний до корпусу. Відстань між вихідними кінцями вторинної обмотки становить 38 см, різниця потенціалів при максимальному амплітудному значенні – 6–8 кВ. Частота може змінюватися в невеликих межах через зміну ємності котушки і в більших межах через зміну кількості витків вторинної котушки.

Розроблена електротехнологічна обробка зерна базується на впливі на фізичні процеси безпосередньо в зернині, що призводить до біологічного їх стимулювання, та впливі змінного електричного поля на поверхню зерна в контакті зерно – повітря.

Результати досліджень. Обробку насіння мікрохвильовим полем проводили на лабораторному обладнанні в діапазоні 1,045–2,45 ГГц при витраті енергії 0,42 кВт/кг насіння протягом часового інтервалу, що становив від 3 до 12 сек. Лабораторні дослідження проводились на насінні кукурудзи.

Приклад результатів обробки насіння кукурудзи залежно від частоти та інтенсивності змінного електричного поля наведено на рис. 2.

Згідно з експериментальними даними проростання насіння контрольного зразка становить 53%, дослідного зразка при частоті 1,047 МГц – 90%, 2,45 ГГц – 72%, 2,45 ГГц збільшеної інтенсивності електричного поля – 10%. Найкращі показники проростання насіння отримано при частоті змінного електричного поля 1,047 МГц.

У наших дослідженнях було виявлено ефект біостимуляції насіння електромагнітним висо-

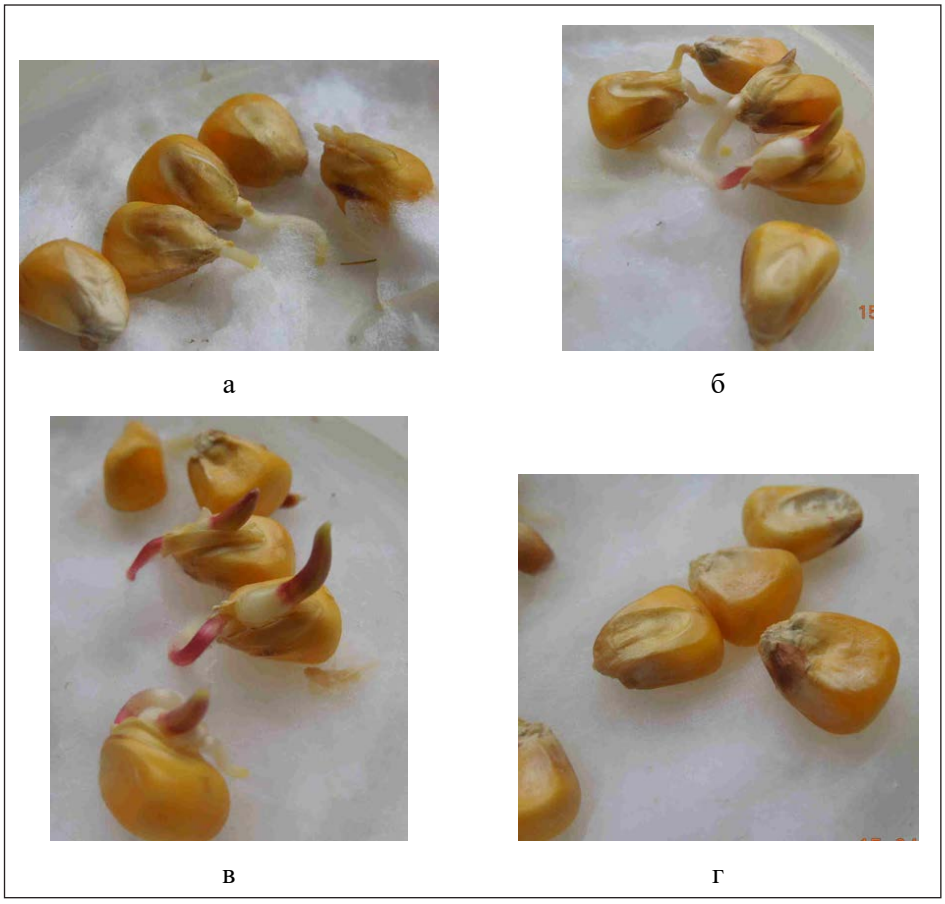


Рис. 2. Пророщування насіння кукурудзи контрольного і обробленого зразків у змінному електричному полі: а – контрольний зразок; б – дослідний зразок, частота обробки становила 1,047 МГц; в – дослідний зразок, частота обробки становила 2,45 ГГц; г – дослідний зразок, частота обробки становила 2,45 ГГц (збільшена інтенсивність частоти)

кочастотним електричним полем. Водночас встановлено, що опромінювання з підвищеною дозою опромінення призводить до пригнічення проростання насіння або загибелі зародка. Пригнічення різних зразків, а також партій насіння відбувається по-різному. Отже, щоб оздоровити ту чи іншу партію насіння, потрібно опромінювати її у такому режимі, який не викликає суттєвого зниження схожості.

Нами були випробувані режими опромінювання насіння (0,42 кВт/кг насіння) кукурудзи для двох зразків при різному часі опромінення. Результати досліджень представлені у таблиці 1.

Таблиця 1

Схожість насіння кукурудзи після опромінювання високочастотним електричним полем у двох дослідах залежно від часу опромінення

Час опромінення, с	Схожість, %	
	1 дослід	2 дослід
0	55	60
3	65	70
6	88	82
9	62	55
12	5	10

У результаті проведення лабораторних досліджень було встановлено, що показники енергії проростання та лабораторної схожості насіння підвищувалися за менш жорсткого режиму опромінювання.

Так, за часом опромінення 6 секунд досягнута найбільша лабораторна схожість насіння, яка склала 88% у першому досліді та 82% у другому, що на 24% перевищує варіант без опромінювання. В іншому варіанті часу опромінення (3 секунди) за показником схожості відзначене збільшення рівня схожості насіння на 10%. При 9 секундах зафіксоване незначне пригнічення або значення на рівні контролю. Збільшення часу опромінювання до 12 секунд призводило до зниження схожості.

Висновки. Результати проведених пошукових досліджень показали, що мікрохвильове поле позитивно впливає на схожість насіння та надає можливість доводити стан некондиційного насіння до кондиційного за схожістю, що є необхідною умовою сертифікації насіння. Оптимальним режимом опромінювання насіння кукурудзи високочастотним електричним полем є режим з потужністю 0,42 кВт на 1 кг насіння та часом опромінення 6 секунд, що підвищує лабораторну схожість на 20% та урожайність відповідно. Обробка зернової маси може здійснюватися на певній відстані від установки завдяки використанню трансформатора Тесли. Запропонована електротехнологія вигідно відрізняється від наявних. Вона має низьку енергоємність та дозволяє екологічно і безпечно обробляти зернову продукцію.

Список літератури:

1. Кінрук М.О., Гаврилюк М.М. Мікрохвильова стимуляція насіння: проблеми та перспективи її застосування. *Микроволновые технологии в народном хозяйстве.* Вып. 6. Одесса. 2007 С. 36−38.

2. Лазаренко Б.Р., Горбатовская И.Б. Электрическая защита растений от болезней. *Электронная обработка материалов*. 1966. № 6 (12). С. 70−81.

3. Технологія мікрохвильової обробки насіння с.-г. культур : методичні рекомендації ; друге видання. Київ : Аграрна наука, 2003. 45 с.

4. Вплив мікрохвильового поля на фітопатогени – збудники основних захворювань насіння злаків і соняшнику / Л.Г. Калінін, В.П. Тучний, С.А. Левченко, О.В. Бабаянц. *Микроволновые технологи в народном хозяйстве (Промышленность, АПК, медицина-фармация).* 2000. Вып. 2–3. С. 66−73.

5. Шахов А.А. Проблема светоимпульсной обработки семян и растений. *Электронная обработка материалов.* 1965. № 2. С. 61–74.

6. Шидловская И.Л., Журбицкий З.И. Влияние электрического поля и ионов воздуха на минеральное питание и обмен в растениях кукурузы. *Физиология растений.* 1966. Т. 13, № 4. С. 657–664.

Solovei I.M. GRAIN CULTURAL SEED PROCESSING IN HIGH-FREQUENCY ELECTRICAL FIELDS

It is investigated the effect of high-frequency electric field on the grain planting material. The study was performed in the processing of corn seeds. High-voltage electric fields are one of perspective means of influencing crop seeds. One of the ways of use of high frequency of high voltage electric fields is pre-sowing seed perspective, storage and processing, impact on liquids and nutrient solutions to increase their biological activity. Research on the effects of high-frequency microwave electric field in the irradiation of cereal seeds was conducted in order to increase seed germination and plant growth. Experimental studies were conducted in a laboratory on a specially designed installation using industrial and developed high voltage sources. The main component of the installation is a high voltage source based on the use of a Tesla transformer, the

secondary winding of which is connected with one end to the ground or the frame and the other one to a surface of output electrode. Oscillations of the electric field are formed on the surface of the electrode, and its frequency is equal to 1/4 of the propagation wave of the electromagnetic wave in the conductor of the secondary winding of the high-voltage transformer. The magnitude of the output voltage between the ends of the output winding in the installation is increased by the entry of the output winding of the high-voltage transformer into the L-C resonance. The L-C resonance in the given a transformer is achieved by adjusting the parameters of the inductance and the inter-turn capacitance of the output coil L2 of the high-voltage transformer itself. The cultivation doses have been established and make its practical use of the high-frequency of high-voltage electric field in the electrotechnical systems of crop seed cultivation. Positive influence of high-frequency electric field on increase of sowing qualities and yielding properties of seeds is established.

Key words: *microwave field, processing time, yield, power, frequency.*

ПРИЛАДИ

УДК 615.471:616-07
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-1/04

Тимчик Г.С.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

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

Гурова Т.О.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

КЕРУВАННЯ МАГНІТНО-ЛАЗЕРНОЮ ТЕРАПІЄЮ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАМИ

Лазеротерапія посідає особливе місце серед немедикаментозних методів лікування. Важливою характеристикою при такому впливі є оцінка фізіологічного стану людини. Для попередження негативних реакцій на лазерну терапію доцільно використовувати комплексну методику, ключову позицію в якій займає система моніторингового контролю адаптаційних властивостей організму під час виконання сеансу, що дозволяє оцінити вплив зовнішніх чинників на адаптаційні резерви організму, які можна контролювати за реакцією кровопостачання органів. Одним з найважливіших показників нормального фізіологічного стану органу або тканини є ступінь їх кровонаповнення, тобто кровонаповнення мікросудин, які їх забезпечують, що дозволяє за показниками мікроциркуляції визначати адаптаційні властивості організму і відстежувати якість лікувального впливу. Для дослідження капілярних кровотоків найкраще підходить методика фотоплетизмографії. На відміну від кардіоінтервалографії плетизмографія може надати інформацію не за одним (частота серцевих скорочень), а за кількома параметрами, найважливішими з яких є тонус периферичних судин, частота серцевих скорочень, ударний об'єм крові.

Використання нейромережевих технологій з інтегрованими нечіткими модулями прийняття рішень, а також велика поширеність і відносно невисока вартість персональних комп'ютерів відкривають перспективи у використанні цієї методики. Таким чином, розробка методів і засобів управління лазерною терапією на основі оцінки динаміки адаптаційних властивостей організму за показниками фотоплетизмограми є актуальним завданням.

Метою роботи є підвищення ефективності визначення рівня лазерної чутливості шляхом аналізу структурних та спектральних характеристик фотоплетизмограми. Результатами досліджень є запропоновані нами алгоритм проведення процедури та математична модель, що дозволяє адекватно аналізувати фотоплетизмографічні показники будь-якого характеру.

Ключові слова: *фотоплетизмограма, лазерна терапія, пульсова хвиля, фізіологічний стан, кардіоцикл.*

Постановка проблеми. Багаторічний досвід використання лазерної терапії (далі – ЛТ) в медичній практиці свідчить про те, що лазерний вплив має такі істотні переваги над загальноприйнятим медикаментозним лікуванням: відсутність алергічних і токсичних реакцій; розширення можливостей амбулаторної реабілітації та профілактики; простота, безпека і висока мобільність технологій; екологічна чистота і стерильність лазерного світла; зниження захворюваності з мінімальними витратами на профілактичні заходи. Для ефективної ЛТ необхідно володіти інформацією про величину порогового рівня лазерного випромінювання, що впливає на організм пацієнта [1], адже рівень сприйняття лазерного опромінення в різних людей різний. Саме тому проблема підбору

індивідуальних доз лазерного впливу досі залишається актуальною.

Необхідність оперативного вирішення даних завдань особливо очевидна з урахуванням наявного дисонансу між наявністю в нозологічних стандартизованих методиках ЛТ широкого діапазону дозових навантажень, пропонованих фахівцям для досягнення у профільних хворих позитивного терапевтичного ефекту, і відсутністю задовільних кінцевих результатів такої терапії внаслідок непередбачуваності індивідуальних реакцій пацієнтів на однакові значення режимів курсового лазерного впливу, а також досить частого розвитку негативних наслідків у найближчі терміни лікування.

Мету роботи спрямовано на підвищення ефективності визначення рівня лазерної чутливості на підставі аналізу структурних та спектральних характеристик фотоплетизмограми [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Попередні дослідження показали, що основною проблемою магнітно-лазерної терапії (далі – МЛТ) є нерозуміння того, як можна перенести результати досліджень контрольних проб за межі живого організму. Це пов'язано з тим, що зворотний зв'язок з контролюючим середовищем відсутній [3]. Вивчення окремих механізмів біологічної дії МЛТ, вирваних з контексту загальних регулюючих чинників, ставить більше питань, ніж дає відповідей. Відсутність єдиної теорії механізмів дії МЛТ на біооб'єкти, яка об'єднує всі відомі ефекти, не дозволяє здійснювати прогноз відносно найважливіших чинників регулювання фізіологічних параметрів живих систем за допомогою МЛТ. Це обмежує розвиток методології МЛТ і вживання методу в клінічній практиці в цілому. На підставі аналітичного огляду можна зробити висновок, що контроль зміни адаптаційного статусу організму дозволяє визначити системні реакції на МЛТ, але відсутність надійних аналітичних критеріїв цих реакцій знижує ефективність управління нею [1; 3–5]. Для здобуття таких критеріїв може бути використана методика пальцевої фотоплетизмографії [6]. Водночас сучасні математичні методи й інформаційні технології, ґрунтуючись на ідеології системного підходу, дозволяють розв'язувати завдання досліджуваних класів з достатньою для практики якістю в умовах нечіткого і неповного опису вихідних даних та структури класів, яка погано формалізується.

Для визначення емоційного стресу [7] використовують частоту серцевих скорочень (далі – ЧСС) і частоту дихання, вираховують коефіцієнт кореляції між цими системами і діагностують стрес при значеннях отриманої величини менших від деякого порогового значення. Однак середньостатистичні нормативи не дають уявлення про функціонування організму в цілому, про його індивідуальні резервні можливості. Крім того, визначення комплексу показників є трудомістким і дорогим процесом, який ускладнює аналіз лікарем через широкі коливання так званої норми. З огляду на це заслуговують на увагу способи, засновані на застосуванні фізичного навантаження і визначенні фізичної працездатності за такими одиничними показниками, як ЧСС, артеріальний тиск (далі – АТ). Основою цих способів є визначення меж нешкідливості впливу фізичних навантажень.

Наприклад, у джерелі літератури [8] пропонується спосіб визначення функціональних можливостей організму людини, заснований на вимірюванні тільки одного параметра – хвилинного об'єму кровообігу – при відповідних фізичних навантаженнях.

У роботі [9] пропонується до широко використовуваних показників ЧСС та АТ додати низку антропометричних показників з одночасним використанням степ-тестів. Однак ускладнення експерименту призводить до необхідності ускладнення і системи оцінок (як правило, бальних), що не дозволяє використовувати ці методи для скринінгу. Збільшення ж показників не завжди призводить до підвищення надійності діагностики. Контроль зміни адаптаційного статусу організму дозволяє визначити системні реакції на ЛТ, але відсутність надійних аналітичних критеріїв цих реакцій знижує ефективність управління ЛТ. Для здобуття таких критеріїв, як показали вітчизняні і зарубіжні учені, може бути використана методика пальцевої фотоплетизмографії. Водночас сучасні математичні методи й інформаційні технології, ґрунтуючись на ідеології системного підходу, дозволяють вирішувати завдання досліджуваних класів з достатньою для практики якістю в умовах нечіткого і неповного опису вихідних даних та структури класів, яка погано формалізується [3; 4].

Постановка завдання. Для підвищення ефективності МЛТ за допомогою нечіткого управління інтенсивністю лазерного випромінювання на основі аналізу динаміки структурних і спектральних характеристик фотоплетизмограми необхідно розробити спосіб управління магнітно-лазерною терапевтичною дією в процесі проведення фізіотерапевтичної процедури МЛТ, за допомогою якого можна буде знизити або повністю виключити негативні явища, пов'язані з МЛТ. Для реалізації

способу управління лазерною терапією необхідно обрати фізіологічні сигнали і сформувати множину інформативних ознак, за допомогою яких можна буде контролювати зміну адаптаційних властивостей організму людини під впливом МЛТ.

Виклад основного матеріалу дослідження. Інформативні параметри фотоплетизмограми групуються за двома ознаками:

– на вертикальній осі досліджуються амплітудні характеристики пульсової хвилі, які відповідають анакротичному і дикротичному періоду. Попри те, що ці параметри є відносними, їх вивчення в динаміці надає цінну інформацію про силу судинної реакції. У цій групі ознак вивчається амплітуда анакротичної і дикротичної хвилі та індекс дикротичної хвилі. Останній показник має абсолютне значення і власні нормативні показники;

– на горизонтальній осі досліджуються часові характеристики пульсової хвилі, які надають інформацію про тривалість серцевого циклу, співвідношення і тривалість систоли і діастоли. Ці параметри мають абсолютні значення і можуть порівнюватися з наявними нормативними показниками. У цій групі параметрів вивчається тривалість анакротичної фази пульсової хвилі, тривалість дикротичної фази пульсової хвилі, тривалість фази вигнання, тривалість пульсової хвилі, індекс висхідної хвилі, час наповнення, тривалість фази систоли серцевого циклу, тривалість фази діастоли серцевого циклу, час віддзеркалення пульсової хвилі, частота серцевих скорочень [10].

Алгоритм проведення процедури та обрахунку отриманих даних

Проведений аналітичний огляд дозволяє визначити системні реакції на ЛТ за наявності контролю зміни адаптаційного статусу організму, але відсутність аналітичних критеріїв реакцій знижує ефективність керування ЛТ. Для визначення даних критеріїв може бути використана методика пальцевої фотоплетизмографії (рис. 1). Водночас сучасні математичні методи й інформаційні технології, ґрунтуючись на ідеології системного підходу, дозволяють вирішувати поставлені завдання з достатньою для практики якістю в умовах нечіткого і неповного опису вихідних даних та структури класів, яка погано формалізується.

Пропонується такий алгоритм проведення процедури:

1) реєструються фізіологічні параметри пацієнта в стані спокою протягом 60 с;

2) проводиться вплив на пацієнта тривалістю 30 с (моніторинг стану організму не зупиняється);

3) після проведення впливу знімаються показники до моменту повернення їх до норми.

Запропоновано проводити розрахунок параметрів ФПГ за таким алгоритмом обчислення:

1) знайти точку мінімуму (рис. 2):

$$\min f(t_i) \in \{f(t_1), f(t_2), \ldots, f(t_n)\}, \quad \min f(t_i) < f(t)_{max}, \quad (1)$$

де min $f(t_i)$ – мінімальне значення з множини значень; $f(t_1)$, $f(t_2)$, …, $f(t_n)$ – множина значень функції у конкретний момент часу; n – кількість значень на осі часу до моменту знаходження наступного мінімального значення; $f(t)_{max}$ – максимальне допустиме значення мінімуму функції.

Для відокремлення точки мінімуму функції від точки інцизури, де значення також може перебувати в точці з'єднання неперервно спадаючої і неперервно зростаючої функції, було запропоновано використовувати максимально допустиме значення мінімуму функції $f(t)_{max}$, значення якого

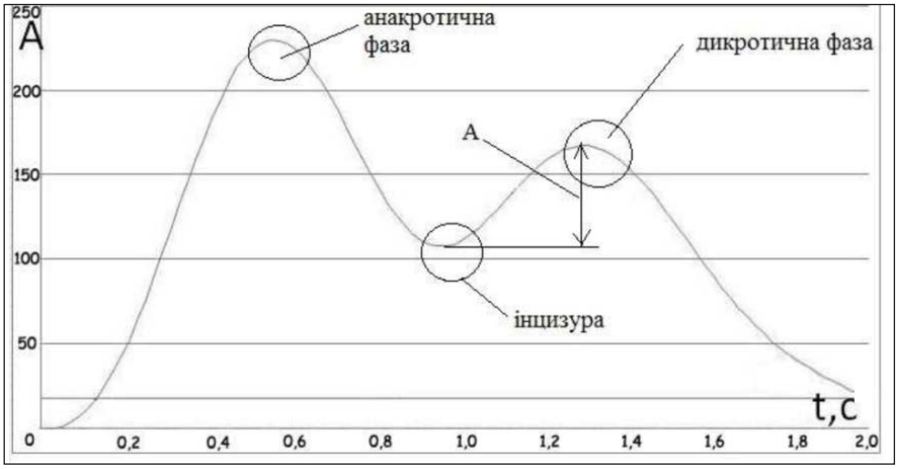


Рис. 1. Основні інформативні показники фотоплетизмограми

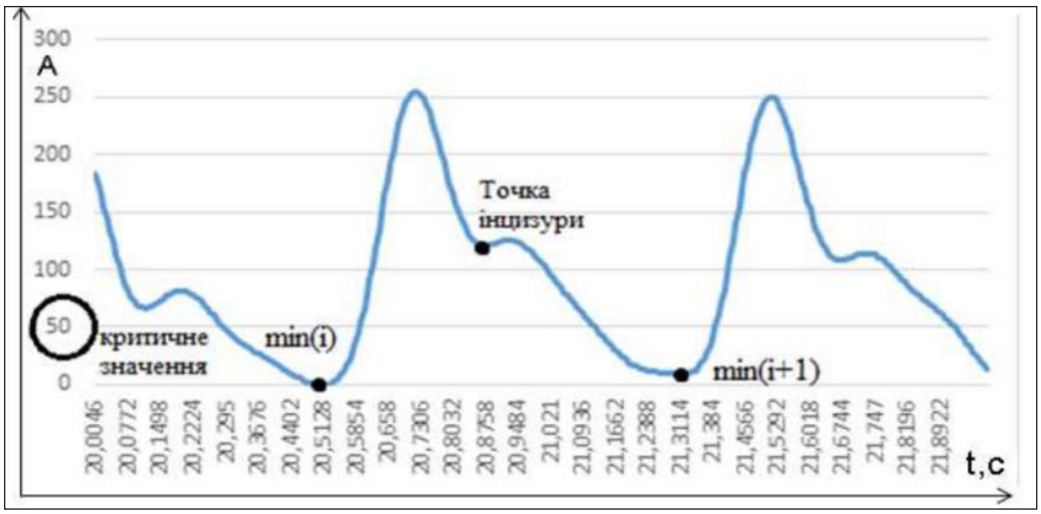


Рис. 2. Дані, отримані до навантажень

емпірично встановлене на основі аналізу плетизмограм і дорівнює 50. Для подальшого обчислення необхідно виконати такі дії:

2) знайти наступну точку мінімуму за формулою (1);

3) знайти суму інтегралів кожного кардіоциклу:

$$\sum_{1}^{60} \int_{\min(i)}^{\min(i+1)} f(t)\,dt, \qquad (2)$$

де *f(t)dt* – крива, що відповідає значенню пульсу в конкретний момент часу; *min*(i) – точка на осі абсцис, що відповідає найменшому значенню пульсу, початок кардіоциклу; *min*(i+1) – наступна точка мінімального значення пульсу, кінець попереднього кардіоциклу і початок нового.

Значення *min*(i) та *min*(i+1) повинні бути менші від граничного значення, щоб не можна було сплутати їх з точкою інцизури;

4) завдяки використанню методу чисельного інтегрування трапецій рівняння знаходження інтегралу кожного кардіоциклу приймає такий вигляд:

$$\int_{a}^{b} f(t)\,dt \approx \left(\frac{f(a)+f(b)}{2}+\sum_{i=1}^{n-1} f(t_i)\right)\cdot h, \qquad (3)$$

де *f*(a) – значення функції в першій точці мінімуму (початок кардіоциклу); *f*(b) – значення функції в другій точці мінімуму (кінець кардіоциклу); $f(t_i)$ – значення функції в момент часу t_i; h – крок, з яким змінюється значення часу; n – кількість значень функцій на проміжку (a, b);

5) знаходимо середнє значення площі фігури, обмеженої лінією пульсової хвилі кожного кардіоциклу та осями початку і кінця кардіоциклу:

$$S_{\text{сер}} = \frac{\sum_{1}^{n} S_i}{n}, \qquad (4)$$

де S_i – значення площі фігури для кожного окремого кардіоциклу; n – кількість кардіоциклів;

6) проводимо вплив на організм пацієнта тривалістю 30 с. Після цього обробка нових даних проходить за формулами (1)–(4);

7) записуємо отримане значення середньої площі фігури при впливі;

8) після завершення впливу проводимо обчислення середньої площі фігури $S_{сер2}$ з інтервалом в 10 секунд за формулами (1)–(4);

9) визначаємо час t, за який стан пацієнта нормалізується. Середня площа фігури після проведення процедури стане меншою або буде дорівнювати середній площі фігури до процедури $S_{сер2} <= S_{сер}$.

Результати досліджень та їх обговорення

Згідно з п. 1 та формулою (1) знаходимо точку мінімуму – початок кардіоциклу. Такою точкою є значення функції *f*(t)=0 при t=20.5128 (рис. 2). За п. 2 знаходимо наступну точку мінімуму – значення *f*(t)=9 при t=21.3114. За п. 3 вважаємо весь кардіоцикл рівним одному. За формулою (3) обчислюємо значення площі фігури. За п. 5 середнє значення $S_{сер}$ дорівнює 78,6621, оскільки для обчислення ми використовуємо лише один кардіоцикл:

$$\int_{a}^{b} f(t)\,dt \approx \left(\frac{0+9}{2}\cdot\sum_{i=1}^{n-1}(36+179+253+166+121+124+96+62+30+12)\right)\cdot 0{,}0726 = 78{,}6621.$$

Отримані дані після припинення навантажень наведені на рис. 3, а дані після відновлення початкового стану наведені на рис. 4. Точка мінімуму *f*(t)=0 при t=113.2956, точка мінімуму за п. 2 – значення

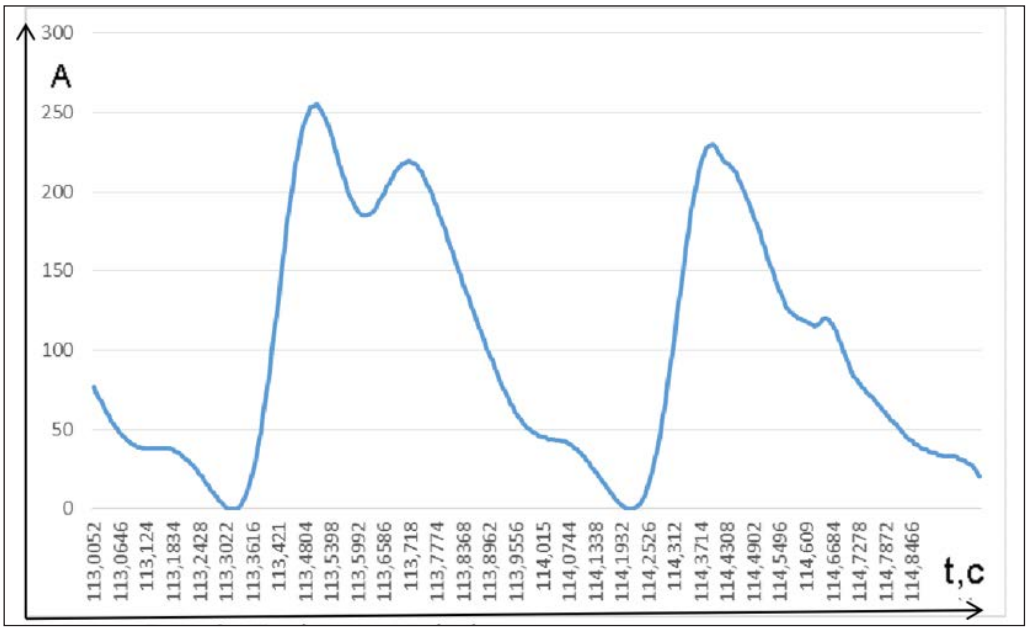


Рис. 3. Дані, отримані після припинення навантажень

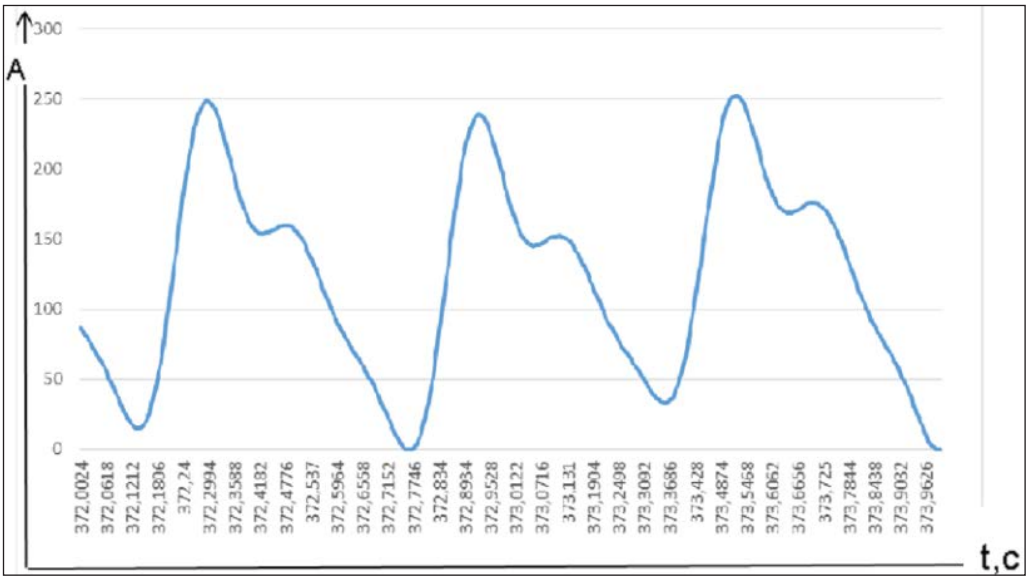


Рис. 4. Дані після відновлення початкового стану

$f(t)=0$ при t=114.2394. За формулою (3) обчислюємо значення площі фігури після проведення впливу:

$$\int_a^b f(t)\,dt \approx \left(\frac{0+0}{2}+\sum_{i=1}^{n-1}(29+179+253+195+199+217+169+ +112+64+45+37+11)\right)\cdot 0,0726 = 109,626.$$

Як бачимо, площа фігури збільшилася (S_{cep2}=109,626), що вказує на зміну стану пацієнта. Головним завданням є визначення часу, за який стан пацієнта нормалізується, тобто $S_{cep2} <= S_{cep}$. Точка мінімуму $f(t)=13$ при t=372.1476, точка мінімуму за п. 2 – значення $f(t)=6$ при t=372.7284. За формулою (3) обчислюємо значення площі фігури після проведення впливу:

$$\int_a^b f(t)\,dt \approx \left(\frac{13+6}{2}+\sum_{i=1}^{n-1}(137+249+186+155+152+100+60)\right)\cdot 0,0726 = 76,121.$$

Підтверджується нерівність Scep2 <= Scep. Визначимо час, за який організм відновився: t=372,7284-114.2394=258 с.

Висновки. Проведено порівняльний аналіз сучасних методів оцінки фізіологічних показників людини, розроблено математичну модель аналізу показників фотоплетизмограми та визначення функціонального стану організму людини. Дані розробки дають змогу удосконалити проведення аналізу електрофізіологічних сигналів у режимі реального часу на досить тривалих апертурах

спостереження. Це дозволить ставити і вирішувати завдання класифікації функціонального стану людини під час лазерного опромінення. Запропоновано алгоритм проведення процедури визначення сприйнятливості організму людини до лазерної терапії та алгоритм обробки отриманих даних [11].

Список літератури:

1. Гаркави Л.Х. Адаптационные реакции и резистентность организма. Ростов-на-Дону, 1990. 224 с.
2. Мошкевич В.С. Фотоплетизмография (Аппаратура и методы исследования). Москва, 1970. 208 с.
3. Гаркави Л.Х. Антистрессорные реакции и активационная терапия. Москва : *Имедис*, 1998. 556 с.
4. Загускин С.Л., Загускина С.С. Лазерная и биоуправляемая квантовая терапия. Москва : *«Квантовая медицина»*, 2005. 220 с.
5. Капустина Г.М., Максюшина Г.Н., Малахов В.В. Внутрисосудистое облучение крови, механизмы клинической эффективности, побочные действия, показания и противопоказания. *Новые направления лазерной медицины :* материалы Международной конференции. Москва, 1996. С. 230–231.
6. Капустина Г.М., Сюч Н.И., Наминов В.Л. Пути индивидуального подбора доз внутривенной лазерной терапии. *Совр. возм. лазерн. тер*. : матер. XIV научно-практич. конф. Великий Новгород, Калуга, 2004. С. 52–62.
7. Апанасенко Г.Л. Охрана здоровья здоровых: некоторые проблемы теории и практики валеологии. *Диагностика, средства и практика обеспечения здоровья* : сборник научных трудов. Вып. 1. Санкт-Петербург : Наука, 1993. 49–60 с.
8. Арканникова Г.А., Рудан Л.И., Липницкая Е.А. Результаты применения магнитно-лазерной терапии в условиях кардиологического отделения : матер. II Всероссийской научно-практической конференции по МИЛ-терапии. Москва, 1996. с. 51–52.
9. Асюленская Л.В., Самохвалова В.П., Разживихина Г.Н. Способ оценки адаптационных возможностей детского организма. *Вопросы охраны материнства и детства*. 1989. № 6. 50–54 с.
10. Малиновский Е.Л., Картелишев А.В., Евстигнеев А.Р. Тест-прогнозирование индивидуальной реакции больных на курсовую низкоинтенсивную лазерную терапию. Т. 10. 2006. С.14–21.
11. Тимчик Г.С., Осадчий О.В., Чупіка Б.С. Визначення інформативних показників функціонального стану людини при лазеротерапії. *Вісник НТУУ "КПІ". Серія «Приладобудування»*. 2014. Вип. 48 Ч. 2. С. 178–181.

Tymchuk G.S., Shevchenko V.V., Hurova T.O. MANAGEMENT OF MAGNETIC LASER THERAPY BASED ON THE ANALYSIS OF PHOTOPLETHYSMOGRAM

Laser therapy holds a special place among non-drug treatments. An important characteristic of such an impact is the assessment of the physiological state of man. To prevent adverse reactions of LT, it is advisable to use a complex methodology, the key position in which is the system of monitoring the adaptation of the organism during the session, which allows to evaluate the influence of external factors on the adaptation reserves of the organism, which can be controlled by the reaction of blood supply to organs on the LT. One of the most important indicators of the normal physiological state of an organ or tissue is the degree of their blood filling, more precisely, the blood supply of their microvessels, which allows to determine the adaptive properties of the organism and to monitor the quality of therapeutic effects by the microcirculation indicators. As a study of capillary blood flow is the most holistic method of photoplethysmography. Unlike cardiointervalography, plethysmography can provide information, not one by one (heart rate) but by several parameters, the most important of which are the peripheral vascular tone, heart rate, stroke volume of blood.

The use of neural network technologies with integrated fuzzy decision-making modules, the high prevalence and relatively low cost of personal computers currently opens up new perspectives on the use of this methodology. Thus, the development of methods and tools for the management of laser therapy based on the evaluation of the dynamics of adaptive properties of the organism according to the photoplethysmogram is an urgent task.

This work aims to increase the efficiency of determining the level of laser sensitivity by analyzing the structural and spectral characteristics of the photoplethysmogram. As a result of the research, an algorithm for the procedure was proposed, a mathematical model of the study was created, which allows to adequately analyze photoplethysmographic indicators of any nature.

Key words: *photoplethysmogram, laser therapy, pulse wave, physiological state, cardiocycle.*

УДК 528.563
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-1/05

Ткачук А.Г.
Державний університет «Житомирська політехніка»

Добржанський О.О.
Державний університет «Житомирська політехніка»

Коваль А.В.
Державний університет «Житомирська політехніка»

Богдановський М.В.
Державний університет «Житомирська політехніка»

РОЗРОБКА НОВОГО ЧУТЛИВОГО ЕЛЕМЕНТУ КОМПЛЕКСУ СТАБІЛІЗАЦІЇ ОЗБРОЄННЯ

Проаналізовано склад та призначення комплексу стабілізації озброєння легкої броньованої техніки. За основу комплексу стабілізації взято систему автоматичного керування, що забезпечує на легкій броньованій техніці збереження певної кутової орієнтації башти відносно системи координат, осі якої певним чином орієнтовані у просторі. Встановлено, що основний зміст задач оптимізації параметрів чутливих елементів комплексу стабілізації полягає у визначенні таких параметрів, за яких значення показників ефективності комплексу будуть найкращими. Запропоновано новий однороторний інтегруючий гіроскопічний датчик як чутливий елемент комплексу стабілізації озброєння легкої броньованої техніки. Розглянуто будову нового чутливого елемента та описано принцип його роботи. Встановлено, що використання як чутливого елемента саме однороторного інтегруючого гіроскопічного датчика прискорення підвищує стабільність статичного передавального коефіцієнта завдяки тому, що в такому разі статичний передавальний коефіцієнт визначається лише значенням маятниковості, осевим моментом інерції та частотою обертання ротора гіромотора. Розташування гіромотора, а також розташування валу внутрішнього підвісу гіромотора так, що центр мас гіромотора підтримується максимально близько до осі підвісу зовнішньої рамки, дозволяє звільнитись від перешкод у вихідному сигналі гіроскопічного датчика прискорення, спричинених відцентровими прискореннями, що діють на центр мас гіромотора під час обертання зовнішньої рамки разом з гіромотором навколо осі підвісу зовнішньої рамки. Закріплення гіромотора на валу внутрішнього підвісу гіромотора за допомогою пружних елементів, які працюють переважно на скручення, дозволяє досягти того, що в робочому режимі відносно повздовжньої осі валу внутрішнього підвісу гіромотора не прикладаються моменти, спричинені силами сухого тертя. Наявність таких моментів тертя обов'язково викликала б появу відповідних перешкод у вихідному сигналі гіроскопічного датчика прискорення і зумовила б наявність порогу чутливості гіроскопічного датчика прискорення, спричиненого нелінійним характером сил сухого тертя.

Ключові слова: *стабілізатор, чутливий елемент, похибка, регулювання, гіродатчик, гіромотор.*

Постановка проблеми. Однією з тенденцій розвитку систем управління вогнем сучасних бойових машин є створення більш ефективного стабілізатора озброєння з високими параметрами точності, що сприяє підвищенню військової потужності бойової машини і живучості системи «екіпаж – машина». З огляду на це аналіз розвитку сучасних стабілізаторів озброєння є актуальним завданням.

Стабілізатор озброєння – це пристрій, що здійснює стабілізацію прицілювання зброї під час переміщення платформи, на якій цю зброю встановлено. Стабілізатор озброєння дозволяє зберігати незмінним положення гармати в просторі, а також здійснювати наведення озброєння на ціль незалежно від коливань корпусу легкої броньованої техніки (далі – ЛБТ), що виникають під час руху на місцевості зі змінним ландшафтом.

Аналіз сучасного стану вітчизняної та зарубіжної ЛБТ показує, що багато країн мають у своєму розпорядженні велику кількість бойових машин з озброєнням, що не відповідає сучасним вимогам. Однак ці машини характеризуються досить надійною ходовою частиною, що не відпрацювала свого ресурсу. Заміна всього парку бронемашин на нові сьогодні є неможливою навіть для

економічно розвинених держав, тому найбільш прийнятним виходом є модернізація з використанням універсальних бойових модулів.

Сьогодні перед Міністерством оборони України гостро стоїть проблема підвищення обороноздатності України за умови обмеженості ресурсів. Новий комплекс стабілізації (далі – КС) озброєння ЛБТ та його чутливі елементи, розроблені науковцями НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», Державного університету «Житомирська політехніка» у співпраці з ПАТ «НВО «Київський завод автоматики», не потребують закордонних комплектуючих та мають невисоку собівартість порівняно з аналогами [1, с. 15; 2, с. 29].

З огляду на сказане актуальною науково-технічною проблемою сьогодні є підвищення точності КС озброєння ЛБТ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботі [2, с. 29] проведено аналіз сучасного стану бронетанкової техніки в Україні. Тут також обґрунтовано доцільність розробки нових комплексів стабілізації озброєння.

У роботі [3, с. 112] описано будову системи наведення і стабілізації озброєння легкоброньованих машин з нейромережевим регулятором. Однак у цій роботі не розглянуто доцільність використання нейромережевого підходу у питанні компенсації інструментальних похибок.

У роботах [4, с. 56; 5, с. 2; 6, с. 151] запропоновано як чутливий елемент системи стабілізації використовувати коріолісовий вібраційний гіроскоп. Також проаналізовано склад і принцип роботи відомої системи ударо- і віброзахисту навігаційного комплексу легкої броньованої техніки. Однак відсутні пропозиції щодо покращення технічних характеристик системи, аналіз математичної моделі та похибок чутливих елементів системи.

У роботі [9, с. 54] побудовано схемотехнічні моделі та проведено моделювання п'єзоелектричних перетворювачів з додатковими електричними коливальними контурами, які можуть бути використані як чутливі елементи стабілізатора озброєння. Використання таких моделей дозволяє за допомогою прикладних програм проводити оцінку характеристик і прогнозування параметрів та режимів роботи п'єзоелектричних перетворювачів. Проте отримані результати не можуть бути використані як доказ того, що датчик такої конструкції має вищу точність від аналогів, оскільки не розглянуто двоканальні схеми компенсації похибок вимірювання.

Постановка завдання. Коливання корпусу ЛБТ мають випадковий характер і під час її руху ніколи не згасають. Амплітуди кутових коливань мають досить великі частоти. Це призводить до значних переміщень прицільної марки відносно цілі і не дозволяє навіднику утримувати її навіть за допомогою найдосконаліших приводів наведення.

Найбільший вплив на точність стрільби мають коливання ЛБТ у поздовжній площині, що змінюють кут піднесення гармати, і кутові коливання в горизонтальній площині, що змінюють кут горизонтального наведення. Вони призводять до значного розсіювання снарядів і куль.

Поперечні кутові коливання, що спричинюють нахил гармати, мають менший вплив, але зростають зі збільшенням дальності стрільби.

Названі чинники зумовлюють збільшення похибок наведення, які зростають у стрільбі під час ходу в 10–30 разів у порівнянні зі стрільбою з місця.

Також розсіювання снарядів при стрільбі зумовлене запізненням пострілу, тобто часом від моменту закінчення наведення, коли навідник прийняв рішення про здійснення пострілу, до вильоту снаряда з каналу ствола. Час запізнення пострілу становить близько 0,1–0,15 с. Знаряддя не керується навідником, тому внаслідок коливання корпусу ЛБТ може змінити своє кутове положення на 3–5 т. ч. (тисячних часток). Звісно, що за таких відхилень снаряд не влучить у ціль [7, с. 11].

Розсіювання снарядів зростає також і внаслідок зміни напряму і величини вектора початкової швидкості снаряда, адже снаряд завжди буде відхилятися в бік руху стовбура гармати. У результаті дій різних факторів розсіювання снарядів при стрільбі під час ходу зростає приблизно в 10–12 разів.

Точність стрільби під час ходу знижується також і внаслідок безперервної зміни відстані до цілі. При швидкості руху від 20 до 25 км/год встановлена в прицілі дальність змінюється на одну поділку (100 м) за 15–20 с, що вимагає постійних поправок під час ведення стрільби, відволікає навідника від спостереження за полем бою.

Коливання корпусу під час руху, пов'язані з рельєфом місцевості, суттєво погіршують умови ведення стрільби. Ускладняються умови спостереження з ЛБТ і виявлення цілей, а також робота навідника. Темп стрільби під час руху знижується приблизно вдвічі. Унаслідок такого зниження точність стрільби з ЛБТ під час ходу різко зменшується [7, с. 13].

Влучність стрільби визначається точністю суміщення середньої точки влучення з наміче-

ною точкою на цілі і величиною розсіювання. Що ближче середня точка влучення до наміченої і що менше розсіювання куль (снарядів), то краща влучність. Стрільба вважається влучною, якщо середня точка влучення відхиляється від наміченої точки на цілі не більше ніж на половину тисячної дальності стрільби, що відповідає допустимому відхиленню середньої точки влучення від контрольної точки при приведенні зброї до бойової готовності, а розсіювання не перевищує табличних норм.

Тому для підвищення ефективності стрільби під час ходу сучасні ЛБТ оснащуються спеціальними автоматичними пристроями – стабілізаторами озброєння (далі – СО).

Стабілізатор озброєння входить до складу системи управління вогнем (далі – СУВ) ЛБТ і призначається для стабілізованого наведення основного озброєння. СО забезпечують підвищення влучності стрільби під час ходу шляхом збереження заданого напрямку лінії пострілу і лінії прицілювання з досить високою точністю. Зберегти заданий напрямок вручну під час руху ЛБТ практично неможливо, тому стабілізатори озброєння являють собою автоматичні пристрої або системи автоматичного регулювання, що забезпечують виконання цього завдання без безпосередньої участі військовослужбовців.

Технічно стабілізатор – це набір датчиків і обчислювальний комплекс, з'єднаний з приводом гармати. На підставі показників датчиків визначаються параметри переміщення платформи і видаються керуючі команди приводу гармати, який компенсує відхилення.

Мета статті – запропонувати новий чутливий елемент КС озброєння ЛБТ та описати принцип його роботи.

Виклад основного матеріалу дослідження. Стабілізатор озброєння складається з таких частин: привода вертикального наведення (далі – ВН); привода горизонтального наведення (далі – ГН); блока датчиків (далі – БД); блока управління; комплекту монтажних частин. Наведемо функціональну схему СО (рис. 1.) [7, с. 18]. Подвійні стрілки на малюнку відображають механічні зв'язки, а одинарні – електричні.

Стабілізація озброєння забезпечується шляхом збереження заданого положення лінії пострілу у вертикальній площині (автоматичне переміщення вежі) і в горизонтальній площині (автоматичне переміщення гармати) за допомогою виконавчого приводу.

За наявності стабілізатора кутова швидкість відхилення корпусу машини Θо відносно заданого положення вимірюється спеціальним датчиком, виконаним на основі триступеневого гіроскопа, який розміщується в модулі – блоці головного дзеркала прицілу навідника (інший – в аналогічному модулі прицілу командира). Вимірюване механічне відхилення перетворюється за допомогою перетворювача – обертового трансформатора – на електричний сигнал, який потім посилюється, перетворюється (інтегрується, підсумовується з іншими сигналами) підсилювачем

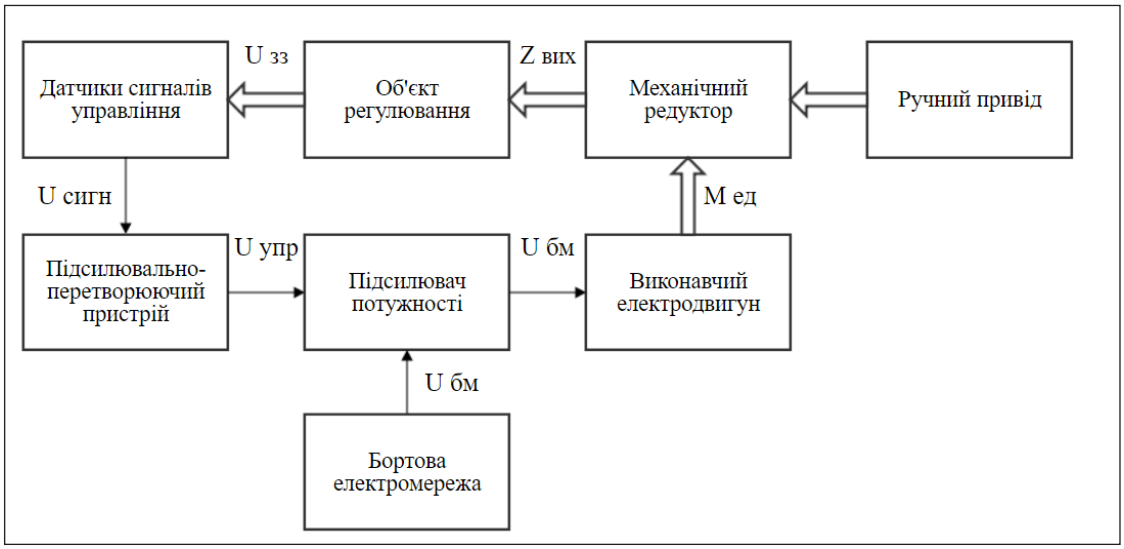


Рис. 1. Функціональна схема СО: Uсигн. – напруга сигналів датчиків СО; Uуп – напруга сигналу управління СО; Uбм – напруга бортової мережі; Мед – механічний момент ЕД; Zвих – регульоване (вихідне) зусилля (частота обертання); Uзз – напруга сигналів зворотного зв'язку

і подається на вхід виконавчого приводу стабілізатора.

Відповідно до величини і знаку сигналу неузгодженості виконавчий привід розвиває крутний момент, під дією якого виникає рух блоку зброї відносно корпусу (вежі) в протилежному напрямку. Якщо швидкість відносного руху зрівняється зі швидкістю руху корпусу, то подальше збільшення відхилення Θо припиниться.

Під час руху ЛБТ кутові швидкості повороту корпусу безперервно змінюються як за величиною, так і за знаком. Через це змінюється і величина відхилення Θо від свого заданого положення. Що більша величина розвинутого виконавчим приводом обертового (стабілізуючого) моменту при відхиленні гармати на одиницю кута, то вища точність стабілізації.

Новий одноротрний інтегруючий гіроскопічний датчик містить гіромотор, який закріплений на валу внутрішнього підвісу гіромотора пружними елементами, які виготовлені так, що жорсткість пружних елементів під час скручення на повздовжній осі валу внутрішнього підвісу гіромотора є набагато меншою, ніж жорсткість пружних елементів під час вигину.

Повздовжня вісь валу внутрішнього підвісу гіромотора зміщена відносно площини зовнішньої рамки і розташована у площині, перпендикулярній до осі підвісу зовнішньої рамки, а центр мас гіромотора розташований на осі обертання ротора гіромотора. Вісь обертання ротора гіромотора перпендикулярна до площини зовнішньої рамки, а центр мас гіромотора розміщений на осі підвісу зовнішньої рамки, яка встановлена вздовж вертикалі місця.

Встановлення осі підвісу зовнішньої рамки вздовж вертикалі місця реалізується, наприклад, монтажем гіроскопічного датчика прискорення на горизонтально стабілізовану платформу [10, с. 106].

На валу внутрішнього підвісу гіромотора розташований датчик кута закручення пружних елементів, вихід якого підключений до першого підсилюючого елементу, який своїм виходом підключений до виконавчого двигуна, який жорстко закріплений на зовнішній рамці, а вал іншого виконавчого двигуна є валом внутрішнього підвісу гіромотора.

На зовнішній рамці встановлений датчик кута повороту гіромотора, вихід якого підключений до бортового комп'ютера та до другого підсилюючого елемента, який своїм виходом під'єднаний до датчика моменту, що встановлений на осі підвісу зовнішньої рамки. Підключення датчика кута повороту гіромотора до бортового комп'ютера дозволяє організувати контроль виконання умови перпендикулярності осі обертання ротора гіромотора до осі підвісу зовнішньої рамки.

До блока живлення стабілізованої частоти під'єднаний гіромотор та датчик поточної частоти живлення, вихід якого підключений до бортового комп'ютера. Вихід датчика частоти живлення під'єднаний до бортового комп'ютера для можливості визначення поточної частоти обертання ротора гіромотора, за якою бортовий комп'ютер визначає статичний передавальний коефіцієнт гіроскопічного датчика прискорення.

Далі розповімо, як працює датчик. Ротор гіромотора обертається з частотою $\dot{\gamma}$ навколо осі обертання ротора гіромотора, створюючи кінетичний момент H. Вертикальний складник g_ξ та горизонтальні складники g_η, g_ς вектора прискорення разом із вертикальним складником W_ξ та горизонтальними складниками W_η, W_ς вектора лінійного прискорення горизонтально стабілізованої платформи діють на зміщений відносно повздовжньої осі валу внутрішнього підвісу гіромотора центр мас С гіромотора. У такий спосіб створюється момент $M_{g,W}$ відносно повздовжньої осі валу внутрішнього підвісу гіромотора. Момент $M_{g,W}$, якщо використовувати загальні принципи опису динаміки гіроскопічних систем, визначається так:

$$M_{g,W} = -m \cdot l \cdot \left[\left(W_\xi - g_\xi\right) \cdot \cos\beta + \left(W_\eta - g_\eta\right) \cdot \sin\alpha \cdot \sin\beta - \left(W_\varsigma - g_\varsigma\right) \cdot \cos\alpha \cdot \sin\beta \right], \quad (1)$$

де $l \cdot m$ – маятниковість гіромотора; β – кут повороту гіромотора навколо повздовжньої осі валу внутрішнього підвісу гіромотора; α – кут повороту зовнішньої рамки навколо осі підвісу зовнішньої рамки.

За наявності горизонтальних складників $\dot{\omega}_\varsigma$, $\dot{\omega}_\eta$ вектора кутового прискорення горизонтально стабілізованої платформи, де безпосередньо встановлений гіроскопічний датчик прискорення, виникає момент $M_{ін}$ сил інерції відносно повздовжньої осі валу внутрішнього підвісу першого гіромотора, який визначається у такий спосіб:

$$M_{ін} = -B \cdot \left(\dot{\omega}_\eta \cdot \cos\alpha + \dot{\omega}_\varsigma \cdot \sin\alpha\right), \quad (2)$$

де B – момент інерції гіромотора відносно повздовжньої осі валу внутрішнього підвісу гіромотора.

Вертикальний складник ω_ξ та горизонтальні складники ω_η, ω_ς вектора кутової швидкості горизонтально стабілізованої платформи, де безпосередньо встановлений гіроскопічний датчик

гравітаційного прискорення, спричинюють появу моменту M_k коріолісових сил інерції (гіроскопічного моменту) від переносної кутової швидкості горизонтально стабілізованої платформи. Момент M_k, який прикладений відносно повздовжньої осі валу внутрішнього підвісу гіромотора, визначається у такий спосіб:

$$M_k = H \cdot \begin{pmatrix} \omega_\xi \cdot \cos\beta + \omega_\eta \cdot \sin\alpha \cdot \\ \cdot \sin\beta - \omega_\varsigma \cdot \cos\alpha \cdot \sin\beta \end{pmatrix}, \quad (3)$$

де H – кінетичний момент, що створюється обертанням ротора гіромотора.

Моменти $M_{g,W}$, M_k, $M_{ін}$ спричинюють обертання гіромотора навколо повздовжньої осі валу внутрішнього підвісу гіромотора, тому виникає така нерівність:

$$\beta \neq 0 \quad (4)$$

Гіромотор, обертаючись навколо повздовжньої осі валу внутрішнього підвісу гіромотора, закручує пружні елементи. При цьому відносно вказаної осі виникають моменти від сил пружності пружних елементів $M_{пр}$, які визначаються так:

$$M_{пр} = C \cdot \Delta\beta_{пр}, \quad (5)$$

$$\Delta\beta_{пр} = \beta - \beta_{дв}, \quad (6)$$

де C – коефіцієнт жорсткості пружних елементів під час скручення на повздовжній осі валу внутрішнього підвісу гіромотора; $\Delta\beta_{пр}$ – кут закручення пружних елементів; $\beta_{дв}$ – кут повороту виконавчим двигуном валу внутрішнього підвісу гіромотора навколо повздовжньої осі валу внутрішнього підвісу гіромотора.

Відповідно до загальних принципів опису динаміки гіроскопічних систем та умови, що $\beta \to 0$, а $M_{пр} \to 0$, кут $\alpha(t)$ повороту зовнішньої рамки в усталеному режимі розраховується за такою формулою:

$$\alpha_{уст}(t) \approx -\frac{1}{H}\int_{t_{поч}}^{t}\left(M_{g,W} + M_{ін} + M_к + M_{пр}\right)dt = \\ = \frac{ml}{H}\int_{t_{поч}}^{t}\left(W_\xi - g_\xi\right)dt + \frac{1}{H}\int_{t_{поч}}^{t}\left(-H\cdot\omega_\xi\right)dt + \\ + \frac{B}{H}\int_{t_{поч}}^{t}\left(\dot{\omega}_\eta\cdot\cos\alpha + \dot{\omega}_\varsigma\cdot\sin\alpha\right)dt, \quad (7)$$

де $t_{поч}$ – час початку відліку даних; t – час кінця відліку даних.

Корисним складником сигналу в такому разі є число, що вираховується за такою формулою:

$$\alpha_{кор.уст}(t) = -\frac{m\cdot l}{H}\int_{t_{поч}}^{t} g_\xi dt. \quad (8)$$

Сигнал $\alpha(t)$ сприймається датчиком кута повороту зовнішньої рамки, встановленим на осі підвісу зовнішньої рамки, і є основним вихідним сигналом гіроскопічного датчика прискорення. З виходу датчика кута повороту зовнішньої рамки цей сигнал потрапляє до бортового комп'ютера для обробки.

Висновки. У статті пропонується використання як чутливого елемента КС озброєння однороторного інтегруючого гіроскопічного датчика прискорення, у якому підвищується стабільність статичного передавального коефіцієнта завдяки тому, що в такому разі статичний передавальний коефіцієнт визначається лише значенням маятниковості, осевим моментом інерції та частотою обертання ротора гіромотора. Оскільки значення маятниковості та осевого моменту інерції ротора гіромотора можливо стабілізувати лише підбором матеріалів з малим температурним розширенням, а стабільність значення частоти обертання ротора гіромотора можна забезпечити завдяки використанню якісного прецизійного синхронного гіромотора сукупно з блоком живлення стабілізованої частоти, то забезпечується отримання стабільного статичного передавального коефіцієнта гіроскопічного датчика.

Список літератури:

1. Безвесільна О.М., Ткачук А.Г. Система захисту приладового комплексу від ударних та вібраційних впливів : монографія. Київ : НПО «Пріоритети», 2018, 170 с.

2. Тарасенко А. Бронетанковая техника Украины: итоги, потенциал, перспективы. *Бронетанковая техника Украины*. 2008. №4/2008. С. 29–35.

3. Кузнєцов Б.І., Василець Т.Ю., Варфоломієв О.О. Система наведення і стабілізації озброєння легкоброньованих машин з нейромережевим регулятором. *Системи озброєння і військова техніка*. 2010. № 1 (13). Р. 112–116.

4. Chikovani V.V. Influence of shock on the vibration amplitude stabilization system of Coriolis vibratory gyroscope resonator. *Електроніка та системи управління*. № 4 (34). 2012р. С. 56–63.

5. Guerard, J. Quartz structures for Coriolis Vibrating Gyroscopes. *Phys. & Instrum. Dept.* 2014. С. 1–4.

6. Korobiichuk I. Mathematical model of precision sensor for an automatic weapons stabilizer system. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*. 2016. Vol. 89. P. 151–158.

7. Кудрявцев А.М. Электрооборудование бронетанковой техники. Электрооборудование боевых машин. Стабилизаторы вооружения 2Э36: устройство и обслуживание : учебное пособие. Рязань : РВВДКУ(ВИ), 2013, 144 с.

8. Безвесільна О.М., Ткачук А.Г. Будова та принцип роботи нового прецизійного п'єзоелектричного чутливого елемента системи стабілізації. *Науковий журнал «Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки»*. №3 (29). 2018. С.54–58.

Tkachuk A.H., Dobrzhanskyi O.O., Koval A.V., Bohdanovskyi M.V. DEVELOPMENT OF A NEW SENSITIVE ELEMENT OF THE ARMS STABILIZATION COMPLEX

The composition and purpose of the armored light armament stabilization complex are analyzed. The basis of the stabilization complex is the automatic control system, which ensures the light armored vehicles to maintain a certain angular orientation of the tower relative to the coordinate system, the axes of which are oriented in some way in space. It is established that the main content of the problems of optimization of the parameters of the sensing elements of the stabilization complex is to determine such parameters at which the values of the performance indicators of the complex will be the best. A new one-rotor integrating gyroscopic sensor is proposed as a sensitive element of the weapon stabilization complex. The structure of the new sensitive element is considered and the principle of its operation is described. It is established that the use of a single-rotor integrating gyroscopic acceleration sensor as a sensitive element increases the stability of the static transmission coefficient due to the fact that in this case, the static transmission coefficient is determined only by the value of the pendulum, the axial moment of inertia and the rotor. The location of the gyromotor, as well as the arrangement of the shaft of the internal suspension of the gyromotor so that the center of mass of the gyromotor is supported as close as possible to the axis of suspension of the outer frame, allows to be released from the components-interferences in the output signal of the gyroscopic acceleration sensor caused by centrifugal acceleration of the centers rotation of the outer frame together with the gyromotor about the axis of suspension of the outer frame. Fixing the gyromotor to the shaft of the internal suspension of the gyro motor with the help of elastic elements, which mainly work on the twist, allows to achieve that in the operating mode relative to the longitudinal axis of the shaft of the internal suspension of the gyromotor is not applied moments caused by the forces of dry friction. The presence of such moments of friction would necessarily cause the appearance of the corresponding interference components in the output signal of the gyroscopic acceleration sensor and would lead to the presence of a sensitivity threshold of the gyroscopic acceleration sensor due to the nonlinear nature of the forces of dry friction.

Key words: *stabilizer, sensitive element, error, regulation, gyro sensors, gyro motor.*

РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

УДК 621.396.96
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-1/06

Бойко Ю.М.
Хмельницький національний університет

Пятін І.С.
Хмельницький національний університет

ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ УМОВ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ І ДЕЦИМАЦІЇ СИГНАЛІВ НА ЕНЕРГЕТИКУ ЗАСОБІВ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ З ФАЗОВОЮ МАНІПУЛЯЦІЄЮ

При організації системи зв'язку одним із завдань є передача максимальної кількості інформації за заданий час з високою достовірністю при мінімальних енергетичних витратах. У статті приведені дослідження впливу умов інтерполяції і децимації сигналів у формуючих фільтрах цифрових систем зв'язку. Показано, що для досягнення BER = 10^{-4} при використанні модуляції QPSK і збільшенні коефіцієнту інтерполяції – децимації формуючих фільтрів з 2 до 50 необхідно збільшувати відношення (E_b/N_0) на 14 дБ. Найбільш енергетично вигідною є модуляція BPSK. При цьому збільшення коефіцієнтів інтерполяції і децимації з 10 до 50 потребує збільшення відношення (E_b/N_0) на 7 дБ для BER = 10^{-5}.

Введення у систему зв'язку кола символьної синхронізації дозволяє покращити енергетику засобів телекомунікацій з фазовою маніпуляцією. Метою синхронізації символів є створення N вибірок на виході узгодженого фільтра протягом кожного інтервалу символу, щоб одна з вибірок була вирівняна з максимальним відкриттям око-діаграми. Для досягнення ймовірності помилки на біт BER = 10^{-3} при використанні символьної синхронізації є можливість зменшити відношення сигнал/шум на вході приймача на 5 дБ порівняно з відсутністю синхронізації при коефіцієнті інтерполяції і децимації формуючих фільтрів рівним 2. При збільшенні коефіцієнту інтерполяції і децимації формуючих фільтрів до 50, зменшення відношення сигнал/шум на вході приймача складає 20 дБ. Щоб відновити вхідні дані, необхідно синхронізувати вихідні дані з дійсною тактовою прив'язкою, що вимагає кадрової синхронізації.

Кадрова синхронізація вирівнює вихідний вектор зі стабільною синхронізацією і відновлює вектори фіксованого розміру, коли неприпустимі символи відкидаються. Детектор за методом Гарднера має зворотний зв'язок, не пов'язаний з даними, що не залежить від відновлення фази носійної. Детектор за методом Мюллера-Міллер має зворотний зв'язок з прийняттям рішень, який вимагає попереднього відновлення фази носійної. Таким чином, введення системи символьної синхронізації дозволяє стабілізувати режим роботи цифрової системи зв'язку при використанні інтерполяції і децимації у формуючих фільтрах.

Ключові слова: *інтерполяція, децимація, формуючий фільтр, узгоджений фільтр, символьна синхронізація, детектор помилки синхронізації.*

Постановка проблеми. Переваги цифрового зв'язку обумовлені кращими характеристиками цифрових приймачів у порівнянні з аналоговими [1]. Цифрова система модуляції може досягати прийнятних рівнів продуктивності з набагато меншою потужністю передавача. При цьому можуть бути запропоновані багато різноманітних послуг. Найбільш важливі фактори, які впливають при переході на цифровий зв'язок, це гнучкість, безпека, більш висока завадостійкість і якість [2–4]. Ці переваги зростають при наявності кіл синхронізації, що побудовані на основі систем фазового автопідстроювання частоти. У безпровідних цифрових системах зв'язку дані передаються через обмежені по смузі канали. Обмеженість каналів пов'язана з жорстким дефіцитом частотного ресурсу. У зв'язку з цим підвищуються вимоги по обмеженню спектра сигналу передавача, а також підвищенню його спектральної ефективності.

У сучасних цифрових системах для обмеження спектра сигналу використовуються формуючі фільтри [3]. Це призводить до того, що при

обмеженні спектра сигналу відбувається його спотворення в області часу. Згладжування фронтів сусідніх прямокутних імпульсів впливає на їх розширення і взаємне перекриття. Цей ефект називається міжсимвольною інтерференцією (МСІ). Ефект МСІ призводить до зростання ймовірності помилки при прийманні сигналу і обмежує якість, швидкість і відстань передачі інформації.

Основне призначення фільтрів – формувачів імпульсу полягає в тому, щоб підтримувати сигнал у виділеній смузі частот, максимізуючи швидкість передачі даних і мінімізуючи помилки передачі. Імпульсний фільтр має наступні властивості: високе загасання в смузі затримування, щоб зменшити міжканальні завади; мінімізована МСІ для отримання низької частоти помилок по бітам. Інтерполяційні фільтри використовуються для збільшення частоти дискретизації [4, 5].

Стаття присвячена дослідженню впливу інтерполяції і децимації сигналів на енергетику цифрових систем зв'язку з фазовою маніпуляцією.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При демодуляції цифрових сигналів бажано, щоб частота дискретизації сигналу була кратна його швидкості маніпуляції (на кожний символ має припадати однакова кількість відліків) [3-6]. Однак частота дискретизації вхідного сигналу з АЦП, як правило, є фіксованою, а швидкість маніпуляції може змінюватися. Вирішенням цієї проблеми є передискретизація сигналу. При передискретизації відліки сигналу, які відповідають одній частоті дискретизації, обчислюються на основі відомих відліків сигналу, що відповідають іншій частоті дискретизації (обидві частоти дискретизації мають відповідати умовам Котельникова). Точне обчислення значення вихідного неперервного сигналу у певній точці виконується за виразом:

$$x(t) = \sum_i x(t_i) h(t - t_i)$$

де $x(t_i)$ i-ий відлік сигналу; t_i – момент часу, який відповідає цьому відліку; $h(t)$ – імпульсна характеристика відновлюваного фільтра; $x(t)$ – інтерпольоване значення сигналу в момент часу t.

Пряме обчислення нових відліків сигналу за вищенаведеними формулами потребує значних обчислювальних ресурсів і є небажаним для додатків реального часу. Зручним є застосування стандартних реалізацій цифрових фільтрів для передискретизації сигналів. Для передачі даних без МСІ необхідне використання ідеального фільтра Найквиста, амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) якого має прямокутну форму.

Розглянемо модель системи (рис. 1). Сигнал $s(t)$, що передається, може бути представлений як згортка дискретної послідовності інформаційних символів [1, 2, 4]:

$$s(t) = \sum_k a(k) p(t - kT_s),$$

де $a(k)$ – біти, що відповідають k-му символу (символам констеляційної діаграми), $p(t)$ – форма імпульсу, kT_s – тривалість імпульсу.

З виходу передавача сигнал надходить на формуючий фільтр із функцією передачі $H_T(f)$. У каналі зв'язку на корисний сигнал діє адитивний білий гаусівський шум $n(t)$. На приймачі сигнал надходить на узгоджений фільтр з частотною характеристикою $H_R(f)$.

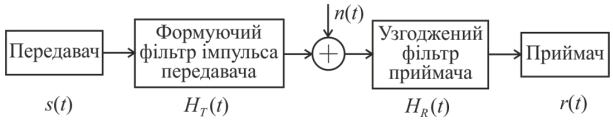


Рис. 1. Модель системи передавача і приймача

У загальному вигляді прийнятий сигнал можна представити виразом:

$$r(t) = \int_0^{T_s} h(t - \tau) s(\tau) \, \mathrm{d}\tau + n(t),$$

де $h(t)$ – імпульсна характеристика каналу. Тоді загальну передавальну функцію всієї системи можна виразити у наступному вигляді:

$$H(f) = H_T(f) H_R(f) H_C(f),$$

де $H_C(f)$ – передавальна функція каналу.

При реалізації формучих фільтрів в системах зв'язку використовують фільтри з кінцевою імпульсною характеристикою, в яких нескінченна імпульсна характеристика фільтра Найквісту усікається віконною (ваговою) функцією. Використання прямокутної вагової функції призводить до появи великих бічних пелюсток формуючого фільтра, низькій швидкості спаду АЧХ і пульсаціям в області пропускання фільтра. Для зменшення цих ефектів фронти АЧХ фільтра згладжують, апроксимуючи їх функцією піднесеного косинуса. При реалізації приймального пристрою системи зв'язку використовують узгоджену фільтрацію сигналу з частотною характеристикою фільтра у вигляді комплексно-спряженої функції з формуючим фільтром передавача [5]. Ця загальна частотна характеристика повинна задо-

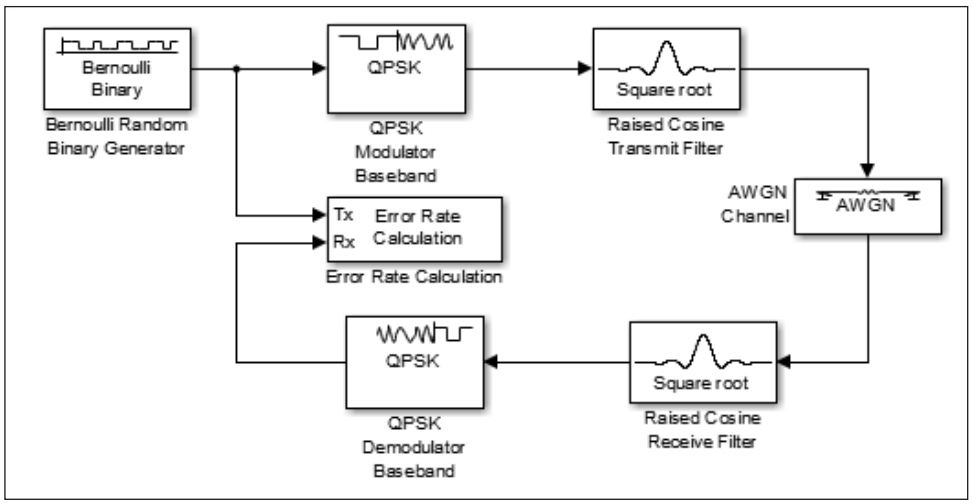


Рис. 2. Simulink-модель системи зв'язку з модуляцією QPSK

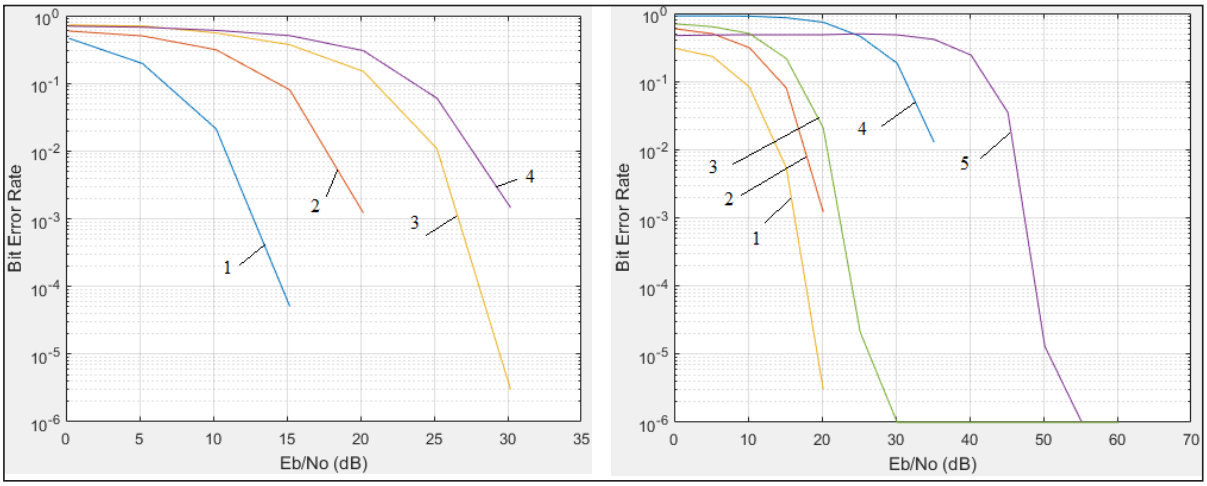


Рис. 3. Завадостійкість системи зв'язку з модуляцією QPSK і коефіцієнтами інтерполяції і децимації ($k_{i\text{-}d}$) формуючих фільтрів (1 – $k_{i\text{-}d}$ = 2; 2 – $k_{i\text{-}d}$ = 10; 3 – $k_{i\text{-}d}$ = 50; 4 – $k_{i\text{-}d}$ = 100)

Рис. 4. Залежність ймовірності помилки на біт (BER) від відношення сигнал-шум (E_b/N_0) при $k_{i\text{-}d}$ = 10, для модуляції (1 – BPSK; 2 – QPSK; 3 – DQPSK; 4 – QAM-16; 5 – DBPSK)

вольняти вимогам Найквиста. Тому при реалізації пристроїв зв'язку на передавальній і приймальній частині в основному використовують фільтри з характеристикою корінь з піднесеного косинуса, які разом мають частотну характеристику фільтра Найквісту, що дозволяє усунути МСІ при прийманні інформації.

Simulink-модель системи зв'язку з модуляцією QPSK, що використовує формуючі фільтри з інтерполяцією і децимацією, приведена на рис. 2.

На рис. 3 приведені результати дослідження залежності ймовірності помилки на біт (BER) від відношення сигнал-шум (E_b/N_0) при різних коефіцієнтах інтерполяції і децимації ($k_{i\text{-}d}$) узгоджених формуючих фільтрів для модуляції QPSK.

На рис. 4 і рис. 5 приведені результати дослідження залежності ймовірності помилки на біт (BER) від відношення сигнал-шум (E_b/N_0) при коефіцієнті інтерполяції і децимації ($k_{i\text{-}d}$) узгоджених формуючих фільтрів рівним 10 і 50, для різних видів модуляції. Досліджені Simulink-моделі цифрових систем зв'язку з різними видами модуляції і різними коефіцієнтами інтерполяції і децимації ($k_{i\text{-}d}$) формуючих фільтрів.

Для досягнення BER = 10^{-4} при використанні модуляції QPSK і збільшенні коефіцієнту інтерполяції – децимації формуючих фільтрів з 2 до 50 необхідно збільшувати відношення (E_b/N_0) на 14 дБ. Найбільш енергетично вигідною є модуляція BPSK. При цьому збільшення коефіцієнтів інтерполяції і децимації з 10 до 50 потребує збільшення відношення (E_b/N_0) на 7 дБ для BER = 10^{-5}.

Постановка завдання. Невід'ємною частиною сучасних засобів телекомунікацій є пристрої

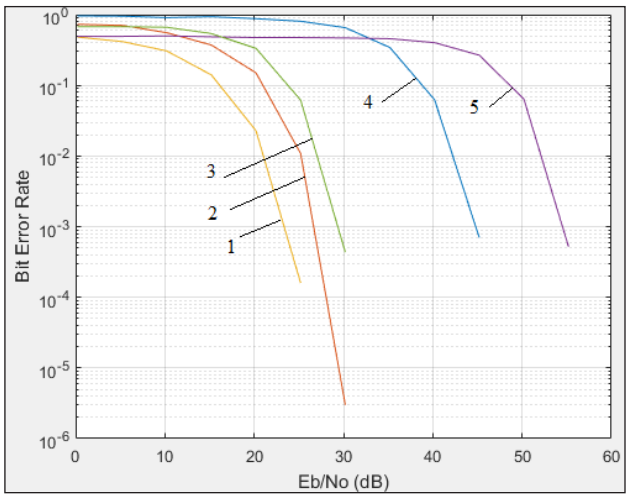


Рис. 5. Залежність ймовірності помилки на біт (BER) від відношення сигнал-шум (E_b/N_0) при $k_{i\text{-}d}$ = 50, для різних видів модуляції (1 – BPSK; 2 – QPSK; 3 – DQPSK; 4 – QAM-16; 5 – DBPSK)

оброблення сигналів. Використання частотних та фазових методів маніпуляції, необхідність узгодження швидкостей та спектрів сигналів з можливостями блоків цифрового оброблення, утворює необхідність проведення процедур інтерполяції та децимації сигналів. В цьому випадку виникає потреба оцінювання впливу таких процедур на основні показники блоків оброблення сигналів і зокрема на відношення сигнал/шум.

Для дослідження пливу умов інтерполяції і децимації сигналів на енергетику засобів телекомунікацій потрібно використати фазові методи маніпуляції. Оцінювання провести шляхом визначення енергетичного виграшу у випадку зміни коефіцієнтів інтерполяції та децимації узгоджених формуючих фільтрів. Потрібно дати рекомендації щодо умов зміни коефіцієнтів та використання системи символьної синхронізації для стабілізації режимів роботи цифрової системи зв'язку при використанні інтерполяції і децимації у формуючих фільтрах.

Вихідна інформація для оцінювання впливу умов інтерполяції і децимації сигналів на енергетику засобів телекомунікацій з фазовою маніпуляцією буде представлена графіками завадостійкості (залежність BER від E_b/N_0) та оцінюванням якості обробки сигналів за констеляційними діаграмами (сигнальні сузір'я: Scatter Plot). Потрібно оцінити залежності ймовірності помилки на біт (BER) від відношення сигнал-шум (E_b/N_0) за різних схем детектора помилки синхронізації та коефіцієнтів інтерполяції (децимації) у формуючих фільтрах.

Синхронізація символів у цифрових системах зв'язку

Символьна синхронізація – це процес оцінки тактового сигналу приймача, і вирівнювання його по фазі і частоті за тактовими імпульсами передавача. Для детекторів з узгодженим фільтром тактовий сигнал використовується для визначення моментів, коли вихідний сигнал узгодженого фільтра повинен бути дискретизований. Нехай прийнятий сигнал визначається виразом [6, 7]:

$$r(t) = G_a \sum_k a(k)\, p(t - kT_s - \tau) + w(t)\,,$$

де $a(k)$ – k-й прийнятий символ сигналу; T_s – період тривалості символу; τ – невідома затримка за часом; $p(t)$ – форма імпульсу одиничної енергії, що діє на інтервалі $-L_pT_s \le t \le L_pT_s$; G_a – сукупність всіх підсилень і втрат за амплітудою, що має сигнал на шляху від передавача до приймача; $w(t)$ – адитивний білий гаусівський шум. Отриманий сигнал пропускається через узгоджений фільтр, імпульсний відгук якого дорівнює $p(-t)$. Вихідний сигнал узгодженого фільтра $r(t)$ може бути представлений виразом:

$$r(t) = G_a \sum_k a(k) r_p(t - kT_s - \tau) + v(t)\,,$$

де $r_p(u)$ – автокореляційна функція імпульсу, що визначається наступним чином:

$$r_p(u) = \int_{-L_pT_s}^{L_pT_s} p(t)\, p(t-u)\, dt$$

де $v(t) = w(t) \cdot p(-t)$ являє собою шум на виході узгодженого фільтра

У ідеалі вихідний сигнал узгодженого фільтра повинен бути дискретизований при $t = kT_s + \tau$ для виявлення. Це легко, якщо τ відомий. Коли τ не відомий, це має бути оцінено за допомогою кола синхронізації символів. Використовуючи оцінку $\hat{\tau}$, надану синхронізатором, вихідний сигнал узгодженого фільтра при $t = kT_s + \hat{\tau}$ буде визначатись виразом:

$$x(kT_s + \hat{\tau}) = G_a a(k) r_p(-\tau_e) + G_a \sum_{m \ne k} a(m) r_p((k-m)T_s - \tau_e)\,,$$

де $\tau_e = \tau - \hat{\tau}$ – помилка синхронізації.

Коли узгоджений фільтр реалізований як фільтр з дискретним часом, потрібно аналого-цифровий перетворювач (АЦП), що передує узгодженому фільтру. АЦП формує T-рознесені вибірки зі швидкістю N вибірок/символ. n-й відлік цього сигналу може бути представлений як:

$$r(nT) = G_a \sum_m a(m)\, p(nT - mT_s - \tau) + w(nT)\,,$$

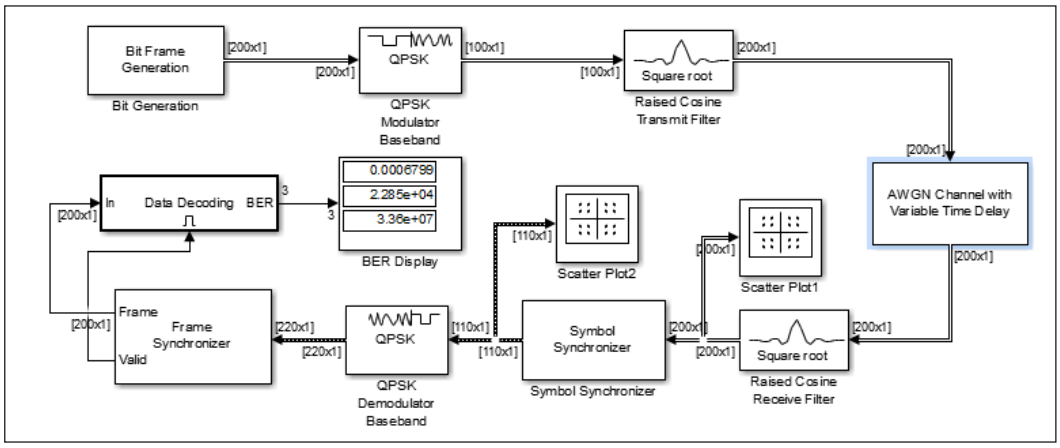


Рис. 6. Simulink-модель системи зв'язку з QPSK модуляцією і символьною синхронізацією

де $a(k)$ – прийнятий символ сигналу; T_s – період тривалості символу; τ –невідома затримка за часом; $p(nT)$ – вибірки $p(t)$ імпульсу одиничної енергії з обмеженою пропускною здатністю, що діє на інтервалі $-L_pT_s \le t \le L_pT_s$; G_a – сукупність всіх підсилень і втрат за амплітудою, що має сигнал на шляху від передавача до приймача; $w(nT)$ – вибірки адитивного білого гаусівського шуму з обмеженою пропускною здатністю. Передбачається, що символи даних некорельовані:

$$E\{a(k)a(m)\} = E_{avg}\delta(m-k),$$

де E_{avg} – середня енергія символу. Прийнятий сигнал обробляється узгодженим фільтром, імпульсна характеристика якого складається з вибірок з оберненою в часі формою імпульсу [7]. Сигнал на виході узгодженого фільтра визначається виразом:

$$x(nT) = \frac{G_a}{T}\sum_m a(m)r_p(nT - mT_s - \tau) + v(nT).$$

Метою синхронізації символів є створення N вибірок на виході узгодженого фільтра протягом кожного інтервалу символу, щоб одна з вибірок була вирівняна з максимальним відкриттям око-діаграми [8–10]. Широко використовуваним критерієм оптимізації при отриманні систем синхронізації і фазового відновлення є критерій максимальної правдоподібності.

Приймач містить: узгоджений фільтр; коло синхронізації носійної частоти; коло символьної синхронізації; синхронізацію за фреймами; демодулятор. Simulink-модель системи зв'язку з модуляцією QPSK і символьною синхронізацією приведена на рис. 6.

Блоки діаграм сузір'я Scatter Plot1 і Scatter Plot2 показують вплив помилки синхронізації на передане сузір'я QPSK [10]. Блок Symbol Synchronizer коригує зміщення тактового сигналу між передавачем і приймачем. Залежно від величини помилки синхронізації вихідні розміри синхронізатора символів можуть відрізнятися, оскільки синхронізатор символів повертає вектор, що містить 99, 100 або 101 вибірку для вхідного вектора з 100 вибірок. Щоб відновити вхідні дані, необхідно синхронізувати вихідні дані з дійсною тактовою прив'язкою, що вимагає кадрової синхронізації. Кадрова синхронізація вирівнює вихідний вектор зі стабільною синхронізацією і відновлює вектори фіксованого розміру, коли неприпустимі символи відкидаються. Для використаного відношення сигнал/шум у 20 дБ результуючий коефіцієнт помилок по бітам становить менше 10^{-3}, що свідчить про відновлення сигналу.

Блок синхронізатора символів коригує зміщення тактових імпульсів приймача [9]. Блок приймає комплексний вхідний сигнал і повертає комплексний вихідний сигнал і реальну оцінку помилки синхронізації. Вихідні дані Sym мають змінний розмір з максимальними розмірами $(N_{samp}/N_{sps})\cdot 1{,}1$, де N_{samp} – кількість вибірок; N_{sps} – кількість вибірок на символ. Вихідні дані, які перевищують цю межу, відкидаються. Вихід Err показує зміну помилки синхронізації.

Діаграма сузір'я перед синхронізатором символів показує вплив змінної часової помилки [10]. Оскільки помилка синхронізації змінюється з часом, сузір'я коливається між пошкодженим і вірним станами. Діаграма Scatter Plot2 показує, що синхронізатор усуває вплив помилки синхронізації.

Символьна синхронізація заснована на застосуванні системи фазового автопідстроювання

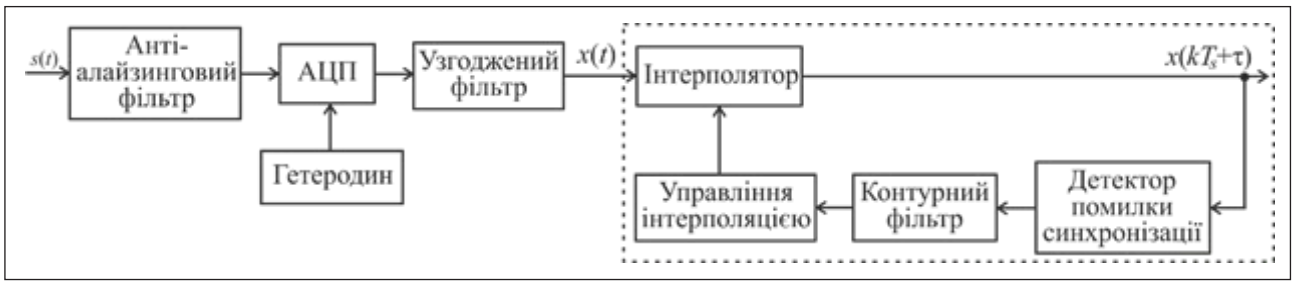


Рис. 7. Структурна схема кола символьної синхронізації

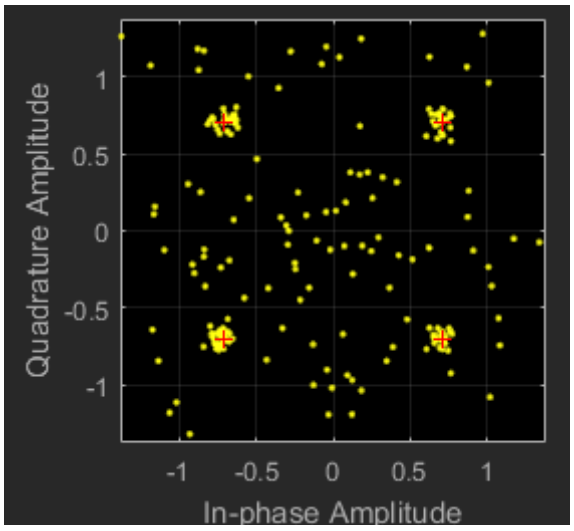


Рис. 8. Сигнальне сузір'я Scatter Plot1

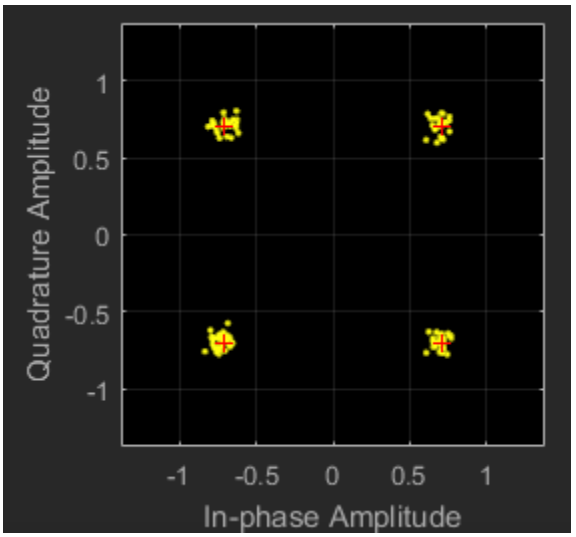


Рис. 9. Сигнальне сузір'я Scatter Plot2

частоти (ФАПЧ), що складається з чотирьох компонентів [4, 11]: детектор помилок синхронізації (TED); інтерполятор; контролер інтерполяції; контурний фільтр. Структурна схема кола символьної синхронізації приведена на рис. 7.

На рисунку використані позначення: $x(t)$ – прийнятий сигнал вибірки після узгодженого фільтра; $x(kT_s+\tau)$ – символьний сигнал, скоригований з урахуванням зсуву тактового сигналу між передавачем і приймачем.

Об'єкт SymbolSynchronizer підтримує чотири типи виявлення помилок синхронізації: перетин нуля, вікно на «випередження-затримку», Гарднера і оцінка Мюллера-Міллера [11]. У таблиці $x(t)$ і $y(t)$ є вихідними сигналами синфазного і квадратурного узгодженого фільтра, відповідно. Коефіцієнти a_0 і a_1 є оцінками $x(kT_s+\tau)$ і $y(kT_s+\tau)$, де τ – передбачувана помилка синхронізації. Ці оцінки зроблені шляхом застосування функції знаку до синфазних і квадратурних компонентів і використовуються тільки для режимів TED, орієнтованих на прийняття рішень.

Затримка оцінюється за вибірками на виході узгодженого фільтра, які асинхронні з частотою символів [12]. Оскільки підсумкові вибірки не вирівняні по межах символів, для «переміщення» вибірок використовується інтерполятор. Оскільки затримка невідома, інтерполятор повинен бути адаптивним. Крім того, оскільки інтерполяційний поліном являє собою лінійну комбінацію доступних вибірок, його можна розглядати як вихідний сигнал фільтра. Отже, об'єкт System використовує кусково-параболічний інтерполятор зі структурою Фарроу і коефіцієнтом α, рівним 1/2.

Управління інтерполяцією надає інтерполятору індекс базової точки і дробовий інтервал, де індекс базової точки являє собою індекс вибірки, найближчий до інтерполяційного полінома [12].

Використовується петлевий фільтр з пропорційним інтегратором у формі, показаній нижче. Пропорційне підсилення K_1 і підсилення інтегратора K_2 розраховуються за допомогою виразів:

$$K_1 = \frac{-4\zeta\Theta}{\left(1+2\zeta\Theta+\Theta^2\right)K_p},$$

$$K_2 = \frac{-4\Theta^2}{\left(1+2\zeta\Theta+\Theta^2\right)K_p},$$

де N, ζ, Θ, K_p відповідають властивостям кола фазового автопідстроювання час-

тоти SamplesPerSymbol, DampingFactor, NormalizedLoopBandwidth і DetectorGain відповідно.

Залежність ймовірності помилки на біт (BER) від відношення сигнал-шум (E_b/N_0) при відсутності і наявності символьної синхронізації для модуляції QPSK приведено на рис. 8 і рис. 9.

Блоки Scatter Plot1 і Scatter Plot2, що відображають сигнальне сузір'я до та після кола символьної синхронізації, показують вплив помилки синхронізації на передане сузір'я QPSK [12]. Ця помилка синхронізації вводиться як змінна затримка в діапазоні від 0 до 0,9 вибірок. Блок Symbol Synchronizer коригує перекіс тактового сигналу між передавачем і приймачем з однією носійною, вирівнюючи вихідні дані з дійсним еталонним тактовим сигналом. Залежно від величини помилки синхронізації вихідні розміри синхронізатора символів можуть відрізнятися.

Коефіцієнт помилок по бітам (BER) обчислюється блоком декодування даних. Усередині цього блоку вхідні дані регенеруються, а не витягуються з блоку генерації бітів, оскільки BER розраховується тільки для дійсних кадрів. Детектор преамбул знаходить початок пакета в демодульованому бітовому потоці. Синхронізатор кадрів використовує цей початковий індекс для вирівнювання потоку бітів уздовж правильних кордонів кадру, а також надає дійсний індикатор кадру. Сигнал відновлюється правильно, оскільки значення BER менше 10^{-3} для використовуваного відношення сигнал/шум 20 дБ. При цьому значення Error Vector Magnitude (EVM) до блоку синхронізації (сигнальне сузір'я Scatter Plot1) дорівнює 45,9%, що має неприпустимо високе значення.

Детектор помилок синхронізації видає сигнал помилки e, який пов'язано з різницею між невідомим часовим зсувом τ і оцінкою зсуву в області часу $\hat{\tau}$. ФАПЧ коригує оцінку $\hat{\tau}$ так, щоб вона була близька до часового зсуву τ, і зводить сигнал помилки до нуля. Логарифмічне відношення правдоподібності L диференціюється по відношенню до τ_e для отримання сигналу помилки і рівняння $dL/d\tau_e = 0$ розв'язується за допомогою ФАПЧ. У якості детектора помилок синхронізації найчастіше використовують детектор Гарднера і детектор Мюллера-Міллера. Залежність ймовірності помилки на біт (BER) від відношення сигнал-шум (E_b/N_0) при різних схемах детектора помилки синхронізації та коефіцієнтами інтерполяції і децимації 2 та 50 у формуючих фільтрах для модуляції QPSK приведено, відповідно, на рис. 10 і рис. 11.

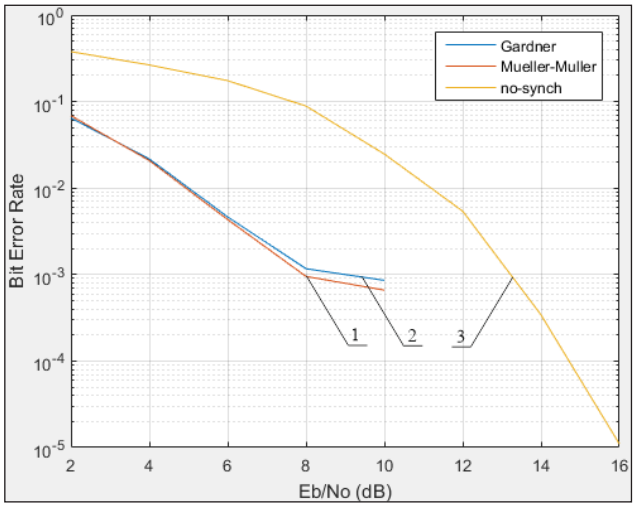


Рис. 10. Залежність BER від E_b/N_0 системи зв'язку (рис. 6) з модуляцією QPSK і $k_{i\text{-}d} = 2$ (1 –детектор Мюллера-Міллера; 2 –детектор Гарднера; 3 – відсутність символьної синхронізації)

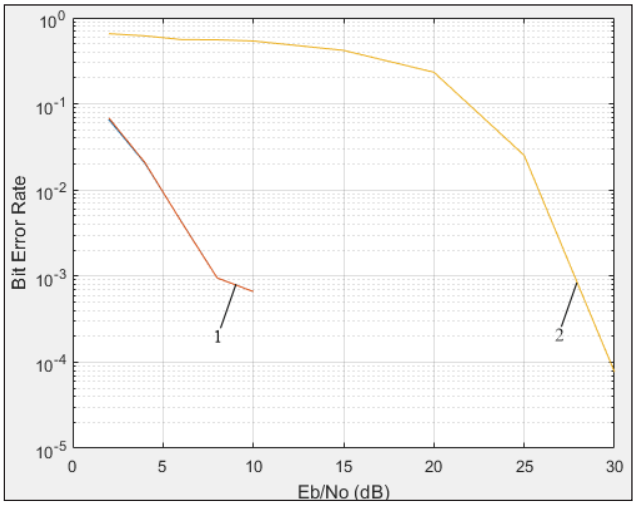


Рис. 11. Залежність BER від E_b/N_0 системи зв'язку (рис. 6) з модуляцією QPSK і $k_{i\text{-}d} = 50$ (1 – детектор Гарднера; 2 – відсутність символьної синхронізації)

Детектор за методом Гарднера має зворотний зв'язок, не пов'язаний з даними, що не залежить від відновлення фази носійної [4, 11]. Він підходить як для систем з основною смугою частот, так і для систем з модульованою носійною. При наявності шуму продуктивність цього методу відновлення синхронізації поліпшується у міру збільшення надлишкової смуги пропускання (коефіцієнту згладжування у випадку фільтра з характеристикою піднятого косинусу).

Детектор за методом Мюллера-Міллера має зворотний зв'язок з прийняттям рішень, який вимагає попереднього відновлення фази носійної. Коли вхідний сигнал має імпульси Найквиста (на виході фільтра з характеристикою піднятого косинусу), цей метод не має власних шумів.

При наявності шуму продуктивність методу Мюллера-Міллера поліпшується зі зменшенням коефіцієнта надлишкової ширини імпульсу, що добре для вузькосмугових систем зв'язку. Блок синхронізатора символів коригує асиметрію тактових імпульсів і відновлює синхронізацію фреймів системи QPSK, яка має змінну помилку синхронізації [13]. Для відношення сигнал/шум у 20 дБ, результуючий коефіцієнт помилок по бітам становить менше 10^{-3}, що свідчить про відновлення сигналу.

Висновки. Для досягнення BER=10^{-4} при використанні модуляції QPSK і збільшенні коефіцієнту інтерполяції – децимації формуючих фільтрів з 2 до 50 необхідно збільшувати відношення (E_b/N_0) на 14 дБ. Найбільш енергетично вигідною є модуляція BPSK. При цьому збільшення коефіцієнтів інтерполяції і децимації з 10 до 50 потребує збільшення відношення (E_b/N_0) на 7 дБ для BER=10^{-5}.

Для досягнення ймовірності помилки на біт BER=10^{-3} при використанні символьної синхронізації є можливість зменшити відношення сигнал/шум на вході приймача на 5 дБ у порівнянні з відсутністю синхронізації при коефіцієнті інтерполяції і децимації формуючих фільтрів рівним 2. При збільшенні коефіцієнту інтерполяції і децимації формуючих фільтрів до 50, зменшення відношення сигнал/шум на вході приймача складає 20 дБ. Таким чином, введення системи символьної синхронізації дозволяє стабілізувати режим роботи цифрової системи зв'язку при використанні інтерполяції і децимації у формуючих фільтрах.

Список літератури:

1. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение/ изд. 2-е, испр.; пер. с англ. Москва : Вильямс, 2003. 1104 с.

2. Прокис Д. Цифровая связь / под ред. Д.Д. Кловского. Москва : Радио и связь, 2000. 800 с.

3. Бойко Ю.М., І.С. Пятін. Особливості квазікогерентної обробки сигналів у засобах телекомунікацій з частотною маніпуляцією. *Телекомунікаційні та інформаційні технології.* 2018. № 1 (58). С. 27–39.

4. Бойко Ю.М. *Теоретичні аспекти підвищення завадостійкості й ефективності обробки сигналів в радіотехнічних пристроях та засобах телекомунікаційних систем за наявності завад*: монографія / Ю.М. Бойко, В.А. Дружинін, С.В. Толюпа. Київ, 2018. 227 с.

5. Ting-An C, Kuan-Ting L., Guan-Cheng C., Shu-Hui C., Jar-Ferr Y. Super resolution using trilateral filter regression interpolation. *2017 IEEE 2nd International Conference on Signal and Image Processing (ICSIP)*: Proceedings 2017 IEEE 2nd International Conf. (Singapore, 4-6 Aug. 2017). Singapore, 2017. P. 86-89. DOI: 10.1109/SIPROCESS.2017.8124511.

6. Zhang L., Zhiming H. A modified timing synchronization algorithm for QPSK in digital receiver. *Artificial Intelligence, Management Science and Electronic Commerce (AIMSEC)*: Proceedings 2011 2nd International Conf. (Dengleng, China, 8-10 Aug. 2011). Dengleng, 2011. P. 1–4. DOI: 10.1109/AIMSEC.2011.6011207.

7. Rai A., Kumar V. N. Wideband acquisition technique for QPSK demodulator. *Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT)*: Proceedings 2016 IEEE International Conf. (Bangalore, India, 20-21 May 2016). Bangalore, 2016. P. 1–6. DOI: 10.1109/RTEICT.2016.7807869.

8. Cheng C.C., Hikmet S., Sezginer S., Su Yu.T. Enhanced Spatial Modulation With Multiple Signal Constellations. *IEEE Transactions on Communications*. 2015. Vol. 63, Iss. 6. P. 2237–2248. DOI: 10.1109/TCOMM.2015.2422306.

9. López-Riera A., Águila-López F., et al. Joint Symbol and Chip Synchronization for a Burst-Mode-Communication Superregenerative MSK Receiver. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*. 2017. Vol. 64, Iss. 5. P. 1260–1269. DOI: 10.1109/TCSI.2016.2636022.

10. Boiko J., Tolubko V., Barabash O., Eromenko O., Havrylko Y. Signal processing with frequency and phase shift keying modulation in telecommunications. *Telkomnika* (*Telecommunication Computing Electronics and Control*). 2019. Vol. 17, Iss. 4. P. 2025–2038. DOI: http://dx.doi.org/10.12928/telkomnika.v17i4.12168.

11. Chen Q., Li M. Modified Gardner algorithm for bit synchronization in high-order QAM. *Computational Problem-Solving (ICCP)*: Proceedings 2013 International Conf. (Jiuzhai, China, 26-28 Oct. 2013). Jiuzhai, 2013. P. 1–6. DOI: 10.1109/ICCPS.2013.6893575.

12. Boiko J., Kovtun I., Petrashchuk S. Productivity of telecommunication systems with modified signal-code constructions. *Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T)*: Proceedings 2017 IEEE 4th International Scientific-Practical Conf. (Kharkov, Ukraine, 10-13 Oct. 2017). Kharkov, 2017. P. 173–178. DOI: 10.1109/INFOCOMMST.2017.8246374.

13. Boiko J., Eromenko O., Kovtun I., Petrashchuk S. Quality Assessment of Synchronization Devices in Telecommunication. *Electronics and Nanotechnology (ELNANO)*: Proceedings 2019 IEEE 39th International Conf. (Kyiv, Ukraine, 16-18 April 2019). Kyiv, 2019. P. 694–699. DOI: 10.1109/ELNANO.2019.8783438.

Boiko J.M., Pyatin I.S. EVALUATION OF THE INFLUENCE INTERPOLATION AND DECIMATION CONDITIONS ON THE ENERGY GAIN IN MEANS TELECOMMUNICATIONS WITH PHASE SHIFT KEYING

When organizing a communication system, one of the tasks is to transfer the maximum amount of information in a given time with high reliability with minimal energy costs. The article presents studies of the influence of the conditions of interpolation and decimation of signals in the shaping filters of digital communication systems. It is shown that in order to achieve BER = 10^{-4} when using QPSK modulation and increasing the interpolation coefficient - decimation of the forming filters from 2 to 50, it is necessary to increase the ratio (E_b/N_0) by 14 dB. The most energetically beneficial is the modulation of BPSK. At the same time, an increase in the interpolation and decimation coefficients from 10 to 50 requires an increase in the ratio (E_b/N_0) by 7 dB for BER = 10^{-5}.

Introduction to the communication system of the symbolic synchronization circuit allows improving the energy of telecommunications with phase shift keying. The purpose of symbol synchronization is to create N samples at the output of a matched filter during each symbol interval so that one of the samples is aligned with the maximum opening of the eye pattern. To achieve the probability of error per bit BER = 10^{-3} when using symbol synchronization, it is possible to reduce the signal-to-noise ratio at the receiver input by 5 dB compared to the absence of synchronization with the interpolation and decimation coefficient of the shaping filters equal to 2.

When the interpolation and decimation coefficient of the shaping filters is increased filters to 50, reducing the signal-to-noise ratio at the receiver input is 20 dB. To restore the original data, it is necessary to synchronize the output with a real clock reference, which requires frame synchronization. Frame synchronization aligns the output vector with stable synchronization and restores fixed size vectors when invalid characters are discarded. The Gardner detector has feedback that is not related to the data, does not depend on the recovery of the carrier phase. The Miller-Muller detector has feedback with decision making, which requires preliminary restoration of the carrier phase. Thus, the introduction of a symbol synchronization system makes it possible to stabilize the operation mode of a digital communication system using interpolation and decimation in formative filters.

Key words: *interpolation, decimation, shaping filter, matched filter, symbol synchronization, timing error detector.*

УДК 004.932.2
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-1/07

Варенко А.М.
Національний університет «Львівська політехніка»

АНАЛІЗ ТА ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ ПОКРАЩАННЯ КОНТРАСТУ ЗОБРАЖЕНЬ

Починаючи з кінця минулого століття з низки причин почали набувати широкої популярності цифрові відеокамери. Заради збільшення попиту на відеокамери зменшили собівартість, що істотно вплинуло на якість відео та фото. Дещо покращити якість можна, використовуючи різного роду фільтри: високочастотний, низькочастотний, медіанний тощо та комбінуючи їх. Це дозволяє виділити основні об'єкти та деталі в зображенні і забрати шуми чи зайві деталі. Завдяки цьому можна покращити якість відео та фото, отриманих з використанням відеокамери, коли використати кращу оптичну матрицю чи додати яскравості з використанням додаткових джерел світла не є можливим.

Поширеною є проблема покращення візуальної якості зображення з різними цілями: знаходження рухомого об'єкта, зменшення шуму, виділення об'єкта на фоні та в інших цілях. Також збільшення контрасту зображення може бути використано і зловмисниками з метою шифрування таємного вмісту та передача такого. Внесення змін у зображення рідко можна виявити без використання додаткової роботи з зображенням. Натомість більшу частину змін чудово помітно на гістограмі зображення, яке піддалося змінам. Незважаючи на те, що було запропоновано ряд алгоритмів для виявлення закодованого в зображенні вмісту, надійність методів при використанні обробок різних типів зображення є незадовільною.

У цій статті здійснено огляд літературних джерел, автори яких пропонують два варіанти отримання оригінального зображення для подальшого виявлення прихованого вмісту чи просто отримання першопочаткового оригінального зображення з використанням згорткових нейронних мереж різних типів, гамма-корекції та фільтра високих частот; проведено аналіз ефективності кожного з методів та сфери застосування цих методів. За допомогою розробленого на мові програмування Java програмного забезпечення здійснено аналіз довільного зображення з власної бібліотеки зображень, побудовано гістограми для кожного зі складових кольорів зображення; проведено обробку кольорового зображення з використанням високочастотного фільтру; проведено обробку зображення згортковими штучними нейронними мережами двох типів.

Ключові слова: *згорткові нейронні мережі, глибоке навчання, піксель, зображення, контраст.*

Постановка проблеми. З виходом у 1999 році відеокамери Sony 8, яка мала порівняно низький ціновий поріг, почали набувати попиту цифрові відеокамери, що і спричинило стрімкий ріст популярності цифрового відео. З цього часу почало зростати співвідношення ціна/якість для цифрових відеокамер. З'явилася велика кількість хороших цифрових відеокамер за доступні для широкого загалу користувачів ціни.

Вже з початку 2002 року ситуація змінилася. Маркетологи у багатьох компаніях-виробниках цифрових відеокамер заявили, що можна привернути увагу потенційного клієнта не за рахунок хорошої якості зйомки (яку багатьом користувачам було важко відрізнити від менш якісної), а за рахунок покращення параметрів відеокамер, які відразу ж впадають в очі широкому колу користувачів. При цьому було байдуже, чи мали ці параметри практичний сенс, чи ні. У зв'язку з цим з'явилася необхідність розробки якісного програмного забезпечення, яке дозволить покращувати візуальну якість зображення, отриманого за допомогою цифрової відеокамери. Таке покращення називають контрастним.

Контрастне покращення також використовується деякими зловмисниками з метою отримання візуально непомітних змін у зображені. Зазвичай зображення, які пройшли контрастне підвищення, це зображення, в яких зловмисник змінив значення пікселів для приховування закодованого вмісту. Тому важливо розробити ефективний алгоритм виявлення контрастного покращення для оцінки автентичності та цілісності зображення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Зусиллями досліджень минулого десятиліття було запропоновано ряд схем [1–9] для виявлення зображень зі збільшеним контрастом за рахунок використання атрибутів контрастного підсилення. Стамм та інші [1, 2, 3] виявили, що контрастне посилення вводить піки і прогалини в гістограму зображення, що призводить до появи в гістограмі зображень специфічних значень. Виходячи з цього явища, автори використали технологію перетворення Фур'є для

виявлення контрастних зображень. Лін та інші [6] виявили, що контрастне посилення порушило б міжканальну кореляцію і виміряли таку кореляцію, щоб відрізнити оригінальні та зображення зі збільшеною контрастністю. Дотримуючись вищенаведених схем, Лін та співавтори [7] запропонували два відповідно вдосконалених методи. Зокрема, була використана квадратична вагова функція для заміни алгоритму Стамма, і лінійно-порогова стратегія була застосована до методу Ліна [6]. Крім того, для відновлення зображення розробляються алгоритми [10–13] оцінювання параметрів зображень зі зміненою контрастністю, які ґрунтуються на припущенні, що контрастне посилення відоме.

Деякі дослідники пропонують алгоритми [14–19], які є сильнішими, ніж існуючі криміналістичні детектори, але вимагають складних схем. Као та інші [15] стерли піки і пробіли гістограми, що виникли в результаті підсилення контрасту, шляхом додавання гаусового шуму. Барні та співавтори [14] запропонували метод на основі гістограм. Спочатку вони побудували базу даних гістограм оригінальних зображень, а потім шукали співставлені гістограми контрастного зображення з вихідної бази даних.

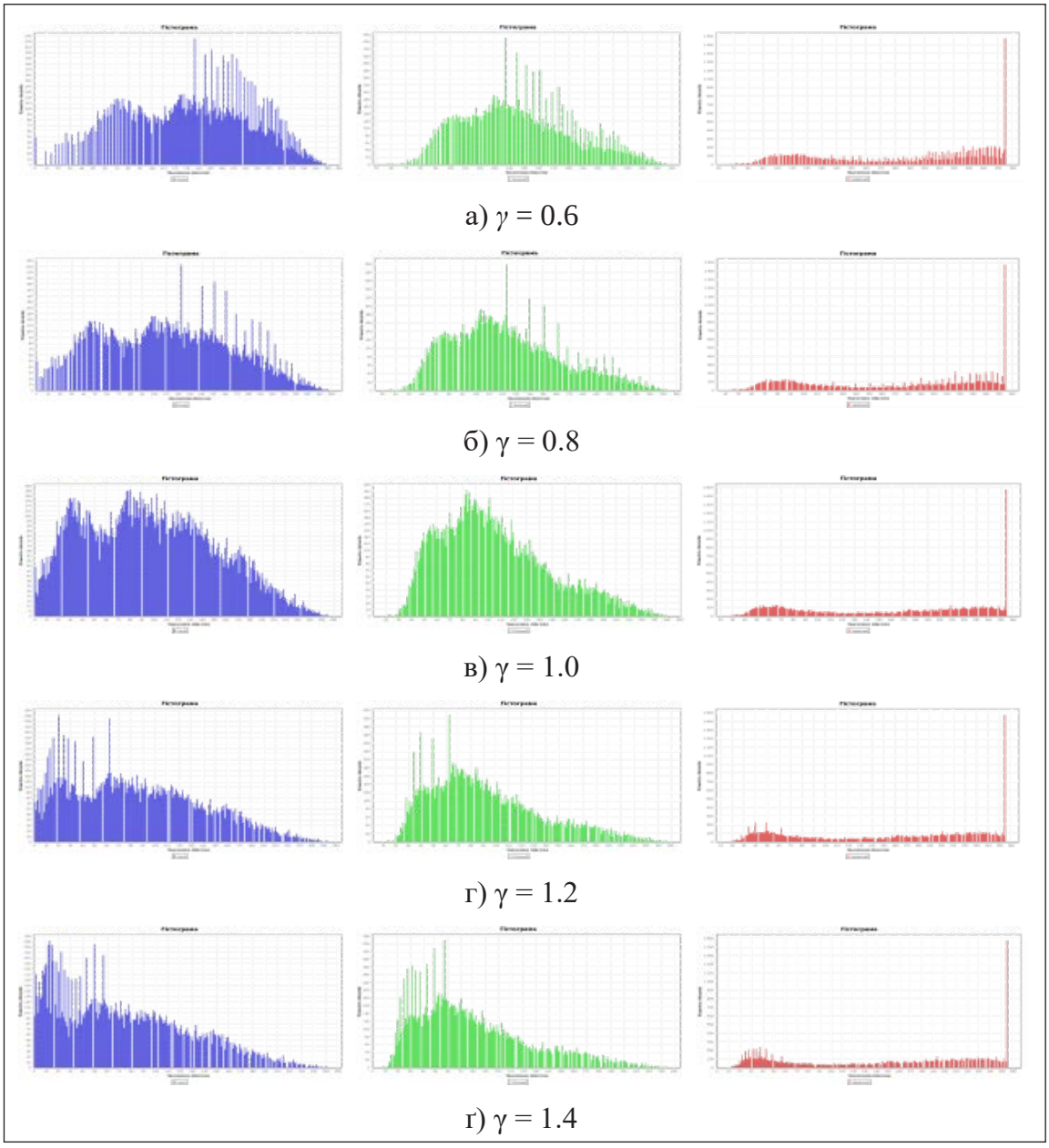


Рис. 1. Гістограми кольорового зображення при різних значеннях гамма-корекції: а) 0.6, б) 0.8, в) 1.0 (оригінального зображення), г) 1.2 та ґ) 1.4. Зліва показано гістограму для пікселів синього кольору, посередині – для пікселів зеленого кольору і, відповідно, справа – для пікселів червоного кольору

Гістограма модифікованого зображення була співставлена з вихідною гістограмою, яка отримана із зображення хорошої візуальної якості.

JPEG стиснення, як широко використовувана попередня процесія, має великий вплив на ефективність виявлення збільшеної контрастності. Останнім часом пропонуються алгоритми, які можуть визначити підвищену контрастність [9] і стиснення JPEG [4] та відновити оригінальне зображення. На жаль, вищезазначені алгоритми все ще не досягають задовільних показників. Крім того, вони не можуть одночасно визначати збільшення контрастності та стиснення JPEG і відновити таке зображення.

Янг та співавтори [20] пропонують надійні алгоритми виявлення контрастності, засновані на згорткових нейронних мережах, щоб протистояти як збільшеній контрастності, так і JPEG стисненню. Автори [22] теоретично проаналізували надійність і стабільність ознак для зображень та їх гістограм. На основі цього для різних областей автори [22] досліджували два типи архітектур згорткових нейронних мереж для зображень з підвищеною контрастністю: піксельно-інтервальні згорткові нейронні мережі (pixel-domain convolutional neural networks, P-CNN) і згорткові нейронні мережі з інтервальною гістограмою (histogram-domain convolutional neural networks, H-CNN). Зокрема, для P-CNN мереж фільтр високих частот застосували для зменшення впливу вмісту зображення і збереження балансу розподілу даних у взаємодії з нормалізацією групи [20]. Крім того, кількість шарів штучної нейронної мережі експериментально розроблена для вивчення кращого представлення ознак у зображеннях з контрастним посиленням. Гістограма подається у згорткові нейронні мережі для побудови H-CNN. На рис. 1 показано приклад таких гістограм кольорового зображення при різних значеннях гамма-корекції та гістограми оригінального зображення. На рис. 2. представлено самі зображення.

Експериментальні результати показали, що запропоновані ними методи перевершують сучасні схеми у випадку стиснення JPEG та зображень із підвищеною контрастністю.

Особливості проміжків між пікселями та інтервалами в гістограмах. Одним із найпоширеніших способів збільшення контрастності зображення, який використовують більшість інструментів для редагування зображення, є гамма-корекція. У цій статті головним чином зосереджено на виявленні гамма-корекції, яка зазвичай визначається як

$$Y = \left[255\left(X \,/\, 255\right)^{\gamma}\right] = 255M^{\gamma}, \qquad (1)$$

де X позначає вхід, а Y – значення пікселя на виході, $M^{\gamma} = \left(X \,/\, 255\right) \in [0,1]$. Для спрощення нормалізується значення Y:

$$N = Y \,/\, 255 = M^{\gamma}, \qquad (2)$$

де $N \in [0,1]$. Як відомо, гамма-корекція призведе до нелінійних змін у пікселях та введенню піків/щілин в гістограми таких зображень [1–4].

Різниця між оригінальним і контрастно розширеним зображеннями може бути обчислена наступним чином:

$$D = \left|Y - X\right| = 255\left|N - M\right| = 255\left|M^{\gamma} - M\right|. \qquad (3)$$

З наведеної вище формули (3) видно, що значення пікселя пов'язане з вхідним (оригінальним) значенням пікселя, M і параметром гамма-корекції γ. Для того, щоб описати цю відмінність, введено максимум різниці, D_{max}. D_{max} існує, коли значення похідних N дорівнюють 1.

$$M_{D_{max}} = M_{N'=1} = \left(\frac{1}{\gamma}\right)^{\left(\frac{1}{\gamma-1}\right)}, \qquad (4)$$

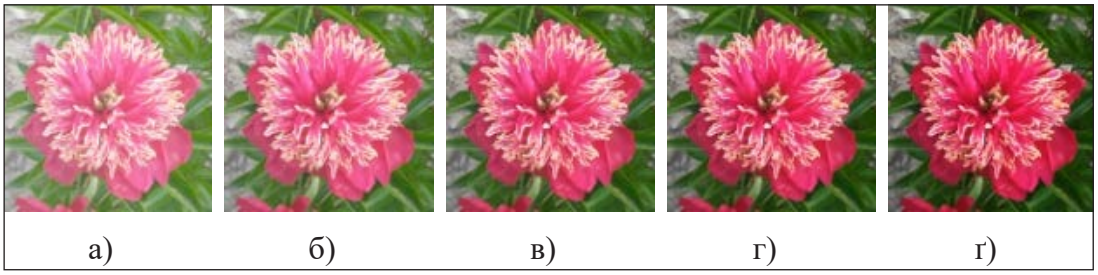


Рис. 2. Кольорове зображення при різних значеннях гамма-корекції: а) 0.6, б) 0.8, в) 1.0 (оригінального зображення), г) 1.2 та ґ) 1.4

$$D_{max} = 255\left[\left|\left(\frac{1}{\gamma}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} - \left(\frac{1}{\gamma}\right)^{\frac{1}{\gamma-1}}\right|\right]. \quad (5)$$

Крива функції $D_{max}/255$ показана на рис. 3. Для прикладу чотири групи параметрів вибираються наступним чином: $\gamma = \{0.6, 0.8, 1.2, 1.4\}$. Неважко знайти, що

$$D_{max}(\gamma = 0.6) = 47.4053 > D_{max}(\gamma = 1.4) =$$
$$= 31.4161 > D_{max}(\gamma = 0.8) = 20.8896 > D_{max}(\gamma = 1.2) = 17.0798.$$

Автори [22] вважають, що різниця в піксельному інтервалі достатньо велика, щоб її можна було вивчити методом глибокого навчання. Враховуючи це, P-CNN пропонуються для виявлення розширеного зображення.

Згідно з доповіддю у роботі [4], функція, заснована на гістограмі, ненадійна для перед/післяопераційної обробки. Характеристика піку і розриву легко знищується при стисненні. Для того, щоб протистояти стисненню JPEG, Цао та співавтори використовували лише значення розривів для виявлення покращених зображень. Однак його продуктивність для різних параметрів є нестабільною, що є наслідком нестабільності зазорів (нульових значень на гістограмі). Положення проміжків (нульових значень) буде відбуватися на

$$P_0 \in \begin{cases} \left[0, M_{D_{max}}^{\gamma}\right], \gamma < 1 \\ \left[M_{D_{max}}^{\gamma}, 1\right], \gamma > 1 \end{cases} \quad (6)$$

Причина, за якою гамма-корекція призводить до виникнення розривів, полягає в тому, що невеликий проміжок у гістограмі проектується на широкий проміжок. Тому ймовірність зазорів повинна бути пропорційна співвідношенню широкого діапазону проміжків і малого діапазону проміжків

$$P_0 \propto G(\gamma) = \begin{cases} \dfrac{M_{D_{max}}^{\gamma} - M_{D_{max}}}{M_{D_{max}}} = \dfrac{1}{\gamma} - 1, \gamma < 1 \\ \dfrac{M_{D_{max}} - M_{D_{max}}^{\gamma}}{1 - M_{D_{max}}} = \dfrac{\left(\frac{1}{\gamma}\right)^{\frac{1}{\gamma-1}} - \left(\frac{1}{\gamma}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}}{1 - \left(\frac{1}{\gamma}\right)^{\frac{1}{\gamma-1}}}, \gamma > 1 \end{cases} \quad (7)$$

Статистичний розподіл зазорів для оригінальних і розширених зображень з $\gamma = 0.6, 0.8, 1.2, 1.4$ показаний на рис. 1, а кількість зазорів для $\gamma = 0.6, 0.8$ більше, ніж $\gamma = 1.2, 1.4$ і частково перекриваються вихідними зображеннями для $\gamma = 0.6, 0.8$ і менше $\gamma = 1.2, 1.4$, що узгоджується з результатом теоретичного аналізу [22]. Незважаючи на

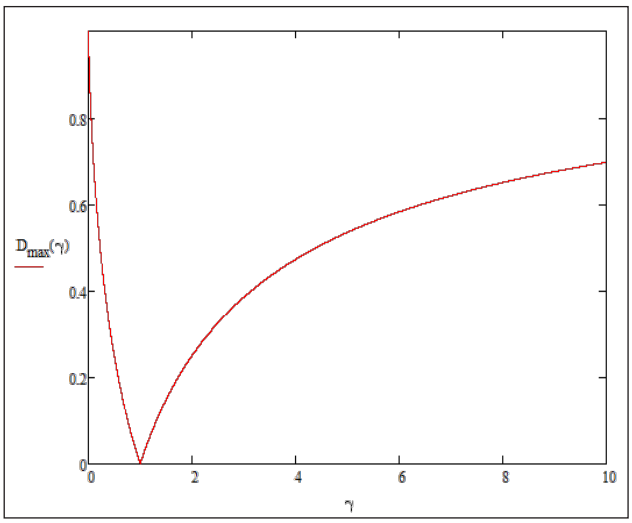


Рис. 3. Значення функції $D_{max}/255$ від γ

нестабільність максимальних/нульових значень, дослідники [22] вважають, що ефективною особливістю має бути інтервал гістограми. Згорткові нейронні мережі з гістограмою створюються для досягнення виявлення контрастно змінених зображень.

Алгоритм для виявлення зображень зі збільшеною контрастністю

Існуючі алгоритми не є стійкими до стиснення JPEG. На підставі вищенаведеного аналізу дослідниками [22] запропоновано глибокі алгоритми навчання для класифікації розширених зображень. Спеціально розроблено два види згорткових нейронних мереж: піксельно-інтервальні згорткові нейронні мережі (pixel-domain convolutional neural networks, P-CNN) і згорткові нейронні мережі з інтервальною гістограмою (histogram-domain convolutional neural networks, H-CNN), як показано на рис. 4.

А. Піксель-інтервальні згорткові нейронні мережі

Різниця в області пікселів досить велика, наприклад, $D_{max}(\gamma = 1.2) = 17.0798$, що надихнуло авторів [22] на розробку відповідних піксельно-інтервальних згорткових нейронних мереж, структура яких показана на рис. 4 (а). Враховуючи вплив вмісту зображення, фільтр високих частот додається для усунення перешкод (шумів) у зображені. Крім того, гістограма високочастотних фільтрованих зображень приблизно випливає з узагальненого гаусівського розподілу [21]. Таким чином, фільтрація високих частот була б кращою для прискорення навчання шляхом нормалізації. Зокрема, експериментально встановлено, що фільтр першого порядку має кращу продуктивність.

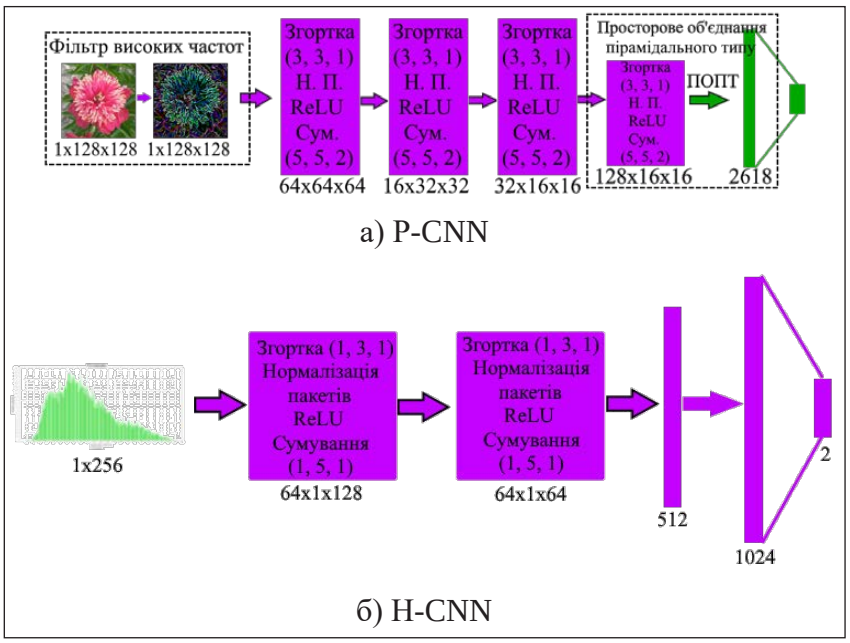


Рис. 4. Архітектура запропонованих піксельно-доменних (а) і гістограмно-доменних (б) згорткових нейронних мереж

$$I_1 = H * I \tag{8}$$

де $H=[1,-1]$, I – вхідне зображення, I_1 – вихід першого шару, '*' являє собою операцію згортки.

Далі фільтр високих частот супроводжується чотирма шарами. Для кожного шару існують чотири типи операцій: згортка, нормалізація пакетів, ReLU та сумування середніх значень. Карти характеристик для кожного шару складають 64, 16, 32, 128 відповідно. Розмір ядра для операції згортки та об'єднання є 3x3 з кроком 1, 5x5 з кроком 2. Дослідники [22] експериментально виявили, що чисельність карти характеристик для першого згорткового шару важлива для виявлення збільшеної контрастності, і вона має кращу продуктивність, коли карти характеристик становлять 64. Згортковий шар обраховується наступним чином,

$$I_1 = \begin{cases} P\left(R\left(F\left(W_i * I_{i-1} + B_i\right)\right)\right), i \in (2,3,4) \\ S\left(R\left(F\left(W_i * I_{i-1} + B_i\right)\right)\right), i \in (5) \end{cases} \tag{9}$$

де F, R, P, S являє собою пакетну нормалізацію, ReLU, середнє об'єднане і об'єднання просторової піраміди відповідно. Для об'єднання просторової піраміди обрано три шкали, які призводять до виходу з 2688 вимірами.

Зрештою, шар з логістичною функцією, що має багато змінних і супроводжується втратою. Функція втрати виглядає наступним чином:

$$Loss = -log\left(\frac{e^{W^j I_5 + B^j}}{\sum_{j=1}^{n} e^{W^j I_5 + B^j}}\right) \tag{10}$$

де, n – номер розряду, j являє собою дійсне число. У авторській [22] експериментальній установці застосовується міні-пакетне стохастичне зменшення кроку, а розмір партії встановлюється на 120. Точність навчання ініціалізується до 0,001, і планується зменшити на 10% на кожні 10000 ітерацій. Максимальна кількість ітерацій – 100000. Імпульс і спад ваги фіксуються відповідно до 0,9 і 0,0005.

Б. Гістограмно-інтервальна згорткова нейронна мережа

Незважаючи на те, що характеристика піків/розривів нестабільна для перед/післяопераційної обробки та різних параметрів, характеристика проміжків в інтервалі гістограми може бути більш ефективнішою, ніж в інтервалі пікселів. Замість того, щоб розробляти нову функцію, пропонується згорткова нейромережа з автоматичним гістограмно-інтервальним самонавчанням. Крім того, як вхід із низьким і фіксованим розміром, гістограма підходить для згорткових нейронних мереж. Архітектура представлена на рис. 4 (б). Входом є гістограма зображення, вектор з розмірами 1x256. Потім за вхідним шаром слідують два згорткових і три повністю з'єднані шари. Особливістю карти є 64, 64, 512, 1024, 2 відповідно. Нарешті, додано шар softmax для класифікації двох типів зображень: оригінального та розши-

реного зображення (чисте контрастне стиснення/ JPEG). Параметри згорткових шарів такі ж, як і піксельно-інтервальних згорткових нейронних мереж.

Висновки. Зараз набуває величезної популярності отримання оригінального зображення з існуючого незалежно від того, як саме був змінений оригінал. Багато вчених досягли у цьому чудових результатів і на даний час оригінальне зображення можна відновити незалежно від того, як воно було змінено. Всі ці методи мають високий коефіцієнт відновлення оригінального зображення, але мають недоліки. Насамперед, методи передбачають, що відомо, яким чином було змінено зображення [20] і відповідно до цього вибирається алгоритм відновлення оригіналу. Також мережу потрібно спочатку навчити [23] і лише потім вона зможе відновити зображення, покращивши його якість. Це недоліки, оскільки, по-перше, не існує єдиного методу відновлення оригінального зображення, по-друге, потрібно вчити мережу перш, ніж вона зможе відновити зображення. Наразі відбувається розробка єдиного алгоритму, який має відновлювати зображення незалежно від того, як воно було змінено з використанням нейронної мережі без її попереднього навчання.

Список літератури:

1. M.C. Stamm and K.J.R. Liu, Blind forensics of contrast enhancement in digital images, in Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing, October 2008

2. M. Stamm and K. Liu, Forensic detection of image manipulation using statistical intrinsic fingerprints, Information Forensics and Security, IEEE Transactions on, vol. 5, no. 3, pp. 492–506, Sept 2010.

3. M.C. Stamm and K.J.R. Liu, Forensic estimation and reconstruction of contrast enhancement mapping, in Proc. IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing, March 2010, pp. 1698–1701.

4. G. Cao, Y. Zhao, R. Ni, and X. Li, Contrast enhancement based forensics in digital images, IEEE Transactions on Information Forensic and Security, vol. 9, pp. 515–525, March 2014.

5. Li H, Luo W, Qiu X, et al. Identification of various image operations using residual-based features[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2016.

6. Lin X, Li C T, Hu Y. Exposing image forgery through the detection of contrast enhancement[C]//Image Processing (ICIP), 2013 20th IEEE International Conference on. IEEE, 2013: 4467–4471.

7. Lin X, Wei X, Li C T. Two improved forensic methods of detecting contrast enhancement in digital images[C]// Media Watermarking, Security, and Forensics 2014. International Society for Optics and Photonics, 2014.

8. Wen L, Qi H, Lyu S. Contrast Enhancement Estimation for Digital Image Forensics[J]. arXiv preprint arXiv:1706. 03875, 2017.

9. A. De Rosa, M. Fontani, M. Massai, A. Piva, and M. Barni, Second-order statistics analysis to cope with contrast enhancement counter-forensics, IEEE Signal Processing Letters, vol. 22, pp. 1132–1136, August 2015.

10. H. Farid, Blind Inverse Gamma Correction, IEEE Transactions on Image Processing, vol. 10, no. 10, pp. 1428–1433, Oct 2001.

11. A. C. Popescu and H. Farid, Statistical Tools for Digital Forensics, 6th Intl. Work. on Info. Hiding & LNCS, vol. 3200, pp. 128–147, May 2004.

12. G. Cao, Y. Zhao, and R. Ni, Forensic estimation of gamma correctionin digital images, in Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing, Sept 2010, pp. 2097–2100.

13. Wang P, Liu F, Yang C, et al. Parameter estimation of image gamma transformation based on zero-value histogram bin locations[J]. Signal Processing: Image Communication, 2018.

14. M. Barni, M. Fontani, and B. Tondi, A universal technique to hide traces of histogram-based image manipulations, in Proc. of the ACM Workshop on Multimedia and Security, 2012, pp. 97–104.

15. G. Cao, Y. Zhao, R. Ni, and H. Tian, Anti-forensics of contrast enhancement in digital images, in Proc. of the ACM Workshop on Multimedia and Security, 2010, pp. 25–34.

16. C.-W. Kwok, O. C. Au, and S.-H. Chui, Alternative anti-forensics method for contrast enhancement, in Proc. of the Int. Conf. on Digital-Forensics and Watermarking, 2012, pp. 398–410.

17. P. Comesana-Alfaro and F. Perez-Gonzalez, Optimal counterforensics for histogram-based forensics, in Proc. IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing, May 2013, pp. 3048–3052.

18. G. Cao, Y. Zhao, R. Ni, H. Tian, and L. Yu, Attacking contrast enhancement forensics in digital images, Science China Information Sciences, vol. 57, no. 5, pp. 1–13, 2014.

19. Ravi H, Subramanyam A V, Emmanuel S. ACEAn Effective Antiforensic Contrast Enhancement Technique [J]. IEEE Signal Processing Letters, 2016, 23(2): 212–216.

20. Pengpeng Y., Student M., et al. Robust Contrast Enhancement Forensics Using Convolutional Neural Networks, 2018.

21. Aharon, M., Elad, M., Bruckstein, A.: K-SVD: An algorithm for designing overcomplete dictionaries for sparse representation. IEEE Transactions on Signal Processing 54 (11), 4311–4322 (2006).

22. Wuyang S., Yaohua Y., et al. Robust contrast enhancement forensics based on convolutional neural networks, 2018.

23. Chao D., Chen C. L., et al. Image Super-Resolution Using Deep Convolutional Networks, 2015.

Varenko A.M. ANALYSIS AND COMPARISON OF METHODS FOR IMPROVING CONTRAST OF IMAGES

Since the end of the last century, for a number of reasons, digital video cameras have begun to gain widespread popularity. For the sake of increasing demand for video cameras, they reduced the cost price, which significantly affected the quality of video and photos. It is possible to slightly improve the quality using various types of filters: high-frequency, low-frequency, median, etc. and combining them. This allows to highlight the main objects and details in the image and pick up noise or extra details. Due to this, it is possible to improve the quality of video and photos obtained using a video camera, when it is not possible to use the best optical matrix or add brightness using additional light sources.

Currently, there is a widespread problem of improving the visual quality of the image for various purposes: finding a moving object, reducing noise, highlighting the object against the background and for other purposes. Also, increasing the contrast of the image can be used by attackers to encrypt secret content and transfer it. Changes to the image can rarely be detected without additional work with the image. But most of the changes are clearly visible on the histogram of the image, which has undergone changes. Despite the fact that a number of algorithms have been proposed for detecting the content encoded in the image, the reliability of the methods when using treatments of various types of images is unsatisfactory.

This article provides an overview of literary sources, the authors of which offer two options for obtaining the original image for further revealing hidden content or simply obtaining the original source image using convolutional neural networks of various types, gamma correction, and a high-pass filter; the analysis of the effectiveness of each of the methods and the scope of application of these methods is done. Using the software developed in the Java programming language, an arbitrary image is analyzed from its own image library, histograms are constructed for each of the component image colors, a color image is processed using a high-pass filter; image processing by convolutional artificial neural networks of two types is carried out.

Key words: *convolutional neural networks, deep learning, pixel, images, contrast.*

ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

УДК 004.4+336
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-1/08

Антонюк Д.С.
Державний університет «Житомирська політехніка»

Вакалюк Т.А.
Державний університет «Житомирська політехніка»

Якобчук А.С.
Державний університет «Житомирська політехніка»

Янчук В.М.
Державний університет «Житомирська політехніка»

ПРОЕКТУВАННЯ ПРОГРАМНО-ІМІТАЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ТА УПРАВЛІННЯ ПЕРСОНАЛЬНИМИ ФІНАНСАМИ

У статті описано процес розробки програмно-імітаційного комплексу візуалізації та управління персональними фінансами. Висока динамічність соціально-економічних систем, що притаманна сучасному суспільству та міжнародній економіці вимагає від спеціалістів різних професій наявності теоретичних знань та практичних умінь у галузях економічної теорії, фінансів та управління. Зручний комплекс, спрямований на візуалізацію індивідуальних фінансових можливостей дає змогу зацікавити та наочно представити спроможність людини в економічних відносинах. Функціональні можливості системи дозволять застосовувати її для особистих економічних цілей та саморозвитку.

Визначено функціональні та нефункціональні вимоги до даного засобу. Описано модулі та класи, що були ключовими при розробці програмно-імітаційного комплексу. Представлено діаграми активності ПІК за різних умов. Розроблено слабозв'язану архітектуру додатку та визначено порядок взаємодії класів в процесі роботи програми; реалізовано простий інтерфейс, що дозволяє швидко навчитись користуватись додатком та максимально інформативно візуалізувати економічні можливості користувача.

Користувачі цього сервісу мають доступ до наступних функцій: візуалізації фінансових можливостей користувача; перегляду прикладів економічних планувань; зміни поточного віку, віку виходу на пенсію та тривалості життя; редагування очікуваних щомісячних витрат на пенсії; редагування очікуваних щомісячних прибутків на пенсії; можливості зміни типу щомісячних збережень від фіксованої суми до відсотків від заробітної плати; можливості зміни заробітної плати з певного віку; можливості здобуття освітнього рівня в певному віці; мати змогу додавати додаткові надходження у вигляді довгострокових депозитів або ж одноразових продажів майна; мати змогу додавати додаткові витрати у вигляді кредитів або ж купівлі майна; мати змогу обирати валюту для додаткових витрат або надходжень.

Ключові слова: *програмно-імітаційні комплекси, візуалізація, управління, персональні фінанси, розробка.*

Постановка проблеми. Знання класичних економічних теорій, історичних закономірностей та обізнаність в основах поведінкової економіки та ірраціональної складової прийняття індивідуальних та колективних рішень дають людині змогу приймати відповідальні рішення та забезпечувати стабільність та адаптивність як особисту, так і сімейну, а також – інституціональну [8].

Зручний комплекс, спрямований на візуалізацію індивідуальних фінансових можливостей дає змогу зацікавити та наочно представити спроможність людини до економічних перспектив. Функціональні можливості системи дозволять застосовувати її для особистих економічних цілей та саморозвитку.

Висока динамічність соціально-економічних систем, що притаманна сучасному суспільству та

міжнародній економіці вимагає від спеціалістів різних професій наявності теоретичних знань та практичних умінь у галузях економічної теорії, фінансів та управління [8].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Застосування програмно-імітаційних комплексів у різних сферах життєдіяльності розглядали В. Адамс (W.K. Adams) [1], Е. Кастронова (E. Castronova) [3], О.О. Мацюк [11], В.А. Пермінова [13], С. Фортман-Рое (S. Fortmann-Roe) [4], О.Б. Шендерук [13] та інші.

Зокрема, П.Г. Банщиков та В.Я. Паздрій описують досвід проведення занять і змагань із застосуванням програмно-імітаційних комплексів (ПІК) "Sigam-Market" та "ViAL+" [9; 10], С.О. Мотуз розглядає можливості застосування ПІК у процесі проведення тренінгів з біржових торгів [12], К. Елдріч розглядає можливості використання ПІК в галузі освіти, а також проблеми добору і побудови симуляцій, поєднання освітніх цілей з ігровими механіками, типи симуляцій і перспективи розвитку сфери використання ПІК в освіті [2]. С. Фортмана-Рое розглядає інструменту побудови моделей та симуляцій над ними InsightMaker [4]. Цей програмний комплекс дозволяє будувати моделі економічних систем та явищ, а також проводити симуляцію поведінки економічних систем у часі.

Формулювання цілей статті. Метою роботи є розробка програмно-імітаційного комплексу з управління персональними фінансами.

Виклад основного матеріалу дослідження. Головним завданням реалізації web-орієнтованої системи «Програмно-імітаційний комплекс візуалізації та управління персональних фінансів» є підвищення компетентності окремих людей в плануванні персональних фінансів.

Програми для персонального бюджету не можуть якимось чином вплинути на ваш дохід, це те, що більшою мірою залежить від самої людини. Кращий вибір програмного забезпечення може зберегти час і вирішити проблеми бюджету. Також такі додатки допоможуть створювати та дотримуватись певного бюджетного планування, а багато з них матимуть додаткові корисні функції залежно від потреб [7].

При реалізації «Програмно-імітаційного комплексу візуалізації та управління персональних фінансів» необхідно врахувати позитивні можливості ПІК з економічним спрямуванням. Основними характеристиками нового комплексу повинні бути: простий та зручний у використанні інтерфейс, в той же час в ньому має бути багато функцій для детальнішої симуляції.

Для реалізації веб-сервісу «Програмно-імітаційний комплекс візуалізації та управління персональних фінансів» було вирішено обрати архітектурний патерн MVC. MVC є одним з найбільш популярних патернів у веб-орієнтованій архітектурі, адже з його допомогою створюються гнучкі та функціональні додатки, які легко підтримувати та розширяти [5]. MVC складається з трьох частин, від яких і пішла його назва (рис. 1).

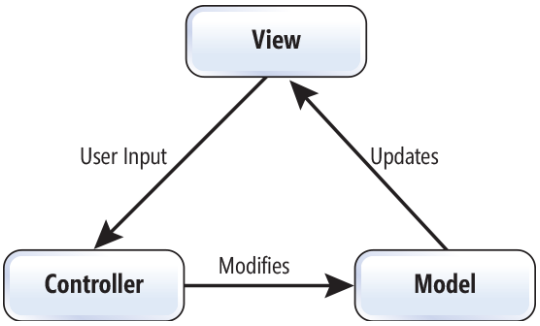


Рис. 1. Узагальнена архітектура MVC

Розглянемо їх особливості більш детально:

Модель-представлення-контролер – архітектурний шаблон, який використовується під час проектування та розробки програмного забезпечення. Цей шаблон передбачає розподіл системи на три пов'язані між собою частини: модель даних, вигляд (інтерфейс) та модуль керування. Шаблон використовується для відокремлення даних (моделі) від інтерфейсу користувача (вигляду) так, щоб зміни інтерфейсу користувача мінімально впливали на роботу з даними, а зміни в моделі даних могли здійснюватися без змін інтерфейсу користувача.

Мета використання шаблону – гнучкий дизайн програмного забезпечення, що полегшує подальші зміни чи розширення програми, а також є можливість повторно використовувати окремі компоненти програми. Окрім цього, використання шаблону у системах сприяє їх впорядкованості і робить їх більш зрозумілими за рахунок зменшення складності.

Також для розробки ПІК було використано шаблон MVVM. MVVM застосовується для відокремлення моделі та її відображення. Це необхідно для надання можливості їх незалежної зміни. Наприклад, розробник працює над реалізацією логіки роботи з даними, а дизайнер – з користувацьким інтерфейсом [6].

Шаблон MVVM був створений з метою розділення роботи дизайнера і програміста. Дизайнери інтерфейсів краще знають, чого бажають користувачі, ніж розробники програмного коду. Тому буде

краще, коли дизайнер створить графічний інтерфейс, а програміст напише код, який реалізовуватиме логіку цього інтерфейсу.

Шаблон MVVM поділяється на три частини:

– модель, яка являє собою набір даних, що потрібні для роботи додатку;

– вид, який являє собою графічний користувацький інтерфейс, тобто вікно, кнопки і так далі;

– модель вигляду, з однієї сторони є абстракцією вигляду, а з іншої є обгорткою даних моделі, що має зв'язуватись. Тобто вона містить модель, яка перетворена до вигляду, а також містить у собі команди, якими може скористатися вигляд для впливу на модель. Фактично ViewModel призначена для того, щоб: здійснювати зв'язок між моделлю та виглядом, відслідковувати зміни в даних, що зроблені користувачем, відпрацьовувати логіку роботи вигляду.

Користувачі даного сервісу мають доступ до наступних функцій:

1. Візуалізації фінансових можливостей користувача.

2. Перегляду прикладів економічних планувань.

3. Зміни поточного віку, віку виходу на пенсію та тривалості життя.

4. Редагування очікуваних щомісячних витрат на пенсії.

5. Редагування очікуваних щомісячних прибутків на пенсії.

6. Можливості зміни типу щомісячних збережень від фіксованої суми до відсотків від заробітної плати.

7. Можливості зміни заробітної плати з певного віку.

8. Можливості здобуття освітнього рівня в певному віці.

9. Мати змогу додавати додаткові надходження у вигляді довгострокових депозитів або ж одноразових продажів майна.

10.Мати змогу додавати додаткові витрати у вигляді кредитів або ж купівлі майна.

11. Мати змогу обирати валюту для додаткових витрат або надходжень.

Для програмно-імітаційного комплексу було створено діаграму прецедентів, що зображена на рис. 2.

Такий ПІК має відповідати функціональним вимогам:

1. Можливість збереження інформації: система повинна зберігати введені користувачем дані і надавати можливість керувати ними.

2. Можливість перегляду прикладів економічного планування: системи повинна надавати користувачу можливість переглянути приклад візуалізації даних певних осіб.

3. Проведення аналітичних операцій: система повинна відображати інформацію відповідно до введених користувачем даних.

4. Можливість додавання додаткових надходжень та витрат: система повинна надати

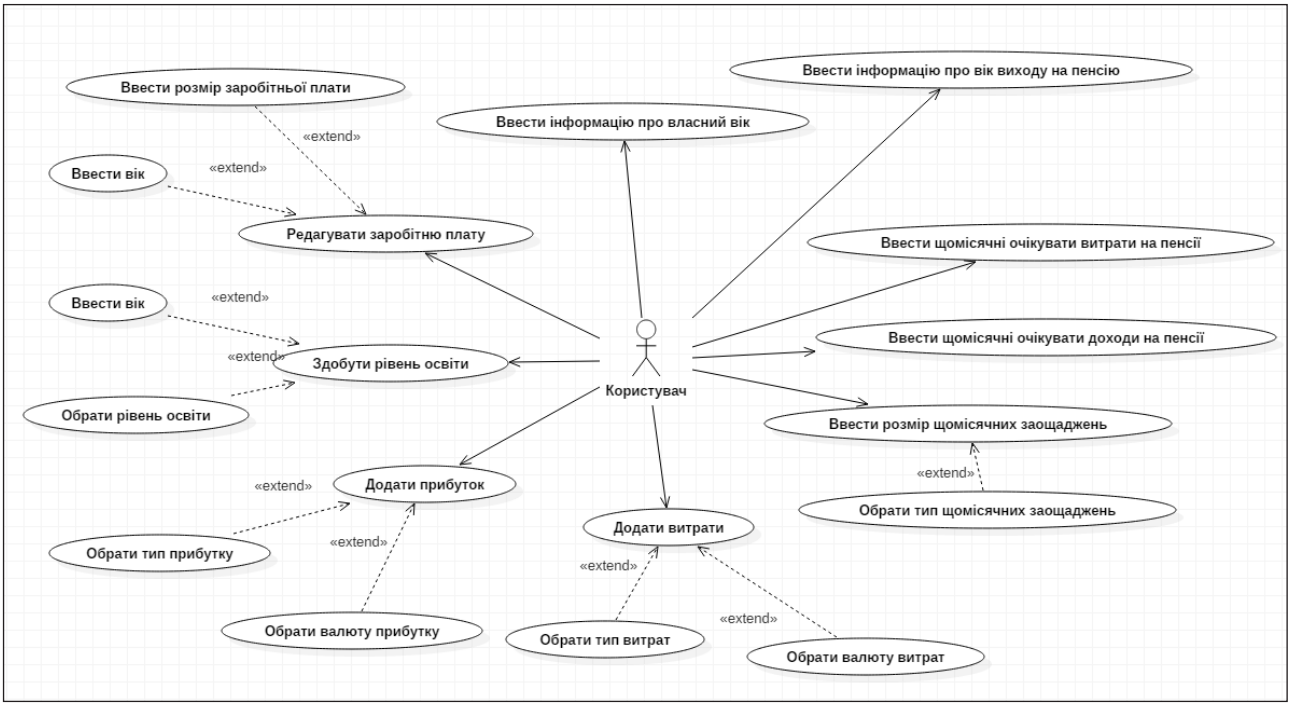


Рис. 2. Діаграма варіантів використання для актора «Користувач»

можливість додавання додаткових надходжень або витрат.

Та нефункціональним вимогам:

1. Сприйняття:

– Час, потрібний для навчання роботи з системою для звичайних користувачів – 1 година, а для досвідчених – 30 хвилин.

– Час відповіді системи для звичайних запитів не повинен перевищувати 2 секунди, а для більш складних запитів – 4 секунди.

– Інтерфейс представлення системи має бути зручним для користувача та не потребувати від нього додаткової підготовки.

2. Надійність

– Доступність – час, потрібний для обслуговування системи не повинен перевищувати 10% від загального часу роботи.

– Середній час безперервної роботи – 15 робочих днів.

– Максимальна норма помилок та дефектів в роботі системи – 1 помилка на 1000 запитів користувача.

3. Продуктивність

– Система повинна підтримувати мінімум 1000 одночасно працюючих користувачів.

4. Можливість експлуатації

– Масштабування – система повинна мати можливість збільшувати потужності (продуктивність) зі збільшенням кількості користувачів так, щоб це не відображалось негативно на її роботі.

Для реалізації проекту обрана технологія ASP.NETMVC та мова програмування C#.

Під час проектування було вирішено, що рішення буде складатись з двох проектів, які міститимуть тематично згруповані класи, що забезпечуватимуть функціональні вимоги системи.

Збірка "PocketBudget" містить конфігурування системи та відповідає за рівень відображення (рис. 3). У збірці можна звернути увагу на наступні модулі:

– Dependency Injection – клас, призначений для конфігурування залежностей модулів.

– Personal Finances – клас, що надає доступ до реалізованих модулів.

Також ця збірка містить модулі мапінгу моделей, контролери, представлення, методи розширення, моделі представлення та Javascript скрипти.

На діаграмі класів зі збірки "PocketBudget" представлені наступні класи (рис. 3):

1. DependencyInjection – клас, в якому відбувається конфігурація залежностей модулів при запуску додатку.

2. AdditionalIncomeResolver – клас, призначений для мапінгу додаткових надходжень з моделі вигляду до моделі.

3. AdditionalCostResolver – клас, призначений для мапінгу додаткових витрат з моделі вигляду до моделі.

4. HomeController – контролер, в якому відбувається основна логіка роботи програми. Клас містить методи, що повертають модель Path ViewModel зі зміненим станом у результаті виконання операцій.

5. EducationController – контролер, який відповідає видачу правильних освітніх рівнів для кожної професії.

6. SalaryController – контролер, що відповідає за повернення поточних періодів заро-

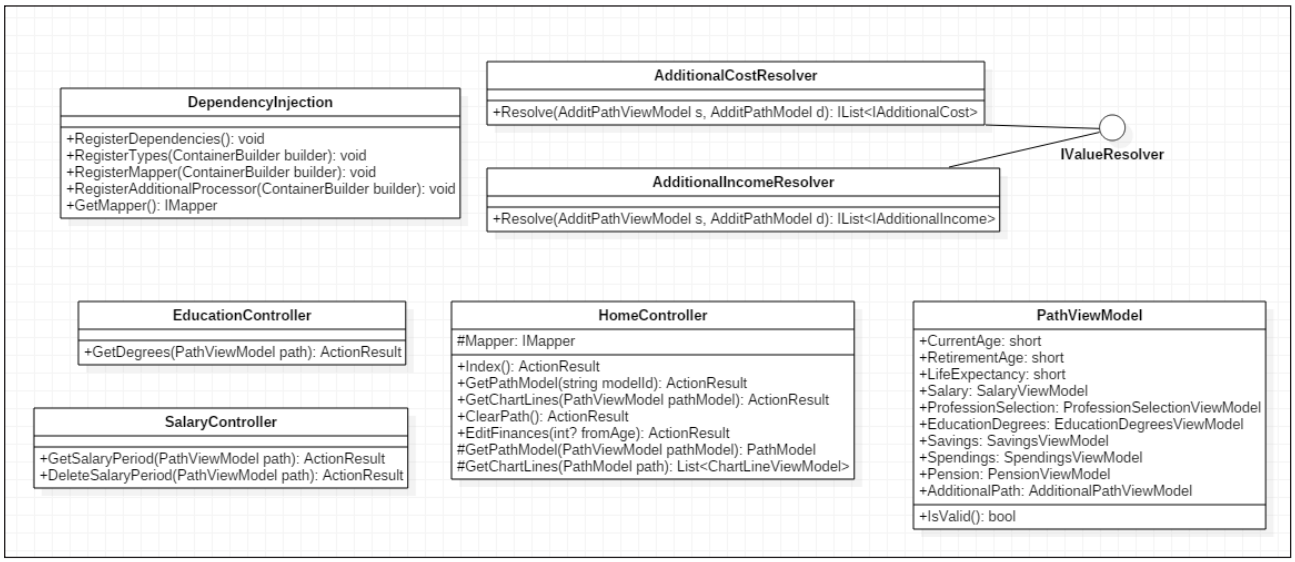


Рис. 3. Діаграма деяких класів зі збірки «PocketBudget»

бітньої плати та видалення періоду заробітньої плати.

7. PathViewModel – клас, який є основною моделлю виглядом для візуалізації фінансових можливостей та містить в собі всю необхідну інформацію про введені користувачем дані.

Збірка “Business” містить у собі модулі для аналітичних розрахунків управління персональними фінансами та бізнес моделі сутностей системи (рис. 4):

1. Моделі, що є бізнес-сутностями: AdditionalPathModel, EducationModel, PathModel.

2. ChartManager – клас, що відповідає за повернення даних для візуалізації контролеру, реалізує інтерфейс IChartManager.

3. FixedSavingsStrategy – клас, що реалізовує метод базового абстрактного класу отримання суми заощаджень при фіксованому типі збережень.

4. PercentageSavingsStrategy – клас, що реалізовує метод базового абстрактного класу отримання суми заощаджень при відсотковому типі збережень.

5. AdditionalPathProcessor – клас, що відповідає для розрахунку параметрів додаткових надходжень та витрат.

6. SaleIncomeStep, DepositIncomeStep – класи, що відповідають за розрахунок розміру додаткових надходжень від продажів та депозитів відповідно.

7. PurchaseCostStep, CreditCostStep – класи, що відповідають за розрахунок розміру додаткових витрат від купівлі та кредитів відповідно.

Програмно-імітаційний комплекс візуалізації та управління персональних фінансів використовує дані введені користувачем в реальному часі та проводить розрахунки враховуючи їх. Оскільки в системі непередбачена реєстрація та збереження всіх даних користувачів, було прийнято рішення використовувати XML файли для зберігання лише деяких даних. Основними модулями системи є модуль бізнес логіки, що відповідає за розрахунок та обробку даних економічних можливостей.

Після завантаження головної сторінки програмно-імітаційного комплексу (рис. 5) користувач може виконати наступні дії: переглянути приклади даних користувачів, редагувати поточний вік, вік виходу на пенсію та очікувану тривалість життя, ввести витрати та доходи на пенсії, щомісячні заощадження, рівень освіти та заробітну плату а також є можливість додати додаткові надходження або витрати.

Під час додавання додаткових надходжень або витрат користувач має обрати тип доходів (депозит, продаж) або витрат (кредит, купівля), ввести вік коли додаткові дані повинні бути враховані та ввести суму та валюту обраних надходжень або витрат. Введені дані буде провалідовано та відправиться запит на сервер. Результат операції відобразиться користувачеві.

Під час додавання заробітної плати (рис. 7) користувач натискає на кнопку для відображення нового

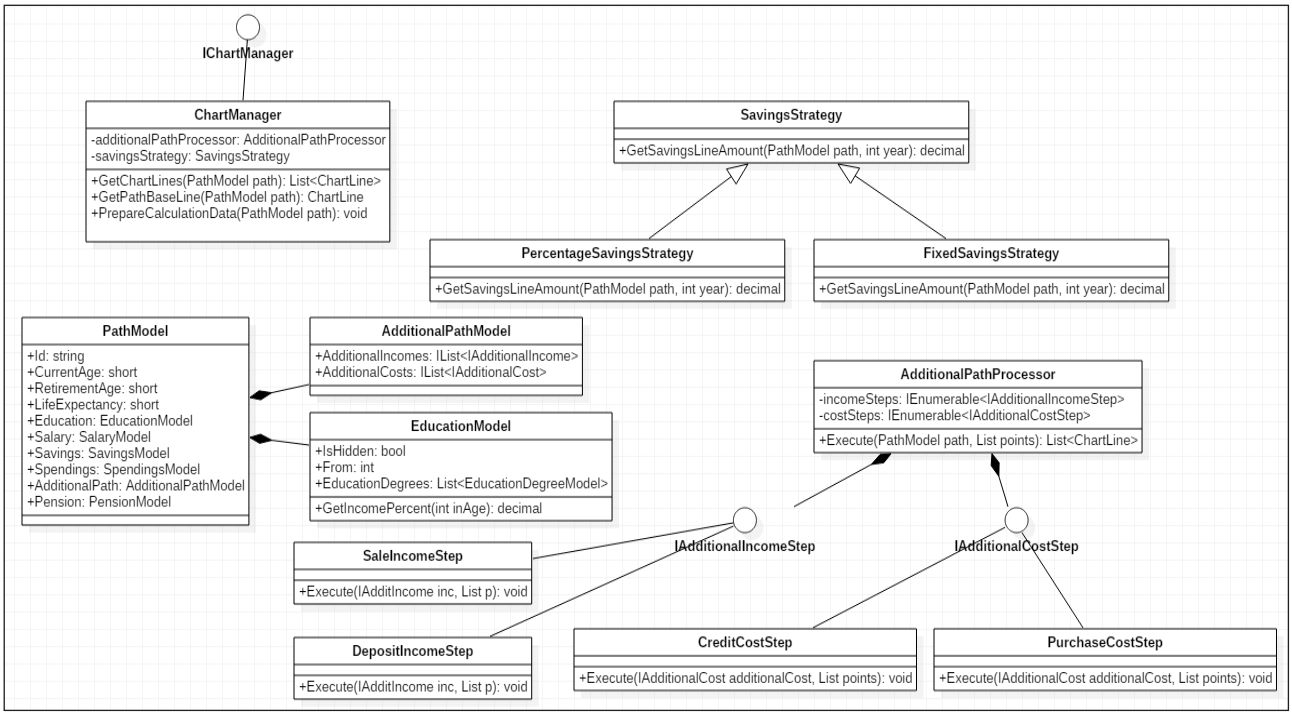


Рис. 4. Діаграма деяких класів збірки «Business»

періоду заробітної плати, для цього в систему йде запит для повернення необхідного періоду. Після отримання результату користувач вводить необхідні дані та зберігає зміни, система обробляє зміни з урахуванням всіх інших параметрів та повертає оновлену візуалізацію даних клієнту.

Для написання слабозв'язного коду було використано патерн програмування інверсія управління. Його суть полягає у написанні коду для інтерфейсів, а не до залежностей. Реалізація патерну виконується за допомогою бібліотеки Autofac. Бібліотека надає можливість налаштування залежностей використовуючи методи розширення:

– RegisterType.

– RegisterInstance.

Обидва методи пов'язують конкретну реалізацію з інтерфейсом, різниця полягає у тривалості збереження зареєстрованої сутності. Метод RegisterType створює новий екземпляр для кожного HTTP запиту, тоді як RegisterInstance створює один екземпляр на весь час роботи додатку.

Варто розуміти, для правильної роботи патерну інверсія управління, всі залежності мають бути зареєстровані в корні додатку – місці, що знаходиться якомога ближче по стеку викликів до програмного коду, що ініціює додаток.

При реалізації сервісу потрібно стежити за розділенням різних слоїв додатку. У такому випадку всі сутності розділені на 2 види:

– Сутність бізнес логіки.

– Сутність візуалізації.

Розподілення допомагає в написанні слабопов'язаного коду, проте призводить до задач, які треба було вирішити. Зокрема, це задача централізованої та інкапсульованої передачі даних між об'єктами різних рівнів. Щоб вирішити цю задачу було використано бібліотеку AutoMapper, що надає можливість абстрагувати логіку передачі даних з однієї сутності іншій.

Також у додатку було реалізовано функціональність розрахунку щомісячних збережень за допомогою патерну Стратегія. Шаблон належить до шаблонів поведінки. Його ідея полягає в тому, щоб створити декілька схем поведінки одного об'єкту та винести це в окремий клас. За типом щомісячних збережень обирається алгоритм, за яким буде розраховуватись сума щомісячних збережень. Використання цього патерну дозволяє відмовитись від використання перемикачів або умовних операторів, але це призведе і до збільшення кількості об'єктів.

Для розгортання веб-сервісу потрібно виконати наступні кроки:

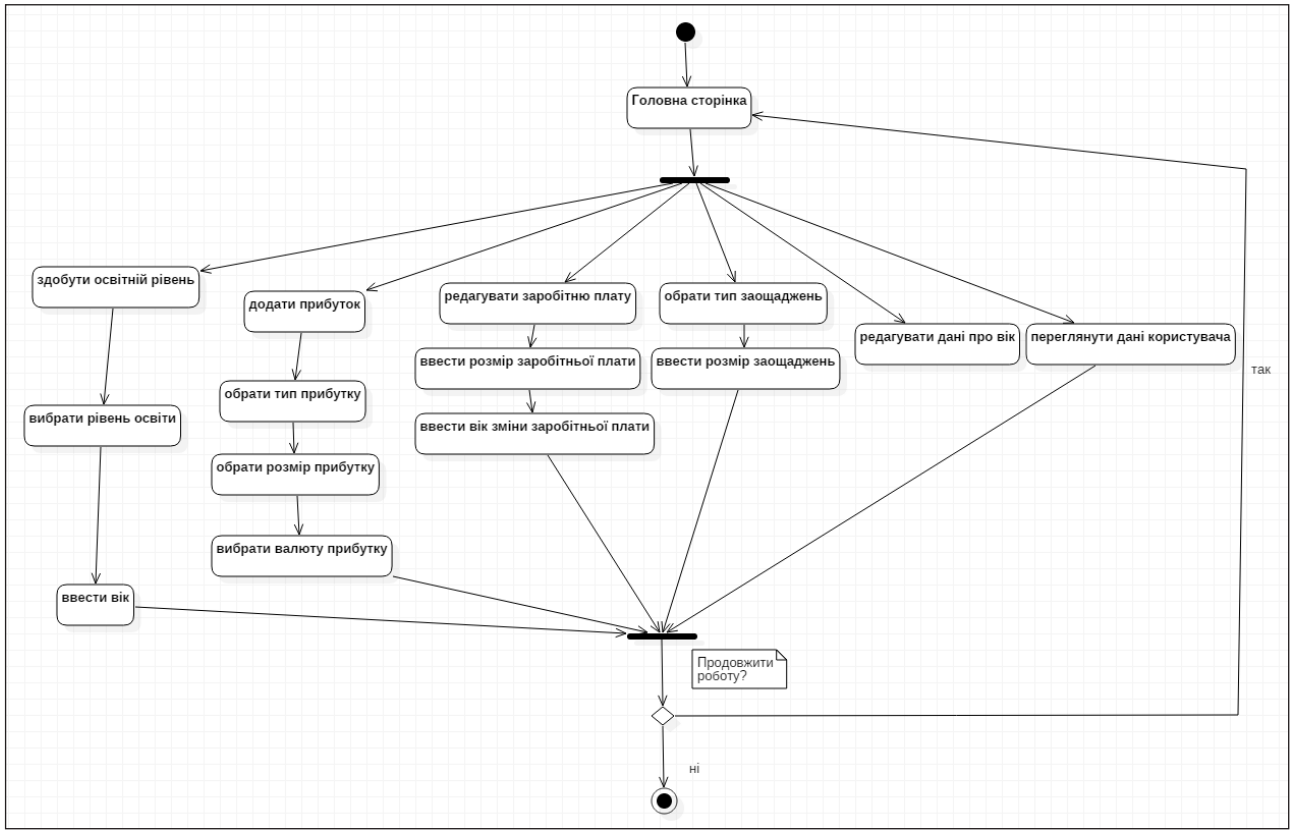


Рис. 5. Загальна діаграма активності

1. Створити пакет розгортання за допомогою технології MSBuild.
2. Створити пул та веб-сайт в IIS.
3. Пакет розгортання розмістити в папці, на яку сси лається веб-сайт.
4. Відновити дані прикладів користувачів в XML-файлі.
5. Запустити пул та веб-сайт в IIS.

При завантаження головної сторінки користувач має змогу переглянути візуалізацію економічного шляху за замовчуванням. Візуалізація представлена у вигляді графіку, справа від якого наведено основні параметри, по яким було побудовано наведений графік. Знизу графіку наведений вік користувача та відповідний йому рік, зліва сума заощаджених грошей. Відповідно до початкових налаштувань, на графіку також можна спостерігати лінію, яка умовно показує час, коли користувач вийде на пенсію.

На головній сторінці користувач має змогу редагувати основну інформацію або ж додати додаткові надходження чи витрати до свого фінансового планування. Натиснувши кнопку редагування, можна побачити форму редагування інформації про користувача та його фінансові плани.

Перед тим, як розпочати вводити власні дані, у користувача є можливість переглянути приклади економічних планувань умовних людей, натиснувши на відповідну кнопку в формі редагування інформації.

Після цього, для початку, введемо основні дані про вік користувача, вік виходу на пенсію, очікувану тривалість життя, витрати та доходи на пенсії та розмір щомісячних збережень до настання пенсійного віку.

Після введення основних даних та вибору типу щомісячних заощаджень «відсотки від зарплати» користувач може змінити свої дані про заробітну платню. Натиснувши на кнопку «редагувати», перед користувачем відобразиться додаткове меню з інформацією про його заробітну плату. В

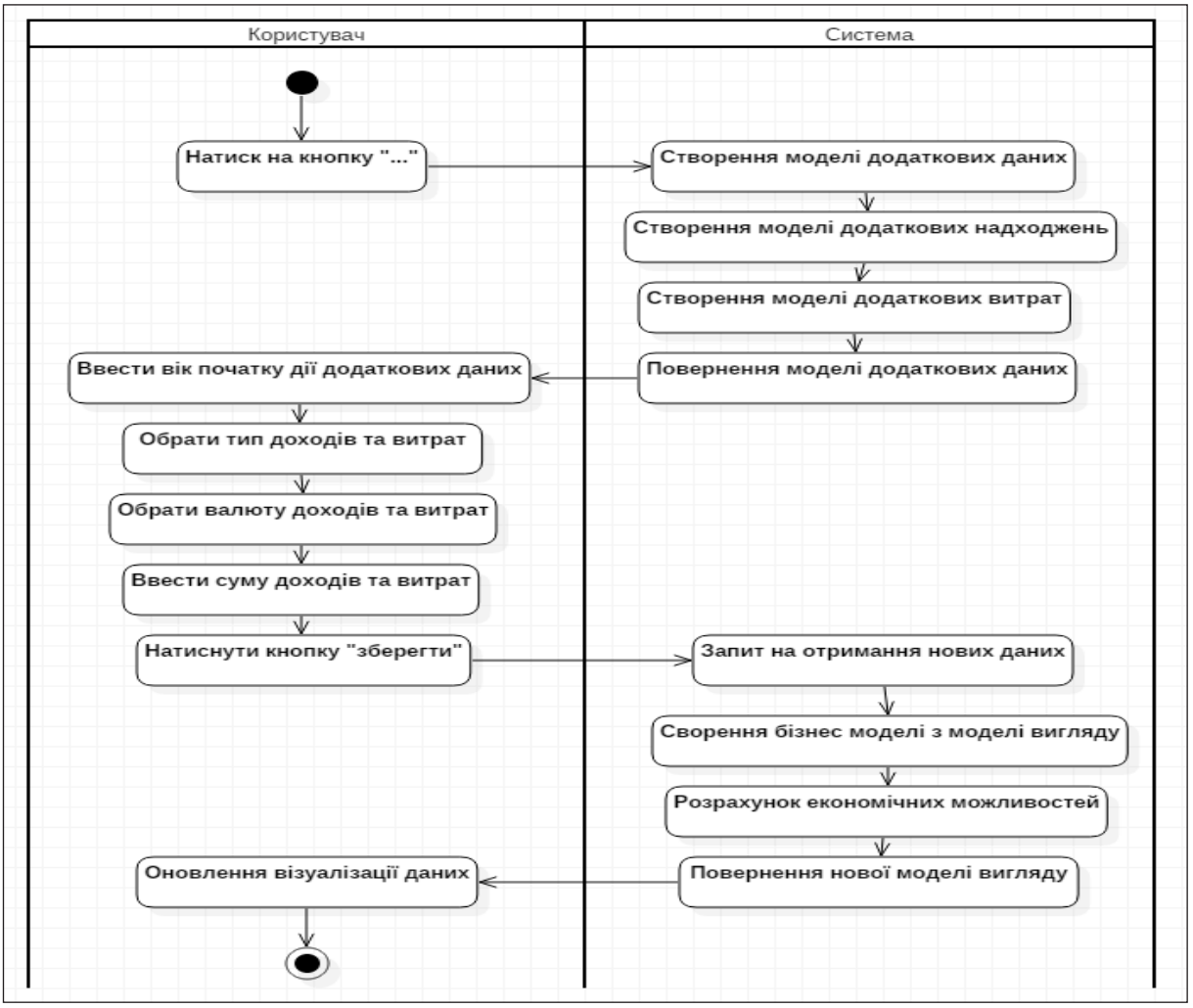


Рис. 6. Діаграма активності для прецеденту «додаткові надходження»

даному меню користувач може додати або видалити додатковий період його заробітної плати. Для того, щоб додати період, потрібно натиснути на відповідну кнопку в меню та заповнити поля періоду: вік на розмір заробітної плати. Після вводу даних необхідно зберегти редаговані дані, натиснувши відповідно кнопку.

Додавши новий період, основний графік зміниться, використовуючи зум на графіку можна побачити, як викривляється графік зі збільшенням зарплатні.

Навівши курсор на графік, можна побачити інформацію про вік користувача, рік та очікувану суму заощаджень та вибраний момент.

На інформаційному блоці, натиснувши на кнопку «…», перед користувачем відобразиться меню з додаванням додаткових надходжень або витрат. У меню користувач має змогу додати доходи у вигляді депозиту чи продажу майна та витрат у вигляді кредиту чи купівлі майна. Для додавання депозиту потрібно обрати валюту заощаджень та вказати суму, яку буде покладено на депозит.

Аналогічні поля потрібно заповнити при додаванні додаткових витрат.

Після введення інформації про додаткові надходження та витрати зберігаємо зміни. Відповідно до введених параметрів буде перерахований графік економічного планування користувача.

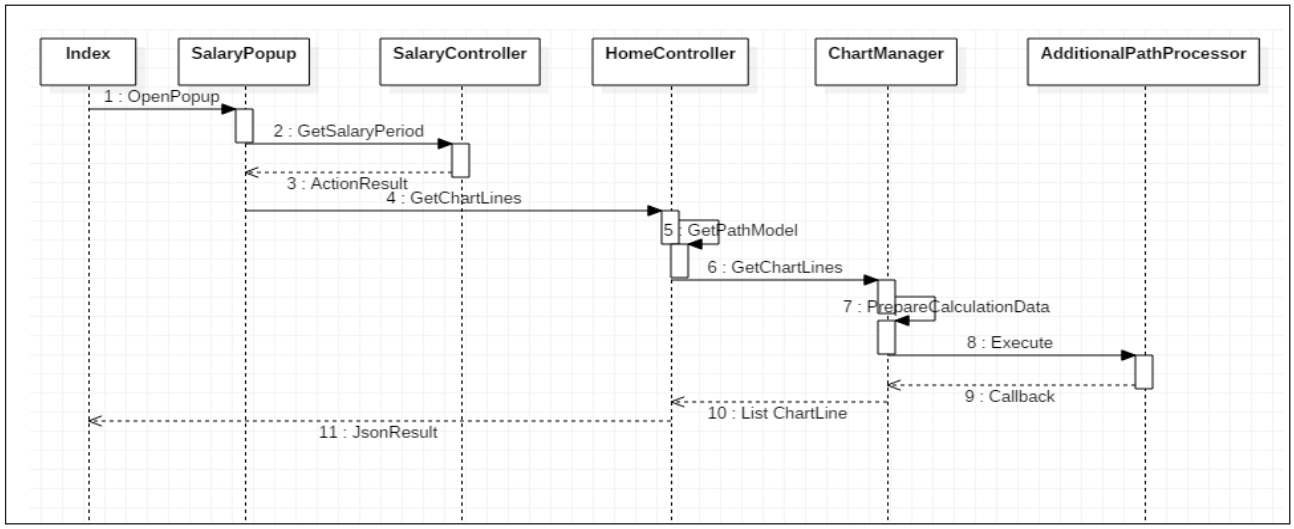


Рис. 7. Діаграма послідовності «Додавання періоду заробітної плати»

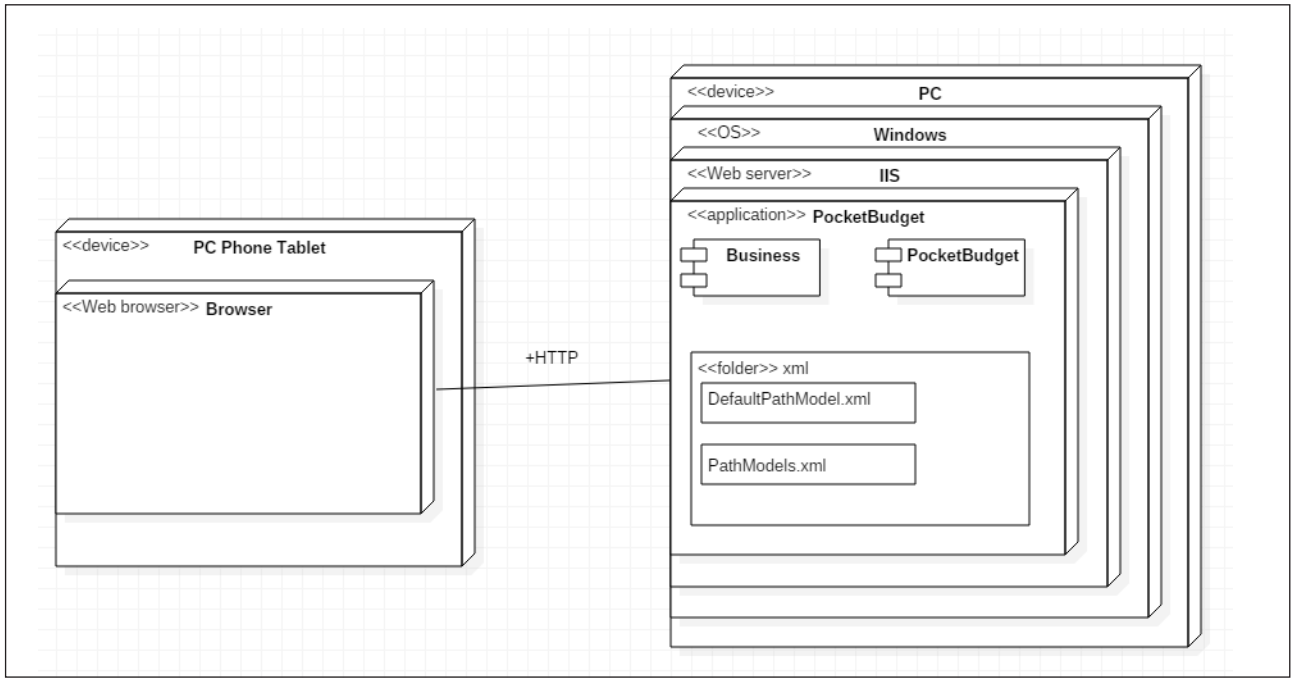


Рис. 8. Діаграма розгортання системи

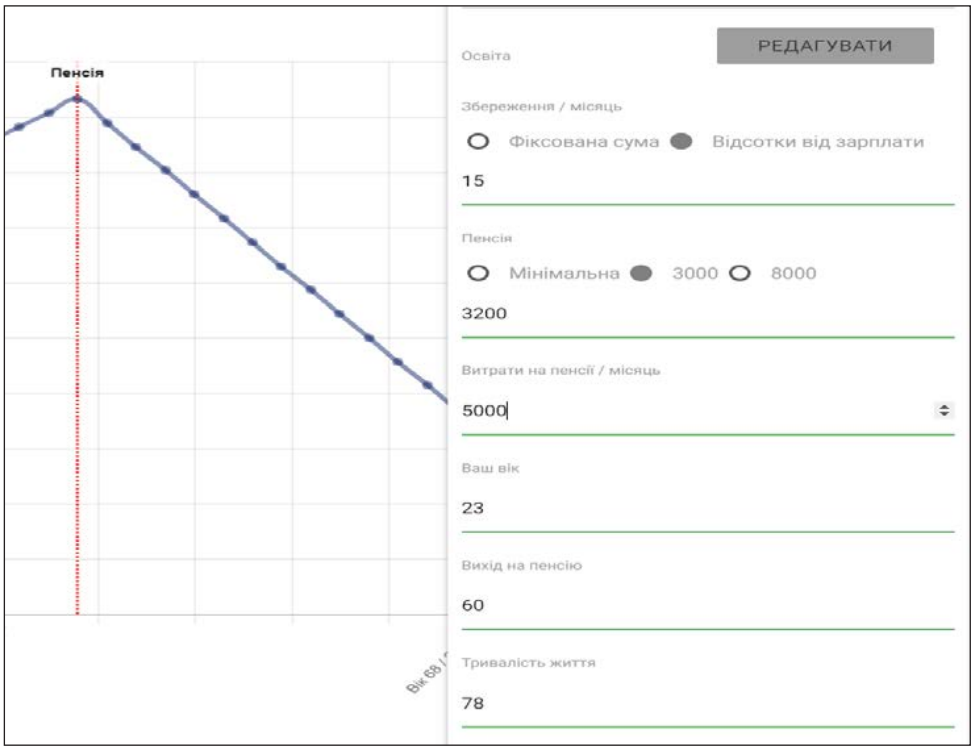


Рис. 9. Введення базової інформації користувача

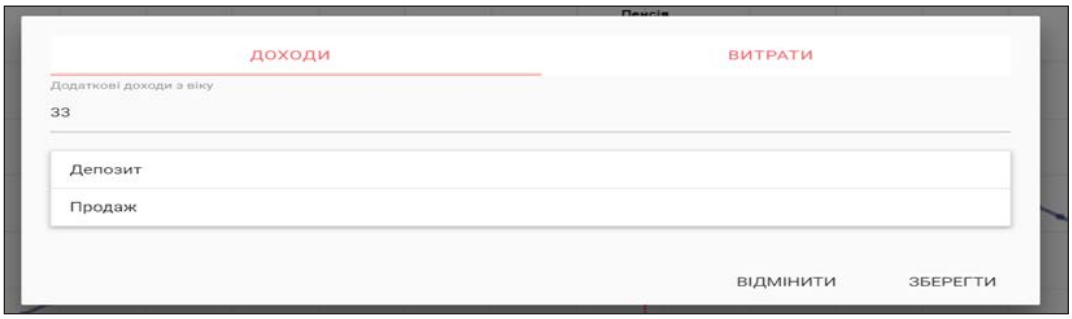


Рис. 10. Меню додавання додаткових надходжень чи витрат

Також користувач має змогу вимикати та вмикати зміни щодо додаткових надходжень чи витрат, натиснувши на відповідну назву над графіком, після чого графік буде перебудовано без врахування вимкнених параметрів.

Ще одним способом збільшити свій дохід для користувача є здобуття одного з освітніх рівнів. Кожний освітній рівень додає приріст до заробітної плати. Щоб здобути освітній рівень, користувачу потрібно натиснути «редагувати» напроти освіти, перед ним відобразиться меню з вводом необхідних даних, де потрібно буде обрати освітній рівень та ввести вік, коли його буде здобуто.

Натиснувши кнопку «зберегти» в меню додавання освітнього рівня, графік буде перебудовано з врахуванням здобутої освіти.

Висновки. У роботі було спроектовано та реалізовано «Програмно-імітаційний комплекс візуалізації та управління персональних фінансів: функціональність бізнес-логіки», для цього було: розроблено слабозв'язану архітектуру додатку та визначено порядок взаємодії класів в процесі роботи програми; реалізовано простий інтерфейс, що дозволяє швидко навчитись користуватись додатком та максимально інформативно візуалізувати економічні можливості користувача.

Реалізована система може застосовуватись для зручного планування власних фінансів.

У подальшому комплекс може бути вдосконалений шляхом додавання додаткового функціоналу для прогнозування, аналізу, рекомендацій щодо фінансового планування.

Рис. 11. Додавання депозиту

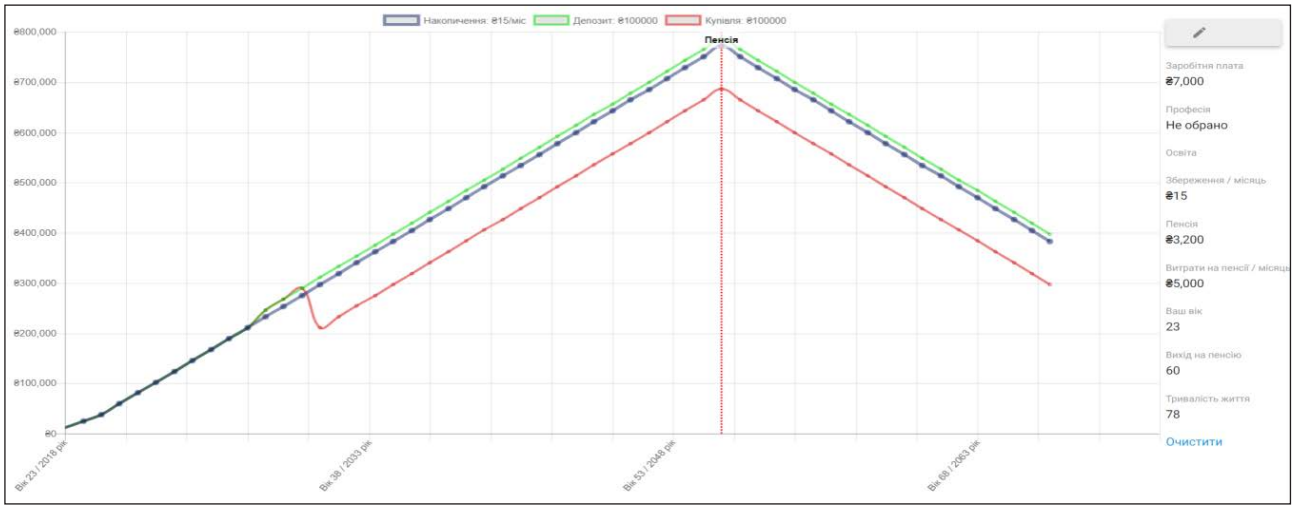


Рис. 12. Змінений графік економічного планування користувача

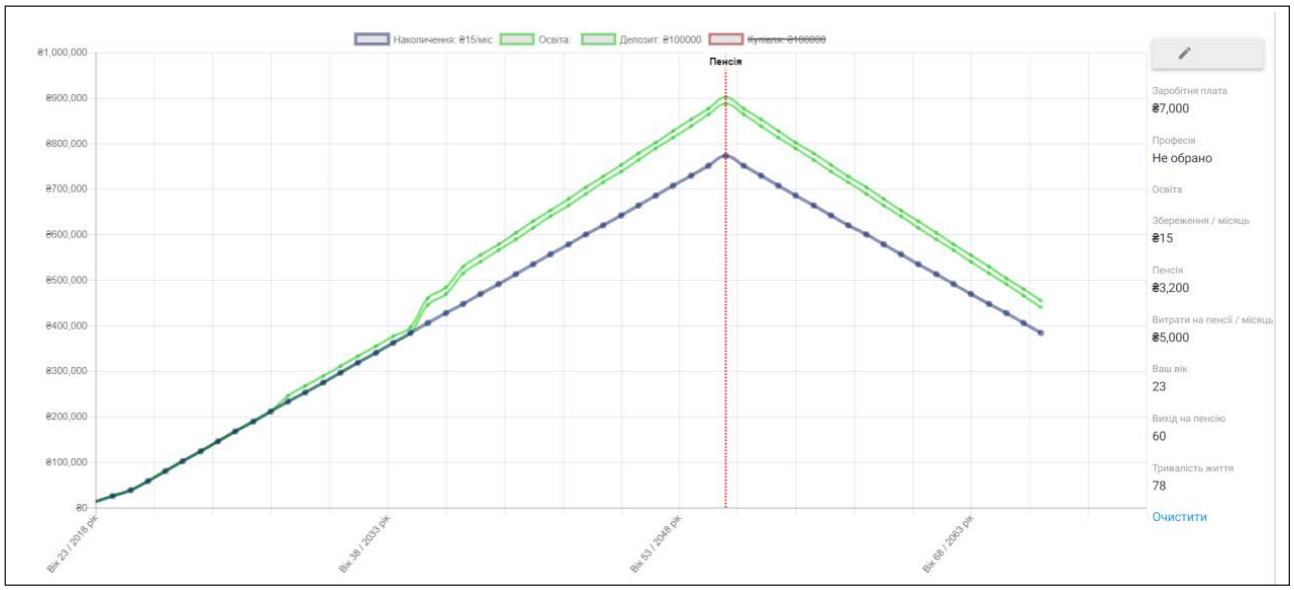


Рис. 13. Вплив освіти на заробітну плату

Список літератури:

1. Adams W.K. Student engagement and learning with PhET interactive simulations. URL: http://www.jdes.tyc.edu.tw/PhET2013/publications/MPTL_2010_PhET_final.pdf.
2. Aldrich C. Learning by Doing: A Comprehensive Guide to Simulations, Computer Games, and Pedagogy in E-Learning and Other Educational Experiences. San Francisco: Pfeiffer, A Wiley Imprint. URL: http://eu.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-0787977357.html
3. Castronova Edward. Exodus to the Virtual World: How Online Fun is Changing Reality. PalgraveMacmillan. URL: http://us.macmillan.com/exodustothevirtualworld/edwardcastronova.
4. Fortmann-Roe Scott. Insight Maker: A general-purpose tool for web-based modeling & simulation. *Simulation Modelling Practice and Theory.* № 47. 2014. P. 28–45. URL: https://www.researchgate.net/publication/263127834_Insight_Maker_A_general-purpose_tool_for_web-based_modeling_simulation.
5. Model-View-Controller. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Model-View-Controller.
6. Model-View-ViewModel. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Model-View-ViewModel.
7. The 9 Best Personal Software appsin 2017. URL: https://www.thebalance.com/top-10-budget-software-apps-1293609.
8. Антонюк Д.С. Зарубіжний досвід використання програмно-імітаційних комплексів економічного спрямування в освіті. *Інформаційні технології в освіті.* 2016. № 2. С. 140–153.
9. Банщиков П.Г., Грищенко О.В., Паздрій В.Я. Моделювання ринкового середовища компаній у навчально-тренінгових технологіях (на прикладі бізнес-симуляції "ViAl+"). *Проблеми освіти:* МОН України Інститут інноваційних технологій і змісту освіти, 2011. № 65. С. 7–12.
10. Банщиков П.Г., Кизенко О.О., Скитьова Г.С. Особливості проведення інтерактивних занять під час комплексного тренінгу на основі бізнес-симуляції "Sigam-Market". *Аудиторна робота викладача і студента: досвід і напрями вдосконалення:* Науково-методична конференція ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана» (21 лютого 2012 р., м. Київ). Київ : КНЕУ, 2012. С. 7–12.
11. Мацюк О.О. Комп'ютерні симуляції як засіб формування професійної компетентності майбутніх перекладачів в умовах інформаційного суспільства. *Вісник Національної академії Державної прикордонної служби України.* 2013. Вип. 5.
12. Мотуз С.А. Комплексное использование биржевых симуляторов как наиболее эффективное направление их применения. *Управление экономическими системами.* 2013. № 12. С. 59.
13. Шендерук О.Б., Пермінова В.А. Технології ситуативного моделювання. Симуляції або імітаційні ігри. URL: http://www.rusnauka.com/26_SSN_2010/Philologia/71388.doc.htm. (дата звернення: 19.08.2019).

Antoniuk D.S., Vakalik T.A., Yakobchuk A.S., Yanchuk V.M.

DESIGN OF THE BUSINESS-SIMULATION SOFTWARE COMPLEX FOR PERSONAL FINANCE VISUALIZATION AND MANAGEMENT

The article describes Design of the business-simulator software for personal finance visualization and management. The present highly-dynamic state of the socio-economics systems, specific for the modern society and international economy, requires professionals of diverse range of specialties to have theoretical knowledge and practical skills in the areas of economic theory, finance and management. Convenient business-simulation complex oriented to the visualization of the personal financial abilities enables igniting interest and easily present person's abilities in economic relations. Functionality of the complex allows to use it for defining personal economic and financial goals and delf-development.

Functional and non-functional requirements to the tool have been defined. Key modules and classes have been defined. Activity diagrams for the variety of use-cases within business-simulation complex were described. Weakly-connected architecture has been defined as appropriate for the complex; the class-interaction order and sequences were developed; user-friendly interface allows quick onboarding process and informative financial possibilities visualization.

The following functionality is available for the users of business-simulation complex: financial abilities of the user visualization; review of the economic planning example; user parameters, such as age, age of the retirement and life expectancy setup; editing of the expected monthly expenses when retired; editing of the expected monthly income when retired; ability to define the savings schemas, such as fixed amount of percentage of the income; defining salary level changes at the different age; gaining specific degree at the certain age; different type of income definition, such as long-time certificates of deposit or one time asset sale; variety of spending registration, among which loans and asset purchasing are implemented in the complex; particular currency for the income or expense might be defined.

Key words: *business-simulator, visualization, management, personal finance, software design.*

УДК 004.925.86+621.165
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-1/09

Борисенко В.Д.
Миколаївський національний університет імені В.О. Сухомлинського

Устенко І.В.
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Устенко А.С.
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОФІЛІВ ЛОПАТОК ОСЬОВИХ ТУРБОМАШИН ЕЛІПСАМИ ЛАМЕ

Стаття присвячена розробці методу геометричного моделювання спинки та коритця профілю лопатки осьової турбомашини із застосуванням еліпсів Ламе. Вхідні та вихідні кромки описуються дугами кіл. Еліпси будуються в косокутних системах координат, осі яких проходять через точки торкання спинки чи коритця профілю з колами вхідної та вихідної кромок. Одна з осей косокутної системи координат проводиться паралельно дотичній в кінцевій точки спинки або коритця, а друга – паралельно дотичній в початковій точці обводу профілю. Сумісним розв'язанням рівнянь, якими подаються осьові лінії, знаходяться центри косокутних систем координат. В цих системах координат будуються еліпси Ламе окремо для спинки та коритця профілю. Встановлено зв'язок між косокутними та ортогональними координатами точок обводів профілів.

У рівняннях еліпсів Ламе застосовуються показники степенів, відмінні від двох. Значення цих показників степенів визначаються в ітераційному процесі моделювання бажаної кривої, яка має задовольняти потрібним величинам геометричних кутів входу та виходу потоку. Пошук показників степенів еліпсів Ламе пов'язаний із забезпеченням проходження спинки модельованого профілю через горло каналу, а коритця – дотично до кола максимального радіусу, вписаного в профіль. Усього при моделюванні профілю лопатки осьової турбомашини задіяні 13 лінійних і кутових параметрів. На підставі запропонованого методу розроблено комп'ютерний код, який, окрім числових даних по координатах точок модельованого профілю, надає користувачу можливість візуалізовувати отримані результати у графічному вигляді на екрані монітора комп'ютера. Наведені результати моделювання тестового прикладу профілю лопатки, які підтвердили працездатність запропонованого методу геометричного моделювання профілів лопаток осьових турбомашин.

Ключові слова: *осьова турбомашина, профіль лопатки, моделювання, еліпс Ламе, лінійні та кутові параметри.*

Постановка проблеми. Проектування та виготовлення газотурбінних двигунів (ГТД) є складною науково-технічною проблемою. Одним із основних компонентів цих двигунів є осьові турбіни – газодинамічні машини, призначені для перетворення потенційної енергії стислої робочої речовини в кінетичну енергію обертання ротора. Ця енергія витрачається на привід гребного гвинта, якщо мова йдеться про суднову тематику, або електрогенератора чи якогось іншого пристрою стаціонарної енергетики.

Розробка нових проектів ГТД нерозривно пов'язана з вирішенням великої кількості різнопланових задач, до яких, в першу чергу, відносяться задачі термо-газодинамічні, міцнісні, конструктивно-компонувальні, технологічні та інші. Комплексне вирішення цих задач сприяє створенню високоефективних ГТД різного цільового призначення. До числа не менш важливих питань, що вирішуються при розробці проектів ГТД, слід також віднести ті, які пов'язані з моделюванням лопаткових апаратів, що формують проточні частини цих наукомістких виробів. Забезпечення високих аеродинамічних характеристик проектованих лопаткових апаратів турбомашин призводить до необхідності надання їм складної геометричної форми. Тому проектанти ГТД все більшу увагу приділяють розробці нових більш ефективних методів профілювання як плоских перерізів лопаток, так і поверхонь, що обмежують рух робочої речовини з мінімально можливими втратами енергії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасній літературі з тематики цієї статті можна знайти достатньо різноманітних методів геометричного моделювання профілів лопаток осьових турбомашин [1–9].

Методи, які застосовуються в практиці створення лопаткових апаратів, базуються на різних аналітичних підходах. Вони відрізняються між собою, головним чином, математичними залежностями, покладеними в їх основу. При цьому застосовуються явні, неявні, параметричні форми подання застосовуваних кривих, у тому числі, у натуральній параметризації.

У деяких з цих методів використовуються сполучення дуг кіл, еліпсів, парабол, гіперболічних спіралей [1], лемніскат [3] та інших відомих кривих. У деяких методах використовуються степеневі поліноми в поєднанні з дугами кіл [2], якими описуються вхідні та вихідні кромки профілів. У роботі [5] профіль лопатки турбіни запропоновано моделювати з використанням методу, названого її авторами «методом домінуючої кривини».

Перспективним слід вважати застосування кривих Безьє для моделювання обводів спинки і коритця профілю турбінної лопатки [6, 7]. Однак, при уявній простоті методу Безьє, аналітичну основу якого складають поліноми Бернштейна, його ефективне використання пов'язане з певними проблемними моментами, зумовленими раціональним розміщенням так званих вузлових точок або, як прийнято їх називати в спеціальній літературі, вершин характеристичної ламаної Безьє. Відомо, що характеристична ламана у першому наближенні окреслює майбутню плавну криву. Саме доцільне розташування управляючих вершин є трудомісткою, неоднозначною задачею. Розв'язання цієї задачі залежить від кваліфікації фахівця не тільки в геометрії кривих, але й в своїй предметній області. Окрім кривих Безьє, при поданні обводів профілів лопаток турбін застосовуються раціональні параметричні криві [4] та криві NURBS [8].

Завершуючи аналіз літературних джерел, необхідно зазначити, що всім розглянутим методам аналітичного профілювання лопаток осьових турбомашин притаманні ті чи інші переваги та недоліки, які обмежують їх широке застосування.

Постановка завдання. Метою цієї статті є розробка методу геометричного моделювання профілів лопаток осьових турбомашин, спинки і коритця яких пропонується подавати еліпсами Ламе. Для забезпечення потрібних кутів входу та виходу потоку в решітку профілів еліпси Ламе будуються в косокутних системах координат $\bar{x}\bar{O}\bar{y}$, осі яких проходять через точки спряження обводів профілів з колами вхідних і вихідних кромок. При цьому осі $\bar{x}$ проводяться паралельно дотичним до вихідних кромок, а осі $\bar{y}$ – паралельно дотичним до вхідної кромки.

Виклад основного матеріалу дослідження. При моделюванні решітки турбінних профілів використовуються геометричні параметри, зміст яких зрозумілий і не вимагає особливого пояснення (рис. 1). Вихідна кромка модельованого профілю розміщується дотично до ортогональних координатних осей. Зазначимо, що для побудови профілю турбінної лопатки застосовуються 13 геометричних параметрів – лінійних і кутових.

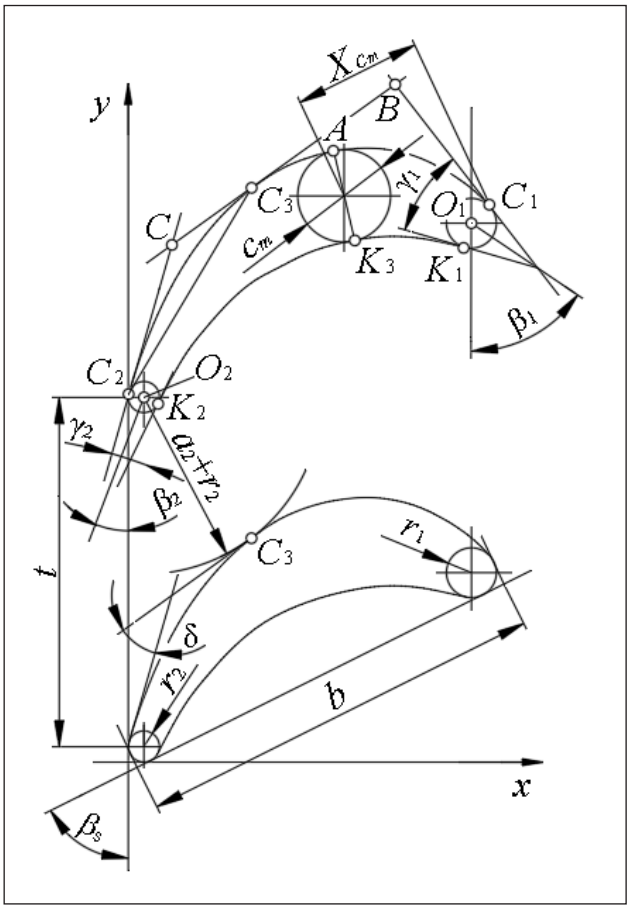


Рис. 1. Профілі турбінних лопаток та їх геометричні параметри

Моделювання обводів профілю лопатки осьової турбіни починають із розміщення за певними умовами так званих базових точок. До цих точок відносять центри кіл вхідної O_1 та вихідної O_2 кромок, точки C_1 і K_1 торкання дотичних до кола вхідної кромки, точки C_2 і K_2 торкання дотичних до кола вихідної кромки, також точка C_3, яка знаходиться у горлі каналу.

Спинку профілю будемо будувати в косокутній системі координат $\bar{x}\bar{O}_c\bar{y}$, осі $\bar{x}$ і $\bar{y}$ якої проходять відповідно через точки C_1 і C_2 (рис. 2). При цьому ось $\bar{x}$ паралельна дотичній в точці C_2, а ось $\bar{y}$ паралельна дотичній в точці C_1. Для знаходження центру координат $\bar{O}_c$ необхідно сумісно розв'язати рівняння прямих, які проходять через точки C_1 і C_2 паралельно відповідним дотичним:

$$y - y_{C_1} = \left(x - x_{C_1}\right) k_{C_2};$$

$$y - y_{C_2} = \left(x - x_{C_2}\right) k_{C_1},$$

де

$$k_{C_1} = \operatorname{tg}\left(\beta_1 - \frac{\pi + \gamma_1}{2}\right);$$

$$k_{C_2} = \operatorname{tg}\left(\frac{\pi + \gamma_2}{2} - \beta_2\right).$$

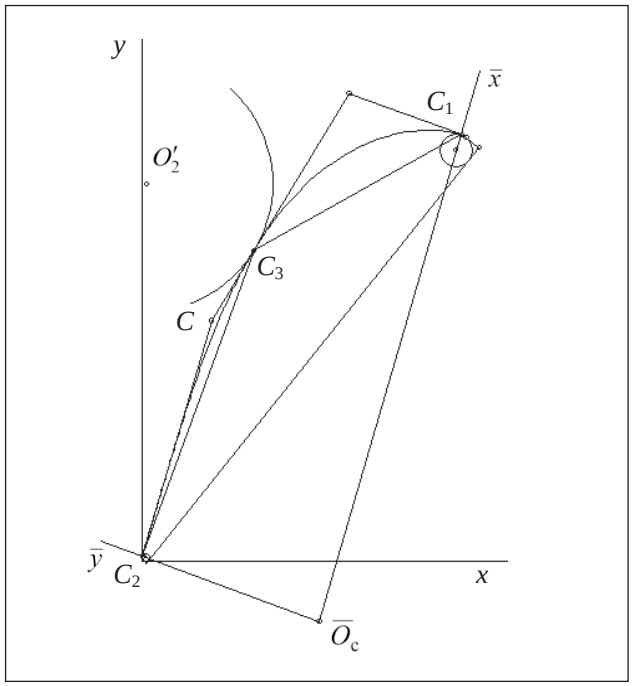


Рис. 2. Моделювання спинки профілю

Результат розв'язання цих рівнянь має вигляд:

$$x_{\bar{O}_c} = \frac{y_{C_2} - y_{C_1} + k_{C_2}x_{C_1} - k_{C_1}x_{C_2}}{k_{C_2} - k_{C_1}};$$

$$y_{\bar{O}_c} = y_{C_1} + k_{C_2}\left(x_{\bar{O}_c} - x_{C_1}\right).$$

У косокутній системі координат $\bar{x}\bar{O}_c\bar{y}$ відрізки $\bar{O}_cC_1$ і $\bar{O}_cC_2$ визначають величини великої a_c і малої b_c півосей еліпса, призначеного для опису спинки профілю лопатки осьової турбомашини.

Рівняння еліпсу Ламе візьмемо у наступному вигляді

$$\left(\frac{\bar{x}}{a_c}\right)^m + \left(\frac{\bar{y}}{b_c}\right)^n = 1, \qquad (1)$$

де

$$a_c = \sqrt{\left(x_{C_1} - x_{\bar{O}_c}\right)^2 + \left(y_{C_1} - y_{\bar{O}_c}\right)^2};$$

$$b_c = \sqrt{\left(x_{C_2} - x_{\bar{O}_c}\right)^2 + \left(y_{C_2} - y_{\bar{O}_c}\right)^2}.$$

Показники степенів m і n у рівнянні (1) знаходяться в ітераційному процесі розв'язання задачі профілювання спинки профілю.

У більшості відомих публікацій показники степенів еліпсів Ламе мають рівні значення. Крім того, вони розглядаються в ортогональних системах координат. У цій роботі вказані криві будуються в косокутних системах координат.

Можна показати, що зв'язок ортогональних координат x, y деякої точки спинки профілю з координатами $\bar{x}$, $\bar{y}$ косокутної системи координат має вигляд:

$$x = x_{\bar{O}_c} + \bar{x}\cos\alpha_c - \bar{y}\cos\beta_c; \qquad (2)$$

$$y = y_{\bar{O}_c} + \bar{x}\sin\alpha_c - \bar{y}\sin\beta_c, \qquad (3)$$

де

$$\alpha_c = \frac{\pi + \gamma_2}{2} - \beta_2; \qquad \beta_c = \frac{\pi + \gamma_1}{2} - \beta_1.$$

Під кутами α_c і β_c розуміються кути нахилу координатних осей $\bar{x}$, $\bar{y}$ до осі абсцис ортогональної системи координат.

Оскільки з рівняння (1)

$$\bar{y} = b_c\sqrt[n]{1 - \left(\frac{\bar{x}}{a_c}\right)^m},$$

то підставивши $\bar{y}$ до виразів (2) і (3), остаточно матимемо

$$x = x_{\bar{O}_c} + \bar{x}\cos\alpha_c - b_c\sqrt[n]{1 - \left(\frac{\bar{x}}{a_c}\right)^m}\cos\beta_c; \qquad (4)$$

$$y = y_{\bar{O}_c} + \bar{x}\sin\alpha_c - b_c\sqrt[n]{1 - \left(\frac{\bar{x}}{a_c}\right)^m}\sin\beta_c. \qquad (5)$$

Вирази (4) і (5) дозволяють визначити координати x і y будь-якої точки кривої і тим самим описують спинку профілю в прямокутній системі координат xOy.

Надалі необхідно мати залежності, які встановлюють зв'язок косокутних координат $\bar{x}$, $\bar{y}$ довільної точки з її ортогональними координатами. Ці залежності можна отримати, розв'язавши систему рівнянь (2)–(3) відносно $\bar{x}$ і $\bar{y}$. Після перетворень будемо мати:

$$\bar{x} = \frac{\left(x - x_{\bar{O}_c}\right)\sin\beta_c + \left(y - y_{\bar{O}_c}\right)\cos\beta_c}{\sin\left(\alpha_c + \beta_c\right)};$$

$$\bar{x} = \frac{\left(y - y_{\bar{O}_c}\right)\cos\alpha_c + \left(x - x_{\bar{O}_c}\right)\sin\alpha_c}{\sin\left(\alpha_c + \beta_c\right)}.$$

Координати $\bar{x}$ і $\bar{y}$ можна подати наступним чином

$$\bar{x} = a_1 x + a_2 y + a_3; \quad (6)$$

$$\bar{y} = a_4 x + a_5 y + a_6, \quad (7)$$

де

$$a_1 = \frac{\sin\beta_c}{\sin\left(\alpha_c + \beta_c\right)}; \quad a_2 = \frac{\cos\beta_c}{\sin\left(\alpha_c + \beta_c\right)};$$

$$a_3 = -\frac{x_{\bar{O}_c}\sin\beta_c + y_{\bar{O}_c}\cos\beta_c}{\sin\left(\alpha_c + \beta_c\right)};$$

$$a_4 = \frac{\sin\alpha_c}{\sin\left(\alpha_c + \beta_c\right)}; \quad a_5 = \frac{\cos\alpha_c}{\sin\left(\alpha_c + \beta_c\right)};$$

$$a_6 = \frac{x_{\bar{O}_c}\sin\alpha_c - y_{\bar{O}_c}\cos\alpha_c}{\sin\left(\alpha_c + \beta_c\right)}.$$

Підстановка виразів (6) і (7) до рівняння еліпсу (1) дозволяє встановити взаємний зв'язок координат x і y:

$$\left(\frac{a_1 x + a_2 y + a_3}{a_c}\right)^m + \left(\frac{a_4 x + a_5 y + a_6}{b_c}\right)^n = 1$$

або

$$b_c^n\left(a_1 x + a_2 y + a_3\right)^m + a_c^m\left(a_4 x + a_5 y + a_6\right)^n - a_c^m b_c^n = 0. \quad (8)$$

Показники степенів m і n рівнянь (1) або (8) визначаються за умови забезпечення заданої величини горла міжлопаткового каналу a_2. Спинка профілю має пройти через точку C_3, координати якої визначаються за виразами:

$$x_{C_3} = x_{O_2} + \left(a_2 + r_2\right)\cos\beta_{C_3};$$

$$y_{C_3} = y_{O_2} + t - \left(a_2 + r_2\right)\sin\beta_{C_3}.$$

У цих виразах під β_{C_3} розуміється кут нахилу дотичної:

$$\beta_{C_3} = \beta_2 - \gamma_2/2 + \delta.$$

Оскільки між координатами x і y існує неявна залежність виду

$$f(x, y) = 0,$$

то її похідна визначається наступним чином:

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{\partial f}{\partial x}\Big/\frac{\partial f}{\partial y},$$

де

$$\frac{\partial f}{\partial x} = b_c^n m\left(a_1 x + a_2 y + a_3\right)^{m-1} a_1 + a_c^m n\left(a_4 x + a_5 y + a_6\right)^{n-1} a_4;$$

$$\frac{\partial f}{\partial y} = b_c^n m\left(a_1 x + a_2 y + a_3\right)^{m-1} a_2 + a_c^m n\left(a_4 x + a_5 y + a_6\right)^{n-1} a_5.$$

Прирівнявши похідну в точці C_3 тангенсу кута β_{C_3}, після перетворень отримаємо наступний вираз:

$$b_c^n m\left(a_1 x_{C_3} + a_2 y_{C_3} + a_3\right)^{m-1}\left(a_1 + \mathrm{tg}\beta_{C_3} a_2\right) +$$
$$+ a_c^m n\left(a_4 x_{C_3} + a_5 y_{C_3} + a_6\right)^{m-1}\left(a_4 + \mathrm{tg}\beta_{C_3} a_5\right) = 0.$$

Вирази, записані в дужках, є величинами сталими. Введемо позначення:

$$A = a_1 x_{C_3} + a_2 y_{C_3} + a_3; \quad B = a_1 + \mathrm{tg}\beta_{C_3} a_2;$$

$$C = a_4 x_{C_3} + a_5 y_{C_3} + a_6; \quad D = a_4 + \mathrm{tg}\beta_{C_3} a_5.$$

Отримаємо

$$b_c^n m A^{m-1} B + a_c^m n C^{n-1} D = 0. \quad (9)$$

У цьому виразі невідомими величинами є показники степенів m і n. Але один з цих показників можна виразити через другий, скориставшись рівнянням (1), записаним для точки C_3:

$$n = \frac{\ln\left[1 - \left(\frac{x_{C_3}}{a_c}\right)^m\right]}{\ln\left(\frac{y_{C_3}}{b_c}\right)}. \quad (10)$$

Для сумісного розв'язання рівнянь (9)–(10) застосовано високоефективний алгоритм, запропонований в роботі [10]. Цей алгоритм сполучає безвідмовність бісекції з асимптотичною швидкістю методу січних.

У результаті розв'язання системи трансцендентних рівнянь стають відомими значення показників степенів m і n, що надає можливість побудувати обвід спинки профілю (див. рис. 2). Як випливає з розгляду рис. 2, побудована крива є дотичною до кіл вхідної та вихідної кромок, про це наочно свідчать прямі BC_1 і CC_2. У точці C_3 обвід спинки торкається горла міжлопакового каналу. Пряма BC є загальною дотичною до спинки профілю та дуги кола радіуса $a_2 + r_2$.

Процес профілювання спинки профілю можна вважати практично закінченим. Проте залишилось знайти точку торкання кола максимального радіусу зі спинкою профілю. Ця задача розв'язується у наступній послідовності. Спочатку визначається положення точки D (рис. 3), віддаленої від вхідної кромки на відстань X_{Cm}. Вказана відстань відкладається вздовж хорди профілю EF. Перпендикулярно до хорди проводиться пряма і визначається положення точки G як точки перетину з криволінійним обводом спинки профілю. На прямій DG має знаходитися центр O кола, яке відповідає максимальній товщині профілю. Положення центру O знаходиться числовим методом із застосуванням алгоритму, наведеному в роботі [10]. При роботі цього алгоритму вибирається деяка проміжна точка на дузі обводу. В цій точці визначається кут нахилу дотичної. Перпендикулярно до цієї дотичної проводиться пряма, знаходиться точка її перетину з прямою DG, розраховується відстань між проміжною точкою та точкою перетину. Ця відстань порівнюється з радіусом кола максимальної товщини профілю. Різниця між отриманою відстанню і радіусом вказаного кола зводиться до нуля.

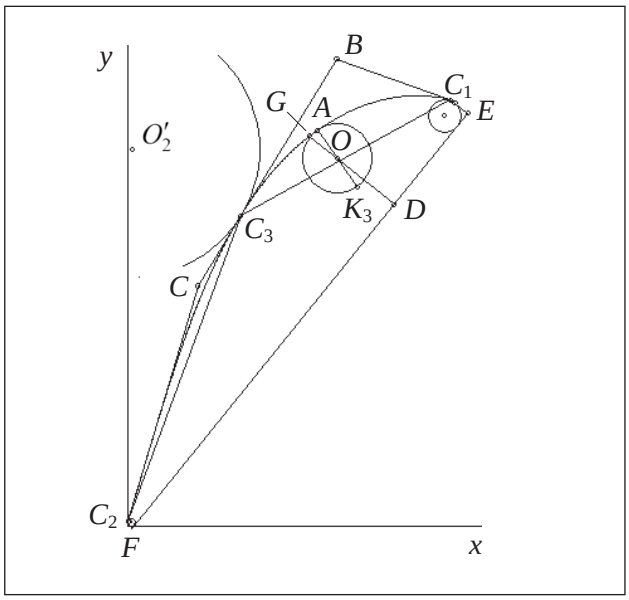


Рис. 3. Розміщення кола максимальної товщини профілю

У результаті числового розв'язання рівнянь визначаються координати x_O, y_O центра кола, вписаного в профіль, та точка A торкання цього кола зі спинкою профілю. Точка K_3 розташовується симетрично відносно центра O вписаного в профіль кола. Вона є точкою торкання коритця профілю з означеним колом.

Далі переходять до побудови коритця профілю. Для цього застосовуються ті ж самі вирази, що й при профілюванні спинки профілю, тільки в цьому випадку за опорні приймаються точки K_1 і K_2 з їх кутовими коефіцієнтами

$$k_{K_1} = \operatorname{tg}\left(\beta_1 - \frac{\pi - \gamma_1}{2}\right);\ \ k_{C_2} = \operatorname{tg}\left(\frac{\pi - \gamma_2}{2} - \beta_2\right).$$

Розв'язавши наступну систему рівнянь

$$y - y_{K_1} = \left(x - x_{K_1}\right) k_{K_2};$$

$$y - y_{K_2} = \left(x - x_{K_2}\right) k_{K_1},$$

отримуємо координати точки $\bar{O}_к$:

$$x_{\bar{O}_к} = \frac{y_{K_2} - y_{K_1} + k_{K_2} x_{K_1} - k_{K_1} x_{K_2}}{k_{C_2} - k_{C_1}};$$

$$y_{\bar{O}_к} = y_{K_1} + k_{K_2}\left(x_{\bar{O}_к} - x_{K_1}\right).$$

У косокутній системі координат $\bar{x}\bar{O}_к\bar{y}$ відрізки $\bar{O}_к K_1$ і $\bar{O}_к K_2$ визначають величини $a_к$ і $b_к$, які є півосями еліпсу:

$$\left(\frac{\bar{x}}{a_к}\right)^m + \left(\frac{\bar{y}}{b_к}\right)^n = 1,$$

де

$$a_к = \sqrt{\left(x_{K_1} - x_{\bar{O}_к}\right)^2 + \left(y_{K_1} - y_{\bar{O}_к}\right)^2};$$

$$b_к = \sqrt{\left(x_{K_2} - x_{\bar{O}_к}\right)^2 + \left(y_{K_2} - y_{\bar{O}_к}\right)^2}.$$

У рівнянні еліпсу для коритця профілю коефіцієнти a_1, … a_6 мають той же самий сенс, тільки вони розраховуються з використанням кутів $\alpha_к$ і $\beta_к$, де

$$\alpha_к = \frac{\pi - \gamma_2}{2} - \beta_2; \qquad \beta_к = \frac{\pi - \gamma_1}{2} - \beta_1.$$

Змодельоване коритце профілю показано на рис. 4. Для його побудови у наявності були три точки та кути нахилу в них дотичних. Зазначимо, що в точці K_3 кут нахилу дотичної дорівнював куту нахилу дотичної в точці A.

На підставі викладеного методу геометричного моделювання обводів спинки і коритця профілю лопатки осьової турбомашини розроблено комп'ютерний код. Усі рисунки в цій статті, окрім першого, є скріншотами, отриманими в процесі роботи цього коду.

На завершення на рис. 5 показано міжлопатковий канал, сформований двома змодельованими профілями.

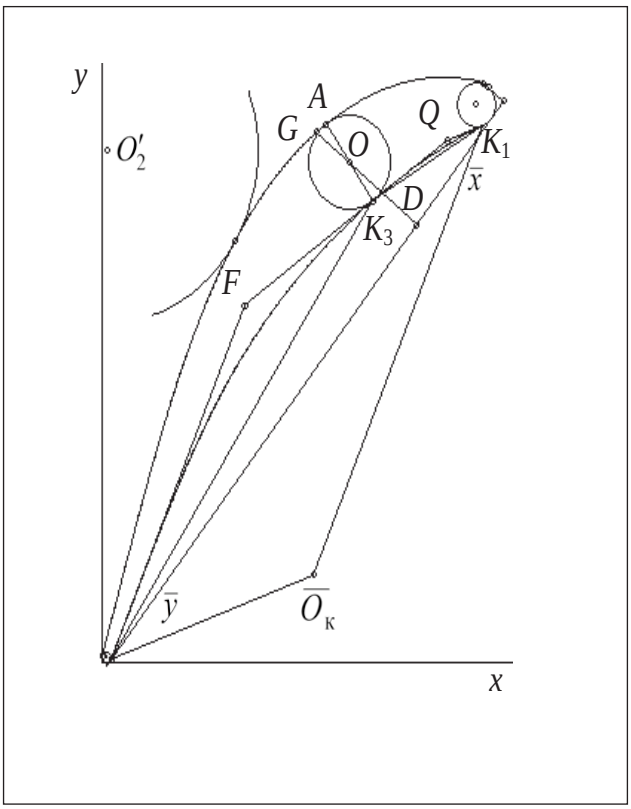


Рис. 4. Моделювання коритця профілю

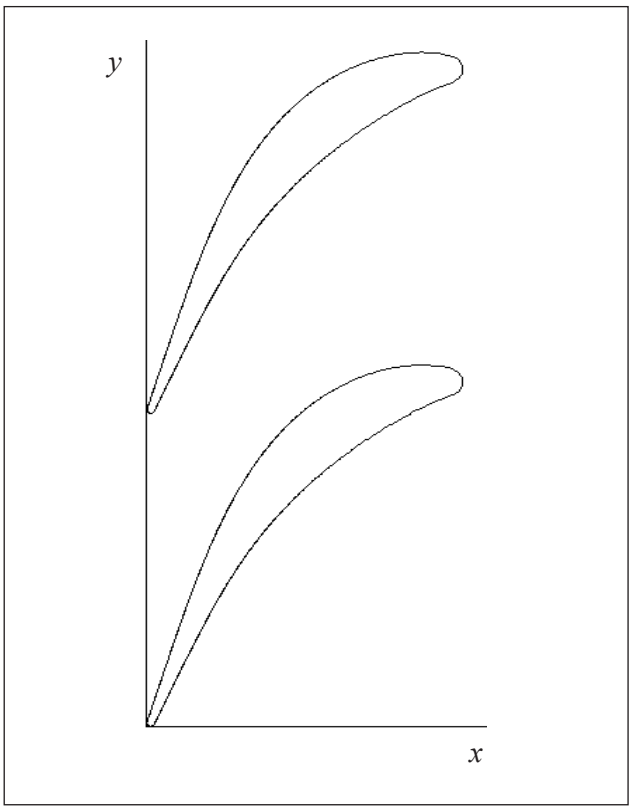


Рис. 5. Міжлопатковий канал

Висновки. Запропонований метод геометричного моделювання профілів лопаток осьових турбомашин підтвердив свою працездатність проведеними розрахунковими дослідженнями та отриманими графічними результатами. Він може бути запропонований у практику проектування та створення лопаткових апаратів турбомашин різного цільового призначення.

Список літератури:

1. Аронов Б.М., Жуковский М.И., Журавлев В.А. Профилирование лопаток авиационных газовых турбин. Москва : Машиностроение, 1975. 192 с.

2. Бойко А.В., Гаркуша А.В. Аэродинамика проточной части паровых и газовых турбин: расчеты, исследования, оптимизация, проектирование. Харьков : ХГПУ, 1999. 360 с.

3. Дейч М.Е.,. Филиппов Г.А., Науман В.И. Лемнискатный метод построения профилей дозвуковых решеток // Теплоэнергетика. 1964. № 7. С. 74–78.

4. Карелин А.М. Построение решетки турбинных профилей на основе рациональных параметрических кривых // Лопаточные машины и струйные аппараты. Москва : ЦИАМ, 1989. Вып. 9. С. 79–89.

5. Мамаев Б.И., Рябов Е.К. Построение решетки турбинных профилей методом доминирующей кривизны // Теплоэнергетика. 1979. № 2. С. 52–55.

6. Поликарпов А.Л. Применение составных кривых Безье для построения решеток турбинных профилей // ИВУЗ «Энергетика». 1991. № 3. С. 89–93.

7. Слитенко А.Ф., Кузьменко А.А. Построение решеток турбинных профилей с помощью полиномов Безиера-Бернштейна // ИВУЗ «Машиностроение». 1988. № 9. С. 77–81.

8. Ghaly W.S., Mengistu T.T. Optimal geometric representation of turbomachinery cascades using NURBS // Inverse Problems in Engng, 2003. Vol. 11, № 5. PP. 359–373.

9. Pritchard L.J. An eleven parameter axial turbine airfoil geometry model // ASME paper. 1985. 85-GT-219. 12 p.

10. Форсайт Дж., Малькольм М., Моулер К. Машинные методы математических вычислений. Москва : Мир, 1980. 279 с.

Borisenko V.D., Ustenko I.V., Ustenko A.S. MODELING THE AIRFOIL PROFILES OF AN AXIAL FLOW TURBOMACHINE BLADES BY LAME'S ELLIPSES

The article is devoted to the development of a method for geometric modeling of the airfoil profiles of axial flow turbomachine blades using Lame ellipses. The leading and trailing edges are described by circles. Ellipses are constructed in oblique coordinate systems whose axes pass through the touch points of the suction or pressure side of the modeled airfoil profile with the circles of the leading and trailing edges. One of the axes of the oblique coordinate systems is parallel to the tangent at the end point of the suction or pressure side, and the second is parallel to the tangent at the starting point of the side of the modeled airfoil profile.

Compatible solving equations that describe axial line define centers oblique coordinate systems. In these coordinate systems, Lame ellipses are constructed separately for the suction and pressure sides of the profile. The connection between the oblique and orthogonal coordinates of the profile points is established. The exponents of power other than two are used in Lame ellipse equations. The values of these exponents of power are determined in the iterative process of modeling the given curve, which should satisfy the required values of the geometric angles of the input and output of the flow.

The search for the exponents of power of the Lame ellipses is associated with ensuring the passage of the airfoil profile suction side through the throat of the channel, and the pressure side tangent to the circle of maximum radius inscribed in the airfoil profile. In total, 13 linear and angular parameters are involved in modeling the airfoil profile of the blade of an axial flow turbomachine.

Based on the proposed method, a computer code was developed that, in addition to the numerical data on the coordinates of the points of the modeled profile, gives the user the ability to visualize the results obtained graphically on a computer monitor screen. The results of modeling of a test example of the blade profile, which confirmed the workability of the proposed method of geometric modeling of blades profiles of axial turbomachines, are presented.

Key words: *axial flow turbomachine, blade airfoil profile, modeling, Lame ellipse, linear and angular parameters.*

УДК 621.327.001
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-1/10

Власенко О.В.
Державний університет «Житомирська політехніка»

Єфремов Ю.М.
Державний університет «Житомирська політехніка»

Єфремов М.Ф.
Державний університет «Житомирська політехніка»

Оринчак І.А.
Державний університет «Житомирська політехніка»

МОТИВАЦІЯ СИСТЕМ ЗІ ШТУЧНИМ РОЗУМОМ

У статті розглянуто поняття «штучний розум». Це поняття визначається досить різнопланово, з урахуванням різних індивідуальних особливостей, а саме, в царині пізнання, мислення, сприйняття, прийняття рішення. Як самостійний науковий напрям штучний інтелект існує з 40-х років XX століття. Поширена думка, що саме дослідження в цьому напряму будуть визначати основний вектор розвитку того інформаційного суспільства, яке замінює індустріальну цивілізацію.

Використання штучного розуму в різних сферах діяльності людини значно спрощує роботу в тих галузях життєдіяльності людини, де вагомий вплив здійснюють природні умови, екологія та інші негативні фактори. Обґрунтовано те, що під штучним розумом мається на увазі теорія створення програмних і апаратних засобів, здатних усвідомлено сприйняти довкілля, як середовище життєдіяльності. Усвідомлювати і пізнавати його закони, моделювати процеси цього середовища, створення програмно-апаратних засобів, що виконують взаємодію з навколишнім світом.

Проводиться порівняння природного і штучного розумів за різними методиками. Порівнюються механізми і результати роботи комп'ютерної системи і людського мислення, їх ефективність у вирішенні тих чи інших типів завдань. Розв'язання проблеми електронного подання знань в комп'ютерних системах розглядають як одну з головних проблем в області штучного розуму.

Практичне застосування інтелектуальних систем розпочалось з розробки програми для вирішення математичних завдань, доказу теорем, шахових ігор. Наразі багато первинних ідей штучного інтелекту реалізовано в спеціальних технологіях, які ввійшли в наше повсякденне життя і сприймаються як належне. Автори розглядають принцип моделювання професійних знань на основі експертних систем, де вміст «знань» комп'ютера є основою знань для штучного розуму. Порушено питання про оцінку якості довіри до результатів діяльності штучного розуму.

Ключові слова: *розум, знання, інтелект, мислення, евристичні правила, інтерпретація, експертна система, семантичний аналіз.*

Постановка проблеми. У сучасному світі загальної автоматизації і комп'ютеризації відбувається розподіл праці, збільшується кількість людей, що працюють в інформаційній царині у порівнянні з виробничою. В інформаційній галузі – автоматизація і комп'ютеризація дещо відстає від виробничої царини. Нині людині вже мало того, що комп'ютери і комп'ютерні системи можуть виконувати складні розрахункові і управлінські завдання, їй потрібний помічник – для швидкої інтерпретації, семантичного аналізу величезного об'єму інформації. Помічникомд ля вирішення таких завдання може стати штучний розум (ШР).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З появою комп'ютерів виникло питання створення ШР. Яким він має бути? Подібно до розуму людини або якогось автомата з розумною поведінкою іншої якості? [2,3,6–9,11,12,]. При проектуванні ШР виникає дилема як його представити? Якщо на основі комп'ютерних систем (КС), чи буде ШР комп'ютера, подібний до природного (людському) розуму (ПР) за формою сприйняття і осмислення реального світу. Як будуть представлені знання в КС і багато іншого?

Постановка завдання. Метою досліджень є штучний розум, питання про можливість його створення; порівняння штучного і природного

розуму; проблема представлення знань у комп'ютерних системах на основі експертних систем; питання довіри до результатів діяльності штучного розуму.

Виклад основного матеріалу дослідження. Термін парадигма ШР сформувався в основному в середині XX-го століття. Людство в силу своєї «ліні» завжди мріяло про штучного помічника. Основною рушійною силою при побудові ШР стала поява комп'ютерної техніки в 60-х роках XX-го століття. Під штучним розумом мається на увазі теорія створення програмних і апаратних засобів, здатних усвідомлено сприйняти довкілля, як середовище життєдіяльності, усвідомлювати і пізнавати його закони, моделювати процеси цього середовища та створювати програмно-апаратні засоби, які виконують взаємодію з оточуючим світом [8].

Основними особливостями людського розуму є здатність до навчання, і ухвалення рішень, які людина робить, для досягнення певної мети [10]. Тут слід уникнути плутанини між штучним розумом і штучним інтелектом, оскільки, останньому відводиться роль пошуку оптимального варіанту рішення, для досягнення розв'язку поставленої задачі.

Мотивація – це головна рушійна сила, що змушує функціонувати систему визначено і цілеспрямовано. Її наявність необхідна для прийняття рішення в конкретних умовах і спірних ситуаціях. Така система зможе функціонувати за умови, якщо вона буде вмотивована для досягнення поставленої мети.

На початковому етапі має бути хоча б одна первинна мотивація. Її також можна вважати точкою старту в розумовому процесі. Це виключить неоднозначності висновків в процесі моделювання міркувань. При просуванні до поставленої мети, відразу виникають два паралельні процеси: один з яких намагається зрозуміти, які умови необхідно виконати; інший моделює і прораховує усі «витрати», пов'язані з досягненням цілі. Таким чином, це дозволяє спрогнозувати оптимальний варіант рішення.

Будь-яка мотивація і дія, що викликається нею, виконуються тільки в конкретній залежності системи даних і знань [15]. Залежність різних мотивацій може перетинатися і/або включатися одна в одну, що визначається пов'язаністю (однотипністю) цих мотивацій. Якщо відбувається операція уточнення мотивації, то уточнюється і залежність для якої вона сформульована. Залежність може складатися з одних елементів (структур даних, знань) або з різних структур. У першому випадку вирішується питання про зв'язки (кількість) базових елементів, в іншому випадку про правила приведення одного елементу в залежність від іншого. Чітке розмежування структури від даних дозволяє описувати ситуацію, коли механізм, виведений на структурі одного контексту, застосовується до абсолютно іншого контексту.

На рисунку 1 показана робота схеми залежності мотивацій.

Основна складність моделювання ШР полягає в тому, що досі не існує однозначного і загальноприйнятого визначення і розуміння ПР. Існує в основному два напрями розуміння:

1) під ШР мається на увазі набір програмних і апаратних засобів, використання яких повинне було б призводити до тих самих результатів, до яких при рішенні цього класу завдань призводить інтелектуальна діяльність людини;

2) під ШР мається повна або наближена імітація інтелектуальної діяльності людини.

Навіть на спеціальному науково-психологічному рівні, ґрунтованому на науковому вивченні

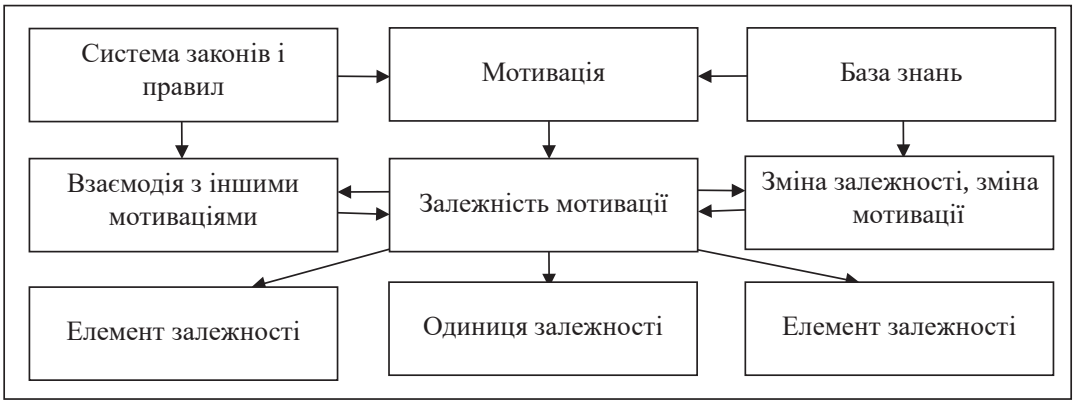


Рис. 1. Схема залежності мотивацій

психологічної діяльності людини, ПР досі залишається найбільшою філософською загадкою. Що стосується логічного рівня, ґрунтованого на законах мислення, людський розум вивчений лише феноменологічно, коли явища, що спостерігаються, не можуть бути пояснені загальними законами природи. І як наслідок – відсутність відповідного математичного апарату.

Головна проблема ШР полягає в наступному. Якщо ми володіємо чіткими, такими, що піддаються формальному роз'ясненню знань про рішення певного класу завдань, то на основі впорядковування таких знань можуть бути отримані чіткі алгоритми або евристичні (нечіткі) правила. Використовуючи ці правила, можна сконструювати програми, реалізація яких сучасними апаратними засобами зможе дати можливість вирішувати данні задачі. Проте, досить часто людина при рішенні деяких завдань не знає як саме вона це робить. Іншими словами, люди фактично не мають повного і вичерпного самопізнання власних розумових процесів. Це стосується не лише виключно інтелектуальної сфери або логічного мислення, яке здійснюється за допомогою логічного міркування з поняттями процесу. Основними процесами з поняттями є узагальнення і навчання взаємодії з навколишнім світом. Також емоційні та фізичні види діяльності, що складаються з емоцій, переживань, відчуттів. Ми бачимо, чуємо, оперуємо образами різної природи, не знаючи, як саме образи виникають і які їх закономірності та функціональність в нашій свідомості. Ми часто ставимо завдання, висловлюємо припущення, приймаємо несподівані рішення, але часто самі не можемо детально описати алгоритм такої діяльності.

З цього виходить, що на свідомому рівні ми не контролюємо операції процедури і процеси що лежать в основі розумового процесу, отже, не можемо навчити комп'ютер виконувати відповідні дублюючі або імітуючі дії. Тут діє принцип, згідно з яким комп'ютер не зможе робити того, що йому не доручає людина, чого він сам не вміє робити [1]. Насправді ж людина вміє робити значно більше, ніж розуміє, як робити. Ці міркування слугують підставою для комп'ютерної непізнаваності. Їх підкріплюють також філософські міркування, ґрунтовані на обмеженій пізнаваності світу в цілому, а також суб'єктивно-духовного світу людини особливо.

У XXI столітті вже існують величезні бази знань і потужні експертні системи, що містять тисячі правил, здатних вирішити деякі завдання краще, ніж програмісти, що створювали їх, та фахівці відповідного профілю. Наразі є інтелектуальні комп'ютерні системи, що читають тексти будь-яким голосом, що виконують переклади в режимі реального часу та інші технічні досягнення.

Ці та подібні до них приклади є фактом підтвердження комп'ютерної теорії, яка стверджує, що труднощі на шляху створення ШР, що перевершує по потужності і творчим можливостям ПР носять тимчасовий характер і пов'язані лише з технічними проблемами, які принципово можуть бути усунуті в найближчому майбутньому [14]. Таким чином, необхідно вирішувати принципові, а не технічні сторони проблеми.

З філософської точки зору вона полягає в наступному дослідженні. Чи є мислення виключно привілеєм людини (так або ні). І практичної точки, яким чином розумовий процес можна відтворити технічно – штучним способом?

При відповіді «так» на перше питання необхідно досліджувати, чи має людський мозок якісь специфічні механізми, не відтворні за допомогою інших систем і якщо так, то і неможлива їх реалізація. Отримана негативна відповідь визнає прямий факт практичної неможливості створення ШР, оскільки його створення буде залежить від технічно нездійсненних тих або інших інтелектуальних механізмів. Але така відповідь дала б принципову основу якщо не для теорії, то для обмежень комп'ютерного оптимізму.

Створення ШР і вивчення ПР вимагає їх порівняння. Порівняння проводиться по різних методиках: порівнюються механізми і результати роботи комп'ютерної системи і людського мислення, їх ефективність в рішенні тих або інших типів завдань. При цьому одні вважають, що дослідження повинні проводитися приблизно до можливостей комп'ютерної системи з можливостями ПР. Інші вважають, що метою ШР є не моделювання людського мислення, а винахід способів обробки інформації, принципово відмінних від людського мислення. Вони вважають, що людське мислення не ефективне або де його використання недоцільне.

Час від часу висловлюються думки про принципову недоцільність порівняння інтелектуальної комп'ютерної системи і ПР. Слід зазначити, що порівняння систем ШР з ПР не лише є реалізацією неусувної потреби людини в співвіднесенні «я» з тим, що в певному відношенні подібно до мене, належать до області «не-я», але і відіграє важливу роль у створенні нових типів інтелектуальних

систем, у формуванні підходів і парадигм ШР [1, 14].

Проблема представлення знань в КС – одна з головних проблем в області ШР. Вирішення цієї проблеми дозволить фахівцям, не навченим програмуванню, безпосередньо на природній для людини мові в діалоговому режимі працювати з комп'ютером і з його допомогою формувати необхідні рішення. Таким чином, вирішення проблеми представлення знань в КС дозволить істотно посилити інтелектуальну творчу діяльність людини за рахунок комп'ютера.

Звернемося до історії розвитку цієї проблеми. З появою електронно-обчислювальної техніки відкрилася можливість електронного представлення знань. На першому етапі це були самі дані та програми, що їх оброблювали. Взаємодія фахівців різних профілів, в інтересах яких використовувалися комп'ютери, здійснювалася через прикладних-математиків і програмістів. Надалі сталося відділення даних від програм – з'явилися бази даних, що дозволило створювати інформаційно-довідкові, інформаційно-пошукові системи різних типів. З'явився діалоговий режим взаємодії людини з комп'ютером, який в певних межах дозволив забезпечити роботу фахівців, не навчених програмуванню.

Створення баз даних, а також найскладніших програм багато в чому стало можливим тому, що докорінно змінилася і мова, і принципи програмування. Певні успіхи в цій царині дозволили говорити навіть про інтелектуалізацію комп'ютерної техніки. В першу чергу проблема зближення мов вирішувалася для створення великих інформаційно-пошукових систем, де користувач спілкувався з комп'ютером на обмеженій природній мові.

Проблема змістовного аналізу текстів, яка виникла, відразу поставила питання про побудову семантичної моделі певної предметної області. Проте, оскільки комп'ютер зараз здатний обробляти тільки формалізовані дані, такі моделі могли бути побудовані тільки в разі успішної формалізації знань в цій сфері. У зв'язку з цим у теорії ШР були розроблені семантичні мережі, фрейми, продукційні системи. Формалізми ШР дозволили, з одного боку, будувати бази знань як абстрактну надбудову над базою даних, а з іншого – створювати моделі знань багатьох областей описових і слабо формалізованих наук (геологія, медицина, біологія, громадські науки). Інтерпретуючи це положення для комп'ютерних систем, можна стверджувати, що повна формалізація – це ворог ШР [15].

Сьогодні комп'ютер свідомо використовуються як засіб представлення знань. Проте, сам комп'ютер містить не знання, а інформацію, тобто представлення або модель знань. На основі цієї моделі користувач підбирає необхідне йому знання. Облаштування пам'яті комп'ютера не рівнозначне пам'яті людини, яка є набагато складнішим феноменом і слугує зручним для комунікації сховищем моделей і знань. Цей принцип моделювання професійних знань лежить в основі експертних систем (ЕС). Оскільки ЕС безпосередньо допомагають у здійсненні інтелектуальної діяльності людини, то розробку ЕС часто відносять до досягнень в області ШР. Проте, багато фахівців вважають ЕС ефективною альтернативою ШР, хоча в їх створенні використаний ряд сучасних досягнень з області ШР.

Тоді як ШР ставить завдання створення інтелектуальних моделей дійсності, що забезпечують доцільну поведінку, головну в розробці ЕС – це модель професійних знань про певний аспект дійсності, властивих людині – експертові або декільком експертам.

Розробки в області ШР спрямовані на заміну інтелектуальних функцій людини функціями комп'ютера. На противагу цьому ЕС не лише не припускають витіснення людини з якихось інтелектуальних сфер діяльності, а орієнтуються на те, що професійні знання фахівця, як правило, краще описують погано структуровану дійсність, ніж будь-яка штучна модель.

Роль ЕС полягає в тому, щоб зробити знання одного або декількох експертів надбанням будь-якого фахівця в цій галузі незалежно від просторово-часових обмежень. В ідеалі користувач у процесі взаємодії з експертною системою сам стає експертом знань, які знаходяться в цій системі. Таким чином, ЕС орієнтована на творчість користувача, на якому надалі і лежить відповідальність за рішення, що приймаються, з урахуванням професійних знань представлених йому через ЕС. ШР відводить людині пасивну роль і сам бере відповідальність за ухвалення складних рішень.

Тепер розберемо питання довіри до результатів діяльності ШР. Хоча створення «справжнього» ШР навряд чи можна вважати подією осяжного майбутнього. Сьогодні комп'ютер і системи ШІ мають достатню міру автономності і не контрольованості з боку людини, щоб породити проблеми, пов'язані з довірою до результатів інформаційно-переробної діяльності. Мається на увазі переробка інформації в широкому сенсі (отримання,

зберігання, перетворення і передачу інформації). Значна частина цих проблем має технічний або практичний характер. Проте, існує і метафізичне питання. Тобто, як те або інше рішення здатне впливати на вибір стратегії вживання практичних заходів контролю над комп'ютерною переробкою інформації [1].

Проблема контролю над роботою комп'ютера і оцінка результатів переробки інформації комп'ютером пов'язані з неможливістю для людини простежити за виконанням операцій. Починаючи з певного об'єму даних і швидкості їх обробки, ми повинні ґрунтуватися на сумнівному положенні, що комп'ютер не стане поводитися інакше у сфері великих об'ємів інформації і швидкості її переробки, ніж та, з якою ми безпосередньо знайомі.

Що стосується людини, то вона вже сьогодні не в змозі перевірити багато, навіть відносно коротких, послідовностей операцій, що виконуються звичайними комп'ютерами. Ще більшою мірою це справедливо для складних програм, в яких багато обчислень виконуються паралельно.

При нездійсненності прямого контролю над роботою ШР і вичерпної перевірки результатів машинних операцій має сенс ввести тестовий контроль.

Висновки. На сучасному етапі розглянута проблема створення штучного розуму, пов'язаного з побудовою його розумової діяльності. Проблема представлення знань у комп'ютерних системах є, мабуть, найважливішою в області моделювання для створення.

Накопичуючи знання про зовнішній світ, фіксуючи дані, осмислюючи їх, людина створює складну систему представлень деяку концептуальну модель, яка фіксується природною мовою. Модель про зовнішній світ у людини:

– слабо типізується, тобто, зведена до спрощення числа типів чого-небудь, іншими словами, втілена у вигляді аналогій типів конкретних образів;

– слабо формалізована, тобто, для надання змісту знання жорстких, точних, конструктивних форм, така модель припускає оперування образами і в ній можна виділити три рівні:

1) синтаксичний, такий, що вивчає способи поєднання слів усередині пропозиції;

2) семантичний, такий, що вивчає смислове значення одиниць мови, де під одиницею мови розуміються постійні мовні елементи, що відрізняються один від одного призначенням, будовою і місцем в системі мови;

3) прагматичний, такий, що базується на практиці, як критерії істини і смислової значущості.

Необхідно пам'ятати, що ця модель представляє лише спрощений об'єкт, що зберігає важливі властивості реально існуючого об'єкту або системи.

У ШР також планується створити модель зовнішнього світу, проте принципи функціонування такої моделі по засобах використання комп'ютера такі, що ця модель має жорстко типізуватися і бути формалізована.

Сьогоднішній досвід примушує зробити висновок, що вид такої моделі при використанні комп'ютера буде дуже неточний. Звдання створення штучного розуму в осяжному майбутньому має бути поставлене науково. Проте, не можна не бачити, що відбувається постійне вдосконалення системи представлення і оперування даними, вже створені і функціонують складні експертні системи, які надають істотну допомогу фахівцям в різних сферах людської діяльності. І такі експертні системи – ще далеко не межа можливості представлення знань у комп'ютері. У роботі лише позначені складні питання, що стоять на шляху моделювання на комп'ютері основних функцій людського мислення, які вимагають детальнішого і комплексного філософського, методологічного аналізу.

Список літератури:

1. Амосов Н.М. Алгоритмы разума. К. : Наук. думка, 1979. 224 с.

2. Автоматы и разумное поведение: Опыт моделирования / Н.М. Амосов, А.М. Касаткин, Л.М. Касаткина и др. К. : Наук. думка, 1973. 374 с.

3. Батырь А.Ю. Компьютер обретает разум / А.Ю. Батырь, Р.Г. Герр, под редакцией В.Л. Стефанюка. М. : Мир, 1990. 240 с.

4. Гарбарчук В.І. Концептуальні основи теорії штучного інтелекту / В.І. Гарбарчук // Искусственный интеллект. 2004. № 3. С. 47–57.

5. Грязнов А.Ю. Абсолютное пространство как идея чистого разума // Вопросы философии. 2004. № 2. С. 127–147.

6. Валькман Ю.Р., Быков В.С. Контексты в процессах, образного мышления: классификации, структуры, свойства // Тр. VII Международ. конф. «Когнитивное моделирование в лингвистике», Варна, 2005. С. 60–71.

7. Єфремов Ю.М. Модель навколишнього середовища для штучного розуму / Ю.М. Єфремов, М.Ф. Єфремов // Вісник ЖНАЕУ. 2017. № 2(61) С. 150–157.

8. Ефремов Ю.Н. Моделирование искусственного сознания / Ю.Н. Ефремов // Искусственный интеллект; Сб. Науч. Трудов I Международ. конф. «Искусственный интеллект 3'2000». Донецк 2000. № 3. С. 48–51.

9. Зубаль И. Вселенский разум // CHIP. 2004. № 1. С. 80–84.

10. Крейн И.М. Естественный Р*азум* и искусственный интеллект. III. Internet как этап развития внешней памяти Разумных систем (постановка проблемы) // УСиМ. 2001. № 1. С. 79–89.

11. Палагін О.В., Кургаєв О.П., Шевченко А.І. Ноосферная парадигма науки та штучний інтелект. // Кибернетика и системный анализ. 2017. № 4. С. 12–21.

12. Frey C.B. & Osborne M.A. (2017). The future of employment: how susceptible are jobs to computerization. Technological Forecasting and Social Change, 114, 254–280.

13. Frey C.B. & Osborne M.A. (2017). Будущее занятости: насколько восприимчивы рабочие места компьютеризация. Технологическое прогнозирование и социальные изменения, 114, 254–280.

14. Gurkaynak G., Yilmaz I. & Haksever G. (2016). Stifling artificial intelligence: Human perils. Computer Law & Security Review, 32(5), 749–758.

15. Гуркайнак Г., Йилмаз И., Хаксевер Г. (2016). Удушение искусственного интеллекта: Человек опасности. Computer Law & Security Review, 32 (5), 749–758.

Vlasenko O.V., Efremov Yu.M., Efremov M.F., Orynchak I.A.

MOTIVATION OF SYSTEMS WITH ARTIFICIAL MIND

An artificial mind is considered – a concept that is defined quite diversely, taking into account individual characteristics relating to the field of knowledge, primarily thinking, memory, perception, decision-making and others. As independent scientific direction artificial mind exists from 40th of XX century. Probably, that research in this direction will determine basic vector of development of that informative society that replaces industrial civilization.

The use of artificial mind in the different spheres of activity of man considerably simplifies work in those industries of vital functions of man, where ponderable influence is carried out by natural terms, ecology and other negative factors. It is justified that artificial mind has two main purposes: first, artificial mind refers to the theory of creating software and hardware capable of carrying out intellectual activity comparable to human intellectual activity; secondly, such software hardware itself, as well as activity with their help.

A comparison of the natural and artificial minds is carried out using various methods: the mechanisms and results of the computer system and human thinking, their effectiveness in solving various types of tasks are compared. Solving the problem of electronic representation of knowledge in computer systems, as one of the main problems in the field of artificial mind. Practical application of the intellectual systems was begun with development of the program for the decision of mathematical tasks, proof of theorems, chess games. Now many primary ideas of artificial mind are realized in the special technologies that entered our everyday life and perceived as a due.

The principle of modeling professional knowledge based on expert systems, where the contents of computer memory are used for communication as a model of knowledge for artificial mind, is examined. The question of confidence in the results of the artificial mind is raised.

Key words: *mind, knowledge, intellect, thinking, heuristic rules, interpretation, expert system, semantic analysis.*

УДК 004.932.2
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-1/11

Глухова Н.В.
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

Пісоцька Л.А.
ДЗ «Дніпропетровська медична академія МОЗ України»

АВТОМАТИЗОВАНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПРОЯВІВ ПСИХОЕМОЦІЙНОЇ ЛАБІЛЬНОСТІ НА ЗОБРАЖЕННЯХ ГАЗОРОЗРЯДНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

У статті висвітлено сучасні проблеми ранньої клінічної діагностики. Показано перспективність методу газорозрядного випромінювання в напрямку практичної реалізації комплексної неінвазивної діагностики організму людини. Метод заснований на отриманні зображень випромінювання фаланг пальців у зовнішньому імпульсному електромагнітному полі. Проаналізовано існуючі підходи застосування методу газорозрядного випромінювання для медичної діагностики.

Запропоновано методику автоматизованої ідентифікації проявів психоемоційної лабільності на зображеннях газорозрядного випромінювання фаланг пальців людини. Накопичено експериментальні дані, які з метою виявлення інформативних ознак випромінювання розподілено на декілька груп: контрольна та з проявами психоемоційної лабільності різного ступеня.

Для здійснення медичної діагностики розроблене прикладне програмне забезпечення, яке призначене для кількісної оцінки геометричних та фотометричних ознак газорозрядного випромінювання у секторах пальців. У якості геометричного параметру використовується ширина корони випромінювання. Для оцінки фотометричних характеристик розраховується відношення мінімальної та максимальної яскравостей випромінювання у секторі. З метою ідентифікації проявів психоемоційної лабільності обчислюються абсолютні (за модулем) та відносні різниці ознак світіння у відповідних секторах правої та лівої руки. Алгоритм програмної реалізації методики засновуються на кількісній оцінці несиметричності геометричних та фотометричних ознак світіння. При порівнянні кількісних параметрів випромінювання використовуються індивідуальні показники у секторах, а також узагальнені статистичні оцінки у вигляді медіани та середнього арифметичного.

Розроблена методика рекомендується для скринінгових неінвазивних досліджень з метою реалізації ранньої комплексної діагностики неінфекційних захворювань різних органів та систем людини.

Ключові слова: *газорозрядне випромінювання, аналіз даних, цифрова обробка зображень, медична діагностика.*

Постановка проблеми. Сучасний рівень розвитку клінічної лабораторної діагностики вимагає розроблення нових методів комплексної діагностики організму людини. Відомо, що результати клінічної діагностики містять складові ймовірнісного характеру. Саме тому актуальним виявляється завдання урахування множини факторів, які впливають на результати кількісної оцінки параметрів при експериментальних дослідженнях стану організму.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Функціонування організму характеризується варіабельністю, паралельно з тим при здійсненні діагностики може проявлятися ефект впливу низки зовнішніх факторів. На сьогоднішній день розроблено та впроваджено на практиці велике різноманіття методів ранньої діагностики, однак більша їх частина характеризується рядом недоліків. Серед найголовніших недоліків можна вказати на вузьку направленість методів, яка призводить до неефективності їх застосування при скринінгових дослідженнях.

Одним із перспективних методів неінвазивної комплексної діагностики стану організму людини є метод газорозрядного випромінювання. Сутність методу полягає в отриманні зображень газорозрядного випромінювання фаланг пальців людини в імпульсному електромагнітному полі [1]. Цей метод володіє низкою переваг саме в аспекті ранньої комплексної діагностики організму людини. Такий спосіб діагностики був запропонований та успішно застосовується німецьким лікарем Пітером Манделом [2]. Згідно з розробленою методикою діагностики, отримане зображення

газорозрядного випромінювання фаланги пальця розбивається на сектори, яким поставлено у відповідність певні органи та системи. Так звана секторна діагностика базується на використанні спеціальної діагностичної таблиці. Таблиця необхідна для визначення зв'язку параметрів випромінювання фрагментів (секторів) з функціональним станом систем та органів людини. Дані, використані при створенні таблиці, сформовані на основі емпіричного досвіду професора П. Мандела. Перший варіант такої таблиці був запропонований у 1979 р. У модифікованому варіанті він використовується і в теперішній час. Методика, розроблена професором П. Манделом, базується на аналізі зображень газорозрядного випромінювання, зафіксованих на фотоматеріалі (наприклад, рентгенівській плівці).

Подальшого розвитку дана методика комплексної діагностики набула завдяки дослідженням професора К. Короткова [3], який для реалізації експериментальних досліджень використовує цифровий варіант реєстрації зображень газорозрядного випромінювання. Дана модифікація методу діагностики організму отримала назву біоелектрографії [4]. Для виконання комплексних досліджень стану організму людини був розроблений програмно-апаратний комплекс, який включає прилади для цифрової реєстрації зображень газорозрядного випромінювання і прикладне програмне забезпечення для аналізу та інтерпретації отриманих результатів вимірювань у вигляді зображень [5].

З використанням цифрового методу біоелектрографії було проведено багато досліджень з накопиченням та обробкою експериментального матеріалу. Зокрема у роботах [6, 7] представлено статистичну модель, яка була запропонована як результат досліджень пацієнтів з декількох груп. Сформована група «Норма», яка включала практично здорових людей. Також було виділено ще 5 груп пацієнтів з різними патологіями органів або систем (кровообігу, травлення тощо). Додатково після побудови статистичної моделі з вказаними класами, проведено її перевірку у тестових умовах, для чого було використано результати аналізу газорозрядного випромінювання додатково 94 пацієнтів, які не входили у групи при побудові статистичної моделі. Результати тестування показали 80% достовірності, тобто співпадіння діагнозів, поставлених на базі методу біоелектрографії, з результатами інших, затверджених у галузі медицини, методів діагностики.

З метою аналізу цифрових зображень газорозрядного випромінювання (ГРВ-грам) за методикою К. Короткова використовуються наступні характеристики зображень: середня яскравість, площа засвічення та нормалізована площа засвічення, інтегральний коефіцієнт площі, коефіцієнт форми, коефіцієнт емісії, коефіцієнт фрактальності.

За вказаними показниками виконується зокрема оцінка психоемоційного стану [5]. Запропонована оцінка рівня психоемоційної напруженості за порівнянням зображень газорозрядного випромінювання лівої та правої руки. Порушення так званої L-R (від англ. *Left-right*) симетрії свідчить про підвищений рівень напруженості. У якості кількісного показника рівня асиметрії застосовується різниця інтегральних площ відповідно для лівої та правої руки [5].

Постановка завдання. З урахуванням вище наведених результатів досліджень та діагностики стану організму людини методом біоелектрографії, авторами поставлене завдання удосконалення методів виявлення проявів психоемоційної лабільності на зображеннях газорозрядного випромінювання фаланг пальців.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для розробки методики ідентифікації проявів психоемоційної лабільності було накопичено базу експериментальних зображень випромінювання, зафіксованих на рентгенівській плівці. Приклади зображень представлено на рис. 1 та рис. 2.

На рис. 1 наведено приклад зображення газорозрядного випромінювання фаланг пальців людини з контрольної групи.

З метою формування контрольної групи було відібрано зображення практично здорових людей з відсутніми проявами психоемоційної лабільності. Висновки щодо віднесення до контрольної групи було зроблено людиною-експертом на основі додаткової інформації та іншими затвердженими у галузі медицини методами діагностики.

На рис. 2 представлений приклад зображення, на якому спостерігається порушення симетрії випромінювання для фаланг пальців лівої та правої руки.

Отримані зображення використовуються для оцінки стану органів та систем людини за методикою, розробленою німецьким дослідником П. Манделом. Методика аналізу газорозрядного випромінювання навколо пальців людини (так званої корони світіння) базується на вивченні особливостей випромінювання у різних секторах (зонах) пальців, яким відповідають певні органи та системи.

Картина газорозрядного випромінювання навколо пальців здорової людини зазвичай характеризується наступними ознаками: вона рівно-

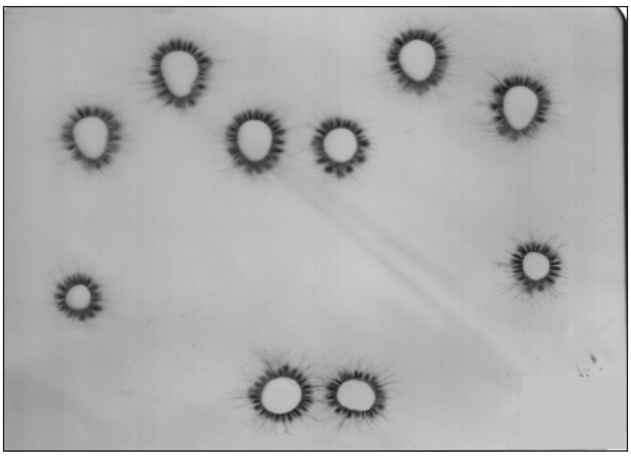


Рис. 1. Зображення газорозрядного випромінювання фаланг пальців (контрольна група)

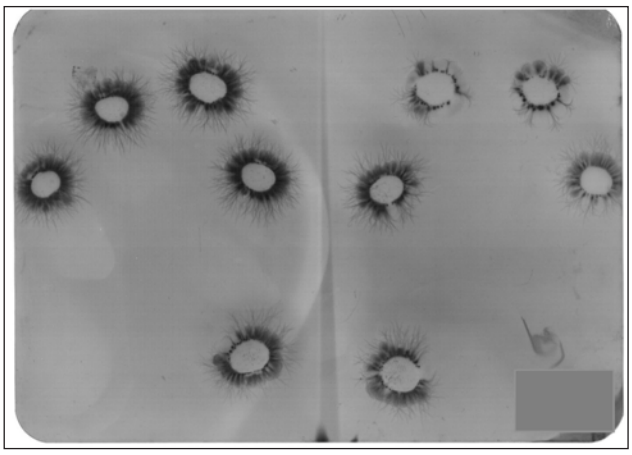


Рис. 2. Зображення газорозрядного випромінювання фаланг пальців людини з порушенням симетрії випромінювання

мірна, не містить розривів, має однотонне забарвлення без темних кіл та точок.

При синтезі прикладного програмного забезпечення для автоматизованої ідентифікації параметрів газорозрядного випромінювання враховувалися як геометричні параметри світіння (ширина корони), так і фотометричні ознаки (яскравість випромінювання у певному секторі) [8].

При накопиченні та подальшому аналізі результатів експериментальних досліджень було встановлено, що при інтерпретації результатів паралельно з виявленням патологій, є необхідність урахування варіацій у геометричних та фотометричних характеристиках випромінювання, пов'язаних з проявами психоемоційної лабільності.

Згідно з методикою П. Мандела, симетрично розташовані меридіани (сектори) випромінювання на пальцях правої та лівої рук відповідають одним і тим самим органам або системам. Це дозволяє виконати аналіз симетричності оцінених кількісних показників випромінювання у вигляді ширини корони та яскравості у відповідних секторах правої та лівої руки.

Для наочності випадки симетричного та несиметричного формування картин випромінювання представлено на зображенні газорозрядного світіння рис. 2. Відсутність випромінювання у секторах, розташованих симетрично на обох руках, з великим ступенем достовірності вказує на патологічні процеси у відповідних секторам органам. Таку картину можна спостерігати на наведеному прикладі для великих пальців лівої та правої руки. Для інших пальців, як видно з рис.2, картина випромінювання пальців лівої та правої руки принципово розрізняється та не є симетричною.

У такому випадку виявлені випадіння у короні світіння можуть бути обумовлені психоемоційними факторами, які проявилися у пацієнта, наприклад, під час експериментальних досліджень або викликані іншими зовнішніми впливами.

З метою автоматизації процедури ідентифікації проявів психоемоційної лабільності було розроблено прикладне програмне забезпечення, яке дозволяє отримати кількісні значення ширини корони та яскравості випромінювання згідно з методикою секторного аналізу. Інтерфейс користувача прикладної програми аналізу зображень представлений на рис. 3.

Як видно з порівняння рис.2 та рис. 3, секторний аналіз був виконаний для першого пальця правої руки. З рис.3 видно, що ширина корони у четвертому секторі становить 0 (цей сектор розташований за горизонталлю зображення праворуч). Можна побачити, що у зазначеному секторі корона відсутня. У дзеркально (за вертикальною віссю) розташованому секторі номер 10 корона теж майже відсутня. У кількісному відношенні цьому сектору відповідає кількісне значення ширини корони 11. В інших секторах з випромінюванням, що відповідає нормі, кількісне значення ширини коливається у межах від 25 до 50.

При цьому на першому пальці лівої руки спостерігається приблизно аналогічна картина щодо розподілу випромінювання у секторах.

Що стосується світіння навколо фаланг інших пальців, то наочно можна побачити прояви несиметрії для відповідних секторів пальців, що дає підстави для кількісного порівняльного аналізу показників світіння з метою автоматизації виявлення психоемоційної лабільності.

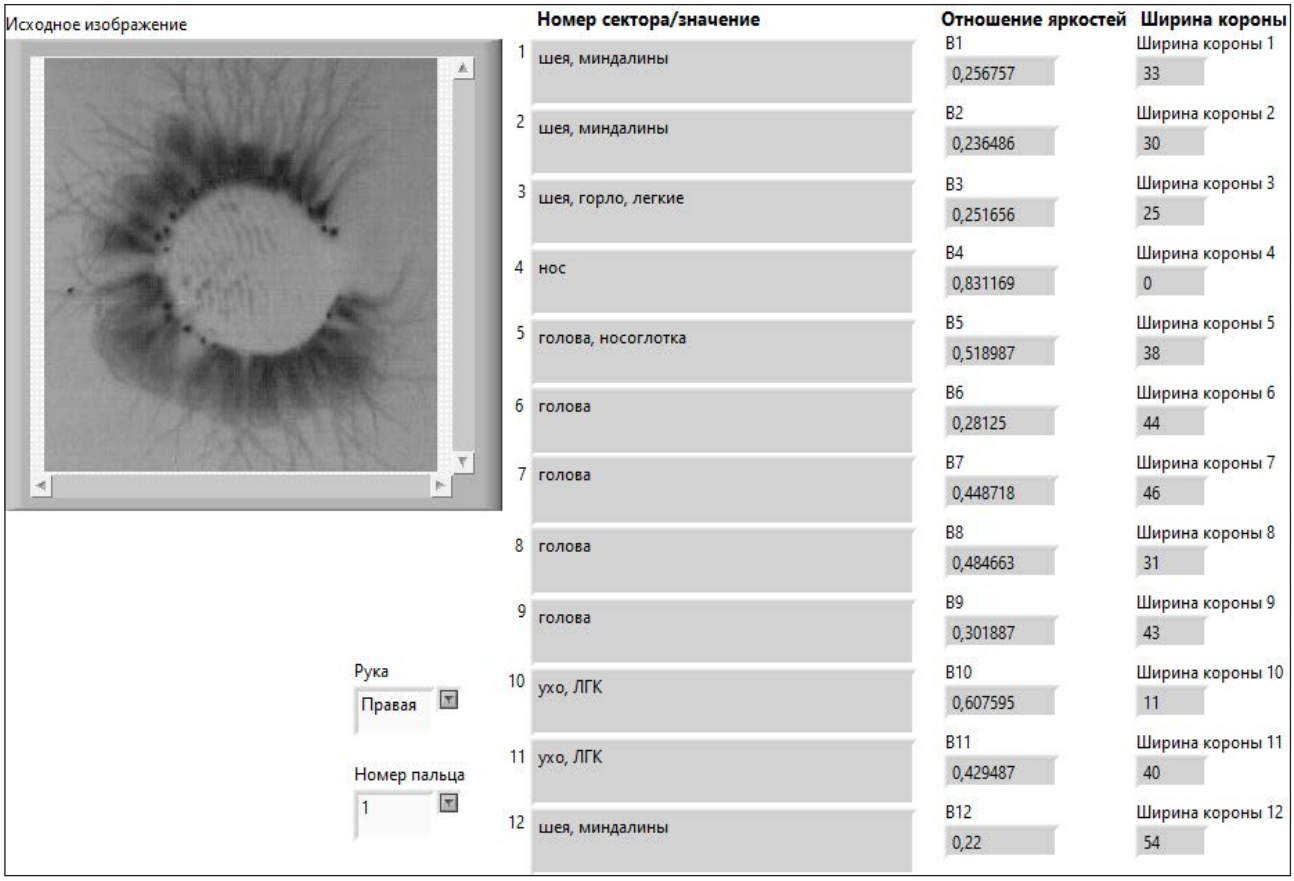


Рис. 3. Інтерфейс користувача програми секторного аналізу

Таблиця 1

Форма таблиці для оцінки проявів психоемоційної лабільності за шириною корони газорозрядного випромінювання

ПІБ	Ширина корони				
Палець	**Сектор**	**Ліва**	**Права**	**Абс. різниці**	**Відн. різниці, %**
	1	Заповнюється значеннями параметрів випромінювання у відповідних секторах лівої руки L1…L12	Заповнюється значеннями параметрів випромінювання у відповідних секторах правої руки R1…R12	*=abs(L1-R1)*	*=(abs(L1-R1))/ Макс(L1,R1)*100%*
	2			*=abs(L2-R2)*	*=(abs(L2-R2))/ Макс(L2,R2)*100%*
	3			…	…
	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
	11				
	12				
		Медіана для стовпчика секторів	Медіана для стовпчика секторів	Медіана для стовпчика секторів	Медіана для стовпчика секторів
		Сер. арфм. для стовпчика секторів	Сер. арфм. для стовпчика секторів	Сер. арфм. для стовпчика секторів	Сер. арфм. для стовпчика секторів

Для таких кількісних параметрів газорозрядного випромінювання як відношення яскравостей та ширина корони у відповідних секторах лівої та правої руки розраховуються абсолютні (за модулем) та відносні різниці. Приклад формування порівняльних характеристик газорозрядного випромінювання показаний у табл. 1.

Далі висновок про наявність суттєвих проявів лабільності, які з великою ймовірністю мали істотний вплив на результати експериментальних досліджень, будується на основі правилу: «Якщо максимальне значення для різниць ширини корони перевищує 30%, то має місце суттєвий прояв лабільності». Надаються рекомендації для подальших досліджень у вигляді повторного здійснення реєстрації зображення.

Додатково з метою деталізації діагностики обчислюється медіана та середнє арифметичне значення для абсолютних та відносних різниць параметрів світіння для лівої та правої руки. Базуючись на значеннях медіани та середнього арифметичного, може бути виконана експертна оцінка не тільки наявності/відсутності психоемоційної лабільності, а також, за необхідності, її рівня низький/середній/високий.

Якщо пацієнт виконує низку експериментальних досліджень даним методом, то відповідно до значень розрахованих показників робиться висновок про динаміку змін в організмі, зокрема рівня психоемоційної лабільності та стану органів і систем.

Висновки. У статті запропонована методика аналізу зображень газорозрядного випромінювання фаланг пальців людини, яка включає можливість автоматизованої ідентифікації проявів психоемоційної лабільності. Вивчення впливу психоемоційних факторів під час експериментального дослідження на результати вимірювань є важливим завданням, оскільки такий підхід здатний суттєво підвищити достовірність діагностики.

Розроблено та впроваджено прикладне програмне забезпечення, яке дозволяє виконувати секторну діагностику стану органів та систем людини з додатковою можливістю оцінки симетричності розподілу геометричних та яскравісних параметрів газорозрядного випромінювання.

Розроблена методика може бути рекомендована для скринінгових неінвазивних досліджень з метою реалізації ранньої комплексної діагностики неінфекційних захворювань.

Список літератури:

1. Пристрій для реєстрації зображення кірліан-світіння біологічних об’єктів: пат. 100879 Україна: МПК A61B 5/05, G03B 41/00/ Л.А. Пісоцька, О.П. Мінцер, Н.В. Глухова; заявник та патентовласник Пісоцька Л.А. Заявл. 13.03.2015; опубл. 10.08.2015, Бюл. № 15. 4 с.

2. Treugut H. Görner C. Lüdtke R.Mandel P. Kirlian-Fotografie: Reliabilität der energetischen Terminalpunktdiagnose (ETD) nach Mandel bei gesunden Probanden // Complementary Medicine Research. 1997. Vol. 4, № 4. PP. 32–45.

3. Коротков К.Г., Яковлева Е.Г. Применение метода ГРВ-биоэлектрографии в медицине (обзор литературы) // Вестник СПбГУ. Сер. 11. Вып. 2. 2014. С. 175–189.

4. Коротков К.Г. Основы ГРВ биоэлектрографии / К.Г. Коротков. СПб : СПбГИТМО (ТУ), 2001. 360 с.

5. Коротков К.Г. Принципы анализа ГРВ биоэлектрографии. СПб : «Реноме», 2007. 286 с.

6. Волков А.В., Телешева Т.Ю., Гурский В.В., Крыжановский Э.В. Статистическая модель диагноза пациента на основе параметров его ГРВ-грамм//Мат. IX-го международного конгресса по биоэлектрографии «Наука. Информация. Сознание». СПб., 2005. С. 97–98.

7. Воейков В.Л., Волков А.В., Сенькин В.В. и др. Сравнительная характеристика комплекса диагностических критериев и оценка эффективности применения биоадаптив ного метода «биофотоник» на функциональное состояние организма // Мат. VIII межд. конгресса «Наука. Информация. Сознание», СПб., 2004, С. 77–80.

8. Pesotskaya L., Glukhova N., Evdokimenko N., Zukow W. Evaluation of biological effects of water on the human body to change the energo-informational status. Journal of Education, Health and Sport. 2016;6(9):736-756. eISSN 2391-8306. DOI http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.159223.

Glukhova N.V., Pisotskaja L.A. AUTOMATED IDENTIFICATION OF PSYCHOEMOTIONAL LABILITY EXPOSITIONS ON GAS DISHARGE RADIATION IMAGES

The article deals with modern problems of early clinical diagnostics. The perspective of the method of gas-discharge radiation in the direction of practical realization of complex non-invasive diagnostics of a human body is shown. The method is based on obtaining images of the radiation of the phalanges of the fingers in an external pulsed electromagnetic field. Existing approaches to the use of the gas discharge method for medical diagnostics are analyzed.

The method of automated identification of manifestations of psycho-emotional lability on images of gas-discharge radiation of a person's phalanges is offered. Experimental data have been accumulated, which are divided into several groups in order to detect informative signs of radiation: control and with manifestations of psycho-emotional lability of varying degrees.

For the purpose of medical diagnostics, application software is developed, which is intended for quantitative evaluation of geometric and photometric features of gas discharge in the finger sectors. The geometric parameter is the width of the radiation crown. To estimate the photometric characteristics, the ratio of the minimum and maximum luminance of radiation in the sector is calculated. In order to identify the manifestations of psycho-emotional lability, absolute (relative to the module) and relative differences of the glow signs in the respective sectors of the right and left hands are calculated.

The algorithm of software implementation of the technique is based on the quantitative estimation of asymmetry of geometric and photometric signs of luminescence. When comparing the quantitative parameters of radiation, individual indicators are used in the sectors, as well as generalized statistical estimates in the form of median and arithmetic mean.

The developed methodology is recommended for screening non-invasive studies in order to implement early comprehensive diagnostics of non-communicable diseases of various organs and systems of the person.

Key words: *gas discharge, data analysis, digital imaging, medical diagnostics.*

УДК 628.1
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-1/12

Голик О.П.
Центральноукраїнський національний технічний університет

Жесан Р.В.
Центральноукраїнський національний технічний університет

Мірошніченко М.С.
Центральноукраїнський національний технічний університет

Ісмаіл Мухаммед
Центральноукраїнський національний технічний університет

ПОШУК ОПТИМАЛЬНИХ РІШЕНЬ ЩОДО ВИБОРУ МЕТОДІВ ОЧИЩЕННЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ ВІД НАФТОВИХ ЗАБРУДНЕНЬ

Забруднення природного середовища нафтою та нафтопродуктами є однією з багатьох екологічних проблем. При транспортуванні нафтопродуктів відбуваються великі втрати нафти, що в свою чергу сприяє виникненню полів забруднення у морських водах. Нафтові плями на поверхні води можуть залишатись досить тривалий період часу.

Заходи з очищення від нафтових забруднень не дають змогу повністю усунути дану проблему. Тому площа забруднених територій зростає і формуються техногенні скупчення в при поверхневій гідросфері. Універсального методу очищення вод від нафтопродуктів не існує, кожен метод має свої переваги та недоліки. Крім того, в деяких випадках необхідно своєчасно та швидко визначити вид та ступінь забруднення і обрати оптимальний метод для очистки даного забруднення. Людина не завжди може належним чином виконати це завдання, оскільки рішення доводиться приймати в умовах невизначеності.

Одним з ефективних методів розв'язання цієї проблеми є використання роботів зі штучним інтелектом, який за допомогою бази даних та бази знань, шляхом ідентифікації та використання методів прийняття рішень зміг би оцінити вид та ступінь нафтових забруднень і в результаті обрати оптимальний метод для очистки водних ресурсів від нафтових забруднень.

У статті розглянуто основні методи очистки вод від нафтових забруднень, виявлено фактори, що впливають на вибір методу очищення води від нафтових забруднень. Для вибору методів очищення запропоновано використати критерії прийняття рішень в умовах невизначеності, а саме: критерій Вальда, критерій Лапласа, критерій Гурвіца та критерій Севіджа. Наведено альтернативи для прийняття рішень та фактори, що впливають на прийняття рішень. Побудовано матрицю рішень.

Запропоновано методику пошуку оптимального рішення щодо вибору методів очистки водних ресурсів від нафтових забруднень. Для реалізації даної методики необхідно матрицю рішень заповнювати згідно даних анкет, фахівцями та експертами відповідних галузей. Було визначено, що оптимальним рішенням щодо вибору методу очистки вод від нафтових забруднень є біологічний метод.

Отримані результати дозволять у подальшому провести ідентифікацію даних та виявити взаємозв'язки між видом забруднення та методом його очищення. В результаті чого можна буде створити базу даних та базу знань для робота зі штучним інтелектом, який зможе безпосередньо у місці забруднення виконувати відповідні очисні заходи.

Ключові слова: *нафтові плями, штучний інтелект, прийняття рішень, критерій Вальда, матриця рішень, методи очистки, автоматизація.*

Постановка проблеми. Однією з екологічних проблем у водних ресурсах є забруднення вод нафтопродуктами. Наразі не існує універсального методу, який би дозволив виконувати очищення вод від нафти та нафтопродуктів. Це залежить від виду забруднення, його кількості та територіального розташування місця розливу нафти. Тому для різних видів розливів використовують найбільш прийнятні методи для даного виду забруднення.

В якості прикладу розглянуто випадки, коли розливи нафтопродуктів відбулися в морських водах. Пропонується розробити робота зі штучним інтелектом, який зможе безпосередньо у місці забруднення здійснювати моніторинг та ідентифікацію

даних, що дозволить визначити оптимальний метод очистки морських вод від нафтових забруднень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Виконано огляд видів нафтових забруднень стічних вод та методів очистки. Авторами зазначено, що не існує універсальних схем очищення вод від нафтових забруднень. Як показує досвід, при проектуванні конкретних очисних технологій в розрахунок повинні прийматися певні та конкретні показники. Також слід враховувати територіальні, фінансові та експлуатаційні можливості.

В [2, с. 229] авторами розглянуто способи очистки морських акваторій від нафтових забруднень. Наведено механічні, фізико-хімічні та біологічні способи. Проведено аналіз кожного способу та виявлено їх переваги та недоліки. Механічні та фізико-хімічні методи здатні видалити нафту з поверхні води, однак при боротьбі з емульсованою нафтою та тонкою плівкою вони практично безсилі. Авторами запропоновано усунути цей недолік за допомогою біоремедаційного способу очистки водної екосистеми.

Біоремедація – це використання технологій та пристроїв, що призначені для біологічного очищення ґрунтів, водоймищ та ін. [3, с. 6]. Авторами розглянуто різні типи технологій біоремедиації залежно від того, чи проводиться вона безпосередньо у місці забруднення або поза ним. В роботі наведено результати експериментальних досліджень очистки ґрунту від нафтових забруднень за допомогою методу санування. Оскільки в нашому випадку необхідно дослідити методи очистки водних ресурсів, то даний метод в подальшому не буде розглядатися.

Робота [4, с. 26] присвячена автоматизації процесів біологічної очистки стічних вод підприємств нафтової промисловості. Авторами використано нейрону мережу в задачі керування комплексом очисних споруд, яка дозволяє прогнозувати значення показників якості очищеної води, згідно виміряних на вході показниках неочищеної води. Для розв'язання даної задачі використано керування «з попередженням». Однак розроблену нейрону мережу не можна використовувати для будь-яких місцевостей, оскільки вона навчена для конкретного підприємства нафтової промисловості.

В [5, с. 22] авторами виконано порівняльний аналіз способів очистки водоймищ від нафтових плям. Наведено переваги та недоліки методів і виконано їх аналіз. Автори стверджують, що кожний метод слід використовувати в залежності від конкретної аварійної ситуації, а найбільш безпечним та ефективним є біологічний метод очистки нафтових забруднень.

В роботах [6, с. 38; 7, с. 222] запропоновано для очистки поверхні води використовувати мульти-робота, який запобігає розповсюдженню нафтових плям. Основними компонентами робота є модуль GPS, модуль передавача та цифровий компас, мікроконтролер і регулятор напруги. Однак робот не виконує очистку води від нафтових плям, а запобігає зростанню площі нафтових забруднень. Для реалізації поставленої в роботі мети необхідно мати близько сотні таких роботів.

У джерелі [8, с. 65] зазначено, що серед методів, які успішно використовуються для вирішення проблеми ліквідації наслідків забруднень нафтою та нафтопродуктами, сорбційне очищення води є одним з ефективних способів. Було проведено лабораторні дослідження, в результаті яких гіпотезу було підтверджено експериментальними даними. Однак розроблений авторами метод ще у стадії розробки.

У роботі [9] виконано аналіз існуючих технологій очистки поверхні води від нафтових забруднень. Автором зазначено, що ці технології потребують удосконалення, проте запропоновані роботи краще працюють, ніж комерційні скімери у важкодоступних місцях.

Авторами запропоновано сорбент на основі гідрооксидів заліза та алюмінію [10, с. 9]. Процес очистки стічних вод, що містять нафтопродукти, здійснювався як за рахунок зовнішньої дифузії іонів до поверхні зерна адсорбенту, так і за рахунок внутрішньої дифузії іонів за мезо- і макропорам всередині зерна. Дослідження показали, що отриманий сорбент дозволяє виконувати очистку стічних та промивних вод гальваноцеху до прийнятих норм. Метод буде розглянуто в подальшій роботі при пошуку оптимальних методів очистки водних ресурсів від нафтових забруднень.

Аналіз наведених вище робіт показав, що при виборі методів очищення вод від нафтових забруднень слід враховувати територіальні, фінансові та експлуатаційні показники. Кожен метод має свої переваги та недоліки, тому використання методу очистки залежить від багатьох факторів. Однак у більшості робіт автори стверджують, що найбільш безпечними та ефективними методами очистки вод від нафтових забруднень є біологічні методи.

Постановка завдання. Враховуючи вищенаведене, можна сказати, що вибір оптимального рішення щодо методу очистки водних ресурсів

від нафтових забруднень доводиться приймати в умовах невизначеності. Оскільки на вибір методу впливають багато факторів (проникність середовища, вартість очисних технологій, самоочищення, вид та кількість забруднювачів, тощо), то людині важко своєчасно оцінити одночасно вплив всіх факторів. Таким чином пропонується розробити робота зі штучним інтелектом, який за допомогою бази даних та бази знань, шляхом ідентифікації зміг би повністю оцінити вид та ступінь забруднення і в результаті обрати оптимальний метод для очистки водних ресурсів від нафтових забруднень.

Метою статті є виявлення факторів, що впливають на вибір оптимального рішення щодо вибору метода очищення водних ресурсів від нафтових забруднень.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для пошуку оптимальних рішень щодо вибору методів очистки водних ресурсів від нафтових забруднень, скористаймося методами теорії прийняття рішень в умовах невизначеності [11, с. 542; 12, с. 117], в яких дані для прийняття рішення звичайно задаються у вигляді матриці, рядки якої відповідають можливим діям (альтернативним рішенням), а стовбці – можливим станам системи. Тобто, в якості альтернативних рішень A_1, $A_2, ..., A_i, ..., A_n$ – методи та способи очистки вод від нафтових забруднень.

Факторами, що впливають на прийняття рішення при виборі альтернатив, є множина $\Lambda\{\lambda_1, \lambda_2, ..., \lambda_j, ..., \lambda_m\}$. Кожній дії A_i і кожному стану λ_j відповідає очікуваний результат $U_{ij}(A_i, \lambda_j)$, $i = \overline{1,n}$; $j = \overline{1,m}$, що визначає перевагу даної дії. Очікувані результати матриці $\{U_{ij}\}$ формуються за 10-бальною приведеною шкалою (1 – найгірший результат, 10 – найкращий результат) [11, с. 542; 12, с. 118].

В основному нафтопродукти знаходяться у вільному (грубо дисперсному) стані, що утворюють плівку або шар на поверхні води. Тому в нашому випадку було розглянуто саме такий вид забруднення.

Для такого виду забруднення використовують наступні методи очистки вод від нафтових забруднень:

1) самоочищення;

2) електрокоагуляція (за допомогою електролітів);

3) механічні (відстоювання);

4) фізико-хімічні (флотація, коалесценція, адсорбція, хімічний);

5) біологічний (за допомогою аеробних мікроорганізмів, на основі іммобілізованих мікроорганізмів, за допомогою активних нафтодеструкторів).

Фактори, що впливають на вибір того чи іншого методу:

– проникність середовища;

– простота конструкції необхідного для очищення обладнання та апаратури;

– вид та кількість забруднення;

– дисперсний стан нафтопродуктів (вільний, емульсований, розчинний);

– розповсюдження забруднення;

– ступінь забруднення;

– концентрація нафтопродуктів;

– вартість необхідного для очищення обладнання та апаратури;

– вплив на очисні споруди;

– використання електроенергії для роботи обладнання;

– екологічність роботи очисного обладнання;

– вимоги до якості очищеної води;

– вплив на органолептичні властивості води;

– безпечність роботи обладнання;

– вплив на фізико-хімічні та бактеорологічні властивості води;

– небезпека акумуляції шкідливих речовин тканинами тварин та риб, що вживають в їжу;

– вплив на життєдіяльність організмів, що знаходяться у забруднених водах.

Методи механічної очистки дозволяють «витягувати» з вод нафтопродукти у грубо дисперсному стані, і тому вони використовуються з іншими, більш чутливими методами. Відстоювання відбувається за допомогою спеціальних різних реагентів, пісколовок, нафтоуловлювачів тощо.

Біохімічний спосіб відбувається за допомогою аеробних мікроорганізмів, але при цьому необхідне попереднє відстоювання.

Хімічний метод слід використовувати разом з фільтрацією або відстоюванням. Широке використання у фізико-хімічній обробці отримали флотація та сорбція.

Переваги електрокоагуляції: не потребує використання реагентів; простота конструкцій та апаратури; невисока вартість. Основними недоліками є потреба у великій кількості електроенергії та можливість утворення вибухонебезпечних сумішей водню.

Електрофлотатори, напірні та пневматичні флотатори, пінні сепаратори, як правило, громіздкі та мають більшу робочу глибину, складні в обслуговуванні і при монтажі. Електрофлотація має такі переваги: високий ступінь дисперсності газових бульбашок та відносна чистота

їх поверхні; можливість плавного регулювання швидкості процесу, шляхом зміни ступеню насичення рідини бульбашками газу в широких межах; надійність роботи обладнання; простота виготовлення апарату та його обслуговування. Головною перевагою є висока ступінь очистки за короткий час, безшумність роботи, відсутність частин, що обертаються, можливість утилізації видобутих компонентів.

Перевагами адсорбції є: компактність обладнання; можливість очистити воду від широкого спектру забруднювачів; можливість використання різних сорбентів (глина, пісок, торф, тощо).

З наведеної вище інформації можна зробити висновок, що використання одного методу не дасть можливість повністю усунути нафтові забруднення. Таким чином, альтернативами для прийняття рішення щодо вибору методу очищення вод від нафтових забруднень є:

А1 – самоочищення;
А2 – електрокоагуляція;
А3 – механічний метод;
А4 – фізико-хімічний метод;
А5 – біологічний метод;
А6 = А1+А2;
А7 = А1+А3;
А8 = А1+А4;
А9 = А1+А5;
А10 = А2+А3;
А11 = А2+А4;
А12 = А2+А5;
А13 = А3+А4;
А14 = А3+А5;
А15 = А4+А5;
А16 = А1+А2+А3;
А17 = А1+А2+А4;
А18 = А1+А2+А5;
А19 = А1+А3+А4;
А20 = А1+А3+А5;
А21 = А1+А4+А5;
А22 = А2+А3+А4;
А23 = А2+А3+А5;
А24 = А2+А4+А5;
А25 = А3+А4+А5;
А26 = А1+А2+А3+А4;
А27 = А1+А2+А3+А5;
А28 = А1+А2+А4+А5
А29 = А1+А3+А4+А5;
А30 = А2+А3+А4+А5;
А31=А1+А2+А3+А4+А5.

Зважаючи на велику кількість факторів, що впливають на вибір тієї чи іншої альтернативи, було прийнято рішення скоротити кількість факторів, шляхом їх об'єднання. Таким чином факторами, що впливають на прийняття рішення є:

λ_1 – ступінь забруднення;

λ_2 – екологічність роботи очисного обладнання;

λ_3 – витрати при експлуатації очисного обладнання;

λ_4 – вартість очисного обладнання;

λ_5 – вплив на життєдіяльність організмів, що проживають у забрудненому середовищі;

λ_6 – територіальне розповсюдження забруднення;

λ_7 – можливість утилізації видобутих речовин.

В табл. 1 наведено матрицю рішень для пошуку оптимального рішення щодо вибору методів очистки водних ресурсів від нафтових забруднень.

Рядки та стовбці матриці рішень необхідно заповнювати згідно даних, що надають в анкетах-опитування експерти та фахівці у даній галузі. Тому для прикладу було використано довідникові дані [1, с. 10; 3, с. 7].

Оптимальне рішення автори знаходять за допомогою відомих критеріїв прийняття рішень в умовах невизначеності: Вальда, Лапласа, Гурвіца, Севіджа [11, с. 542; 12, с. 118].

Таблиця 1

Матриця рішень

Альтернативи	ФАКТОРИ							Критерії			
	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5	λ_6	λ_7	Вальда	Лапласа	Гурвіца	Севіджа
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A1	2	10	10	10	1	1	1	**1**	**5,0**	**6,1**	**9**
A2	6	8	3	6	5	4	6	**3**	**5,4**	**5,9**	**5**
A3	3	6	8	7	6	5	3	**3**	**5,4**	**5,9**	**5**
A4	7	6	7	6	5	8	10	**5**	**7,0**	**7,9**	**5**
A5	9	9	8	7	6	9	7	**6**	**7,9**	**7,7**	**3**
A6	4	10	2	7	5	4	5	**2**	**5,3**	**6,6**	**8**
A7	3	5	3	8	4	5	2	**2**	**4,3**	**5,4**	**6**
A8	5	7	3	7	3	6	9	**3**	**5,7**	**6,4**	**6**
A9	6	9	4	9	5	5	4	**4**	**6,0**	**6,9**	**5**
A10	4	9	3	6	4	5	3	**3**	**4,9**	**6,4**	**6**
A11	5	10	3	6	3	7	10	**3**	**6,3**	**7,0**	**7**
A12	3	9	4	6	7	7	4	**3**	**5,7**	**6,4**	**6**
A13	6	7	5	5	4	6	10	**4**	**6,1**	**7,4**	**6**
A14	4	8	6	4	7	7	5	**4**	**5,9**	**6,3**	**4**
A15	4	7	5	5	5	6	10	**4**	**6,0**	**7,4**	**6**
A16	5	8	2	5	3	7	4	**2**	**4,9**	**5,4**	**6**
A17	6	9	2	4	5	6	10	**2**	**6,0**	**6,6**	**8**
A18	8	10	2	5	4	5	6	**2**	**5,7**	**6,6**	**8**
A19	7	8	7	4	6	8	10	**4**	**7,1**	**7,4**	**6**
A20	9	7	6	5	5	8	7	**5**	**6,7**	**7,3**	**4**
A21	8	6	7	4	4	9	10	**4**	**6,9**	**7,4**	**6**
A22	8	9	2	3	6	9	10	**2**	**6,7**	**6,6**	**8**
A23	6	8	2	3	5	9	6	**2**	**5,6**	**6,0**	**7**
A24	6	10	2	3	6	8	10	**2**	**6,4**	**6,6**	**8**
A25	9	7	4	2	4	9	10	**2**	**6,4**	**6,6**	**8**
A26	9	6	1	1	6	9	10	**1**	**6,0**	**6,1**	**9**
A27	10	6	1	1	8	9	8	**1**	**6,1**	**6,1**	**9**
A28	10	7	1	1	4	10	10	**1**	**6,1**	**6,1**	**9**
A29	10	8	1	1	1	9	10	**1**	**5,7**	**6,1**	**9**
A30	10	7	1	1	5	10	10	**1**	**6,3**	**6,1**	**9**
A31	10	6	0	0	9	10	10	**0**	**6,4**	**5,7**	**10**

За найбільш обережним, максимінним критерієм Вальда, що дає гарантований результат і повністю виключає ризик прийняття рішення, обирається найкращий із найгірших результатів рішення.

У застосуванні до наведеної матриці рішень (див. табл. 1) має вигляд:

$$A_5^* = \max_i \min_j \left\{ U_{ij}(A_i, \lambda_j) \right\} = 6, \qquad (1)$$

де A_i, $i = \overline{1,31}$ – можливі комбінації енергетичних потоків; λ_j, $j = \overline{1,7}$ – фактори, що впливають на вибір альтернативних рішень.

Згідно цього критерію, оптимальним рішенням щодо вибору методу очищення вод від нафтових забруднень є альтернативи A_4, A_5, A_{20}.

Застосування методу Лапласа, що є критерієм недостатнього обґрунтування, тобто стани $\Lambda\{\lambda_1, \lambda_2, ..., \lambda_j, ..., \lambda_m\}$ мають рівні імовірності, доцільне у випадках, коли рішення приймається багато разів.

Розглядається прийняття рішення в умовах ризику та обирається дія A_i, яка дає найбільший очікуваний виграш, тобто:

$$A_5^* = \max \left\{ \frac{1}{n} \sum U_{ij}(A_i, \lambda_j) \right\} = 7,9, \qquad (2)$$

де $n = 7$ – кількість факторів, що впливають на прийняття рішення при виборі альтернатив.

Отриманий результат відповідає альтернативі A_5.

За допомогою критерію Гурвіца охоплюється ряд підходів: від обережного до песимістичного застосуванням коефіцієнту α:

$$A_4^* = \max \left\{ \alpha \cdot \max U_{ij}\left(A_i, \lambda_j\right) + (1-\alpha) \min U_{ij}\left(A_i, \lambda_j\right) \right\} = 7,9, \qquad (3)$$

де α=0,57 – коефіцієнт оптимізму-песимізму.

Результати, отримані за допомогою критерію Гурвіца, за альтернативами A_4 та A_5 співпадають з результатами, отриманими за критерієм Вальда.

За менш песимістичним критерієм Севіджа мінімізуються втрати об'єкта, що приймає рішення за рахунок вибору відповідного варіанту A_i, що мінімізує втрати (жаль) об'єкта з приводу не обрання кращого рішення:

$$A_5^* = \min \max r_{ij} = 3. \qquad (4)$$

де $r_{ij} = \max U_{ij}(A_i, \lambda_j) - U_{ij}(A_i, \lambda_j)$ – матриця втрат [11, с.542; 12, с.118].

Необхідно визначити в кожному рядку максимальний елемент $max\lambda_i$, та відняти від нього всі інші елементи, тоді отримаємо матрицю втрат.

Оптимальним рішенням щодо вибору методу очищення вод від нафтових забруднень за критерієм Севіджа відповідає альтернатива A_5.

Висновки. В ході проведеного дослідження за допомогою критеріїв прийняття рішень в умовах невизначеності (критерії Вальда, Лапласа, Гурвіца, Севіджа) було визначено, що зважаючи на вплив факторів до вибору певної альтернативи, оптимальним рішенням щодо вибору методу очистки водних ресурсів від нафтових забруднень є біологічний метод.

Таким чином, в подальшій роботі буде більш детально досліджено біологічні методи очистки вод від нафтових забруднень. Отримані результати будуть використані для розробки робота зі штучним інтелектом, який зможе безпосередньо у місці забруднення здійснювати моніторинг та ідентифікацію нафтових забруднень і виконувати відповідні очисні заходи.

Список літератури:

1. Кузубова Л.И., Морозов С.В. Очистка нефтесодержащих сточных вод: Аналит. обзор // СО РАН. ГПНТБ, НИОХ. Новосибирск, 1992. 72 с. URL: http://www.spsl.nsc.ru/download/ecology/V_23.pdf (дата звернення: 05.09.2019).

2. Долгополова В.Л., Патрушева О.В. Способы очистки морских акваторий от нефтяных загрязнений // Молодой ученый. 2016. № 29. С. 229–234. URL: https://moluch.ru/archive/133/37456/ (дата звернення: 13.09.2019).

3. Шувалов Ю.В., Синькова Е.А., Кузьмин Д.Н. Очистка грунтов от загрязнения нефтью и нефтепродуктами // ГИАБ. 2004. № 12. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ochistka-gruntov-ot-zagryazneniya-neftyu-i-nefteproduktami (дата звернення: 13.09.2019).

4. Плехов В.Г., Дьяченко В.В., Дьяченко И.Л. Автоматизация процессов биологической очистки сточных вод предприятий нефтяной промышленности // Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология. 2012. № 14. С. 22–33. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizatsiya-protsessov-biologicheskoy-ochistki-stochnyh-vod-predpriyatiy-neftyanoy-promyshlennosti (дата звернення: 10.09.2019).

5. Гречкин Н.В., Власовец Н.А. Сравнительный анализ способов очистки водоёмов от нефтяных пятен // Юный ученый. 2018. № 11. С. 22–24. URL: https://moluch.ru/young/archive/15/1141/ (дата звернення: 13.09.2019).

6. Zahugi E.M.H., Shanta M.M., Prasad T.V. Design of multi-robot system for cleaning up marine oil spill. *International Journal of Advanced Media and Communication*. 2012. Vol. 2, № 4. P. 33–43. URL:

https://www.idc-online.com/technical_references/pdfs/information_technology/DESIGN%20OF%20MULTI.pdf (дата звернення: 10.09.2019).

7. Zahugi E.M.H., Shanta M.M., Prasad T.V. Oil spill cleaning up using swarm of robots. *Advances in Computing and Information Technology. Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2013. Vol. 178. P. 215–224. DOI: 10.1007/978-3-642-31600-5_22.

8. Магеррамов А.М., Азизов А.А., Алосманов Р.М., Буният-заде И.А., Керимова Э.С. Удаление тонких нефтяных пленок с водной поверхности // Молодой ученый. 2011. № 7. Т. 1. С. 65–68. URL: https://moluch.ru/archive/30/3451/ (дата звернення: 16.09.2019).

9. Using robots to clean oil spills. *Robotics tomorrow*: веб-сайт. URL: https://www.roboticstomorrow.com/article/2013/12/using-robots-to-clean-oil-spills (дата звернення: 16.09.2019).

10. Марченко Людмила Анатольевна, Белоголов Ефим Анатольевич, Марченко Артем Андреевич, Бугаец Ольга Николаевна, Боковикова Татьяна Николаевна Д.Т.Н. Исследование возможности сорбционной очистки при ликвидации нефтяных загрязнений // Научный журнал КубГАУ. Scientific Journal of KubSAU. 2012. № 84. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vozmozhnosti-sorbtsionnoy-ochistki-pri-likvidatsii-neftyanyh-zagryazneniy (дата звернення: 13.09.2019).

11. Таха Х. Введение в исследование операцій / Х. Таха, А. Хемди: 7-е издание: [пер. с англ.]. М. : Издательский дом «Вильямс», 2005. 912 с.

12. Рева О.М. Прийняття рішень на кожному кроці і…з посмішкою: посібник для допитливих. Кіровоград : «Поліграфічні послуги», 2007. 308 с.

Holyk O.P., Zhesan R.V., Miroshnichenko M.S., Mohammad Ismail.

THE SEARCHING TO THE OPTIMAL DECISION FOR THE METOD SELECTION FOR THE WATER TREATMENT FROM OIL POLLUTION

Environmental pollution with oil and petroleum products is one of many environmental problems. During the transportation of oil products there is a large loss of oil, which in turn contributes to the emergence of fields of pollution in marine waters. Oil stains on the water surface can remain for a long period of time.

Oil pollution cleanup measures do not completely address the issue. Therefore, the area of contaminated territories increases and technogenic accumulations occur in the surface hydrosphere. There is no universal method of water purification from petroleum products; each method has its advantages and disadvantages. In addition, in some cases, it is necessary to determine in a timely and prompt manner the type and extent of contamination and to choose the best method for cleaning up the contamination. A person cannot always accomplish this task properly, since decisions have to be made under uncertainty.

One effective way to solve this problem is to use artificial intelligence robots that, through a database and knowledge base, can identify and use oil-based decision-making methods to evaluate the type and extent of oil pollution and, as a result, choose the best method for water purification from oil pollution.

The article deals with the basic methods of purification of water from oil pollution, identifies factors that influence the choice of method of water purification from oil pollution. It is suggested to use the decision criteria under uncertainty to choose purification methods, namely: the Waldo test, the Laplase test, the Hurwitz test and the Sevidg test. The alternatives for decision making and the factors that influence decision making are given. A solution matrix is constructed.

The method of finding the optimal solution for the choice of methods of purification of water resources from oil pollution is offered. To implement this methodology, it is necessary to fill the decision matrix according to the questionnaires, by experts and experts of the respective industries. It has been determined that the biological method is the optimal solution for the choice of the method of purification of water from oil pollution.

The results obtained will allow us to further identify the data and identify the relationship between the type of contamination and how it is cleaned. As a result, it will be possible to create a database and a knowledge base for artificial intelligence, which will be able to carry out appropriate cleaning measures directly at the site of contamination.

Key words: *oil stains, oil pollution, artificial intelligence, making decisions, automation, criterion, decision matrix.*

УДК 519.23
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-1/13

Деревянко Г.В.
System Technology Solutions, Германия

Мещеряков В.И.
Одесский государственный экологический университет

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СИСТЕМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕПЛО- И МАССООБМЕННЫХ СЕТЕЙ

Представлено аналіз концепцій проєктування тепло- і масообмінних мереж, які модулюють складні технічні системи з технологічними циклами нагріву й охолоджування речовини. Підхід, що засновано на оптимізації, визначає основну парадигму сучасної постановки завдань проєктування. При цьому методи вибору параметрів системи повинні володіти властивістю існування оптимуму, який повинен бути досяжним за прийнятних витрат машинного часу. Визначення глобального екстремуму необхідно не тільки у зв'язку з тим, що це найкраще з можливих рішень, але і тому, що локальний екстремум може привести до неправильних оцінок результатів розрахунків змінних моделі.

Прикладний розвиток моделей математичного програмування для різних систем, таких як реакторні мережі, системи дистиляції, тепло- і масообмінні мережі заводів і цехів, зумовлено тим, що ці моделі можуть використовуватися як базис для розвитку інструментарію автоматизованого проєктування.

Незважаючи на безсумнівні переваги системного підходу вирішення завдання проєктування, заснованого на HEN / MEN уявленнях, використовуваних спільно з принципами теорії оптимального проєктування, наявна низка недоліків:

– формалізація завдання оптимального проєктування є одним із найважчих етапів роботи. Якість моделі не можна оцінювати ні за структурою, ні за формою;

– збільшення кількості елементів і зв'язків у системі та кількості змінних до десятків тисяч, а також кількість інтервалів дискретизації призводять до великих обчислювальних труднощів;

– збільшення розмірів проблеми призводить до складнощів під час аналізу лінійності та опуклості цільової функції, стійкості рішень;

– залежність вирішення завдань від початкових наближень, оскільки нелінійні проблеми оптимізації не забезпечують збіжність до глобального мінімуму.

Радикальним виходом із положення, що створилося, бачиться зміна парадигми рішення завдання проєктування, що реалізує системний підхід і дає змогу отримати рішення, засноване на глобальному екстремумі.

Ключові слова: *проєктування, оптимізація, модель, обмеження, глобальний екстремум.*

Введение. Значительное энергетическое потребление современных химических производств, жесткие требования к массе, габаритам летательных аппаратов делают актуальной проблему снижения энергетических, массогабаритных затрат. Одновременная оптимизация и синтез технологической схемы в общем случае обеспечивают более высокое качество по сравнению с традиционным проектированием.

Постановка проблемы. Теплообменные (HEN) и массообменные (MEN) сети получили распространение при проектировании сложных энергоемких систем химического назначения. Задача проектирования сепарационных сетей с принудительным нагревом (HISEN) определяет модель системы и вид сетей, объединяющих тепло и массообменные аппараты. Автоматизированное проектирование основано на использовании методов линейного программирования (LP), смешанного целочисленного линейного программирования (MILP), нелинейного программирования (NLP) и смешанного целочисленного нелинейного программирования (MINLP).

Подход, основанный на теории оптимизации, определяет основную парадигму современной постановки задачи проектирования. Проблема оптимизации заключается в выборе такого критерия, значение которого соответствует экстремальному значению характеристического показателя качества функционирования системы. При наличии ограничений процесс оптимизации становится более сложным, поскольку установленные

критерии оптимальности зависят от субъективно выбранных ограничений. Качество модели можно оценить лишь по достоверности полученных по модели прогнозов поведения реальной системы, а поскольку модель – лишь упрощенное описание объекта, то не существует и абсолютных критериев выбора наилучшей модели.

Постановка задачи. Целью работы является анализ существующих методов, математических концепций и проблем оптимизации автоматизированного проектирования тепло- и массообменных сетей промышленных энергетических систем.

Изложение основного материала исследования. В последние годы для анализа и синтеза различных систем широко используются их представление в виде тепло- и массообменных сетей (HEN/MEN), начало таким представлениям положено в работах [1; 2]. В анализируемой ниже литературе понятие HEN/MEN определяет модель системы в виде сетей, объединяемых тепло- или массообменными аппаратами. В рамках такой идеологии математическая структура программирования обычно формулирует HEN/MEN представления как задачу смешанного целочисленного нелинейного программирования – MINLP [3].

На первом этапе основной задачей, решаемой на основе такого подхода, являлся синтез процессов, происходящих в системе. Синтез процесса, как часть процесса проектирования, имеет целью развитие технологической схемы, реализующей процессы в системе [4].

В более поздних работах отмечается влияние как технологической схемы на выбор элементов, так и элементов на саму технологическую схему [5]. Как результаты, приведенные в [5], так и данные анализируемых ниже работ указывают, что синтез систем может быть корректно выполнен лишь совместно с проектированием ее элементов. Например, в [6], а позже в [7] было показано, что одновременная оптимизация и синтез технологической схемы в общем случае обеспечивают более высокое качество проектирования.

Идеология HEN/MEN [8–12] находит широкое применение при проектировании и синтезе систем в различных отраслях: в химической промышленности, пищевой промышленности, энергетике, при решении экологических проблем.

Синтез и проектирование химически активных (реактивных) колонн дистилляции [13–21]. В [17] разработали MINLP-модель для оптимального проектирования колоны химически активной (реактивной) дистилляции. Этот же подход использован в [18] для моделирования системы синтеза метанола.

В [9; 19] рассмотрена задача оптимизации системы отбора отработанного тепла после ЦБК для обогрева городов Kuusankoski и Kouvola.

Синтез MEN широко применяется для решения экологических проблем. Так, например, MEN-представления использовались для решения такой специфической проблемы, как обработка фенола в сточных водах нефтеочистительного завода [20]. В [21] эти представления использовались при проектировании системы для окончательной очистки сточных вод предприятий. В [22] проведен анализ систем для удаления загрязнений из заводских стоков. В [23–26] рассмотрена задача проектирования сепарационных сетей с принудительным нагревом (HISEN). В этих работах удаление загрязнителей достигалось путём нагрева и охлаждения с последующим удалением примеси с использованием фазового перехода. В [27; 28] рассмотрена задача проектирования системы для удаления загрязнителей регулированием давления на мембранах. Более детальный анализ применимости HEN/MEN-идеологии при проектировании очистных сооружений можно найти, например, в работах [3; 19; 29–37].

В [38; 39] с помощью MILP-подходов проведена многопериодная оптимизация заводов, а в [40] предложена NLP-модель для проектирования химических производств.

Современная постановка задачи проектирования представляет собой поиск инженерного решения, опирающегося на понятие целевой функции. Такой подход, основываясь на теории оптимизации, определяет основную парадигму современной постановки задач проектирования.

Теория оптимизации в общем смысле представляет собой совокупность фундаментальных математических результатов и численных методов [41]. Они ориентированы на нахождение наилучших вариантов решения проблемы из множества альтернатив и позволяют избежать полного перебора возможных вариантов.

Как правило, критерием выбора параметров системы является либо максимизация меры стоимости системы, либо минимизация меры затрат. При этом сами методы выбора параметров системы должны обладать таким свойством, что если оптимум существует, то он должен быть достижим при приемлемых затратах машинного времени [42].

Для того чтобы использовать математические результаты и численные методы теории опти-

мизации при решении конкретных инженерных задач, по мнению [41], необходимо:

установить границы подлежащей оптимизации инженерной системы;

определить количественный критерий, на основе которого можно произвести анализ вариантов с целью выявления «наилучшего»;

осуществить выбор внутрисистемных переменных, которые используются для определения характеристик и идентификации вариантов;

построить модель, отражающую взаимосвязи между переменными.

Предложенная в [41] либо подобная ей последовательность действий составляет содержание процесса постановки задачи инженерной оптимизации. Корректная постановка задачи служит ключом к успеху оптимизационного исследования и ассоциируется в большей степени с искусством, нежели с точной наукой. К сказанному добавим, что независимо от того, какой критерий выбирается при оптимизации, «наилучшему» варианту всегда должно соответствовать минимальное или максимальное значение характеристического показателя качества функционирования системы.

Уровень детализации при анализе и проектировании систем является наиболее существенным фактором, влияющим как на выбор целевой функции, так и на выбор переменных. При этом очень важно ввести в рассмотрение все основные независимые переменные. Однако не менее важно не «перегружать» задачу большим количеством мелких, несущественных деталей [41].

Абсолютное большинство инженерных задач, связанных с оптимизацией, формулируется при наличии ограничений. Такие ограничения существенно уменьшают размеры области, в которой проводится поиск оптимума. На первый взгляд может показаться, что уменьшение размеров допустимой области должно упростить процедуру поиска оптимума. Между тем, напротив, по мнению [41], процесс оптимизации становится более сложным, поскольку установленные критерии оптимальности нельзя использовать при наличии ограничений. Следствием этого является нарушение основного условия экстремальности, в соответствии с которым оптимум достигается в стационарной точке, с нулевым значением градиента [41].

Как отмечено выше, задача, к которой можно применить оптимизационные методы, должна включать критерий эффективности, независимые переменные, ограничения в виде равенств и неравенств, которые и образуют модель реальной системы. Описание и построение модели реальной системы – это важнейший этап оптимизационного исследования, так как он определяет практическую ценность получаемого решения при его практической реализации [43]. Качество модели нельзя оценить ни по её структуре, ни по её форме. Единственным критерием такой оценки может служить лишь достоверность полученных на модели прогнозов поведения реальной системы [43]. Следует отметить, что соответствие модели реальной системе имеет в лучшем случае правдоподобный характер. Поскольку модель по своей сути не более чем упрощение действительности, то не существует абсолютных критериев, с помощью которых можно было бы однозначно выбрать наилучшую модель [43]. Кроме того, согласно [44], существует ошибочное мнение о том, что математические модели всегда требуют детализации и большого количества информации. По нашему мнению, модели можно лишь упорядочить по степени адекватности описания поведения реальной системы в представляющей интерес области изменения независимых переменных.

При проверке на адекватность моделей необходимо учитывать: во-первых, непротиворечивость математической основы модели, во-вторых, её соответствие законам математической логики и, в-третьих, её способность описывать исходную ситуацию [45]. Важно заметить то, что ответ на вопрос о том, успешно ли проходят предложенные модели проверку на адекватность, всегда остаётся в значительной степени субъективным.

Хорошо известно, что чаще всего целевая функция задачи может иметь несколько экстремумов. В этом случае наиболее желательным результатом решения задачи является определение глобального экстремума. Определение глобального экстремума желательно не только в связи с тем, что это лучшее из возможных решений задачи, но и потому, что локальный экстремум может привести к неправильным оценкам результатов расчетов по определению влияния переменных модели. Как один из возможных выходов из этой ситуации для максимально надежного определения глобального экстремума целевой функции в [43] рекомендуется применять несколько различных методов решения задачи.

Задача оптимизации технического проекта и анализ его формальной модели различны по своей природе. В анализе, вообще говоря, необходимо убедиться, что решение существует, а численные методы устойчивы. По мнению [42], если даже оптимальное решение существует, то т.к. численные

методы его построения зачастую оказываются довольно чувствительными к начальным приближениям, для сходимости итераций требуется значительное искусство вычислителя.

Наличие отмеченных проблем, связанных с объективной проверкой модели на адекватность, с надёжностью определения глобального экстремума и определения начальных приближений, указывает на то, что в задаче оптимизации технического проекта совершенно не гарантировано определение номинального проекта, а его выбор в рамках теории оптимального проектирования всегда остаётся за экспертом.

При построении математических моделей систем и их элементов часто используются термодинамические методы. Охарактеризуем некоторые из этих методов, используемых при построении HEN/MEN-представлений:

Nishio и др. [8; 46] разработали термодинамический подход для проектирования энергосистем с водяным паром, используемым в качестве рабочего тела. В этом случае применены эвристические правила, а сам подход ограничен циклами рабочего тела (водяного пара).

Chou и Shih [47] предложили подобный метод. Авторы разработали процедуру для проектирования заводских систем. Эта процедура определяет конфигурацию системы с максимально допустимой тепловой эффективностью.

El-Sayed и Evans [33] ввели концепцию термоэкономики. В этой концепции стоимость системы определяется ее эффективностью. Предложенная в [33] концепция расширяет традиционный термодинамический анализ, включая экономические соображения.

Важная часть термодинамических подходов сосредотачивается на анализе либо энтропии, либо эксергии энергосистем. Эти две концепции представлены в работах Kotas [48; 49] и Bejan [50]. Целью этих подходов, согласно Tsatsaronis и Moran [51], является идентификация и минимизация необратимости процессов с использованием дополнительных представлений эксергитического анализа, идентифицирующих преодолимые и неизбежные потери эксергии, введенные Tsatsaronis и Park [52].

Pinch-анализ – это методология [10; 53], используемая для проектирования сетей теплообменников с лимитированным потреблением тепловой энергии. Является фактом, что минимальные потребительские требования теплообменников в сетях могут быть определены только по потокам и минимальной разнице температур. Подобная концепция исследовалась для доменных печей ещё в 1927 году Reichardt [54; 55]. Аналогичная концепция было независимо создана Linnhoff [56] и его группой в UMIST. Весьма интересно, что этот метод разработали как инструментарий для анализа индустриальных процессов, а не как инструмент в решении задачи проектирования. Кроме того, Pinch-метод использовался при пополнении систем новым оборудованием и процессами, как, например, в работе Townsend и Linnhoff [56; 57] при решении задачи проектирования.

Классическая термодинамика, предоставляя возможности для анализа рабочего тела внутри системы, не позволяет анализировать конструкцию элементов, чем сужает возможность поиска наилучших решений. Даже если в некоторых специальных случаях удаётся адаптировать термодинамические методы к анализу систем, общая проблема, связанная с определением наилучших решений с использованием термодинамических методов анализа, по мнению [32], в настоящее время остается открытой. По нашему мнению, основной проблемой термодинамических методов являются недостаточные возможности, предоставляемые проектировщику при выработке компромиссных решений.

Общая классификация математических моделей, основанных на HEN/MEN-представлениях, приведена в [44]:

1. Aggregated models. Эти модели для проектирования или синтеза систем используют упрощённую целевую функцию, определяемую доминирующими в задаче проблемами. Примеры Aggregated models включают:

a) модели для предсказания минимума потребления при минимальном количестве элементов в теплообменных [58] и массообменных сетях в условиях перегрузки [59];

b) набор ограничений, основанный на Pinch-методе [60];

c) модели процесса дистилляция для минимизации стоимости потребления [61];

d) реакторные сетевые модели для максимизации выходного продукта [62].

В [30] удалось выделить теоретическую структуру для построения Aggregated models. Однако, не смотря на усилия, предпринятые автором [30], модели такого типа всегда должны приспосабливаться к каждому специфическому случаю.

2. Short cut models. Модели такого типа относятся к корректно детализированным суперструктурам (т. е. представлениям о системе), включающим оптимизацию инвестиционной стоимости

и эксплуатационные расходы. Для уменьшения объёма вычислений представления об элементах в таких моделях формулируются либо на основе относительно простой нелинейной модели, либо с использованием алгебраических соотношений. Эти предположения особенно важны при определении глобального экстремума. Примеры таких моделей включают:

a) модель синтеза теплообменных сетей [31; 53; 63];

b) модель последовательной дистилляции [64; 65];

c) модель технологических схем [66; 67].

3. Rigorous models. Модели такого типа представляют собой детализированные суперструктуры, включающие строгие и сложные модели, для описания элементов. Примерами таких представлений являются работы [68–70].

В последнее время нестрогие методы, такие как Simulated Annealing [71] и Genetic Algorithms [72], стали весьма популярными. Как отмечено в [44], эти методы не накладывают никаких допущений на функции, но они не могут гарантировать строгих решений, по крайней мере за конечное время. Заметим, что эти методы не используют процедурные методы поиска, а следовательно, не формулируют проблему как математическую задачу, допускающую алгоритмизацию. Кроме того, использование штрафных функций при определении нарушения ограничений снижает возможность применения этих методов.

Отметим, что Aggregated models приводят к более простым схемам решения задачи оптимизации. Часто это LP-, NLP- или MILP-модели небольшого размера, которые являются более простыми при решении, чем MINLP-модели. Как контраст [44], Short cut models и Rigorous models почти всегда приводят к MINLP-моделям. Важным обстоятельством является то, что, согласно имеемым литературным данным, по общему мнению, при практической реализации задач проектирования математическое программирование может быть приспособлено для моделей различной степени сложности [44]. Однако, согласно [32] и целому ряду других авторов, эта точка зрения может быть подвергнута сомнению, несмотря на то, что разработано много специализированных алгоритмов, не существует эффективного алгоритма для того, чтобы решить проблемы всех классов.

Тем не менее, хотя при решении задач оптимизации и возникают огромные проблемы, за последнее время удалось достичь существенного прогресса, связанного в первую очередь с методами решений MINLP-задач. Общий обзор методов оптимизации приведен в [73; 74]. Применение этих методов представлены в [75].

Выше отмечалось, что HEN/MEN-представления сводят задачу к проблемам целочисленного и нелинейного программирования. Приведём краткий обзор основных методов решения MINLP-проблем (более подробно см., например, в [73; 74]):

1. метод Branch and Bound (BB) см. [76–79]. Этот метод является прямым следствием предположения линейность исследуемой поверхности. В этом методе исключены NLP-подпроблемы, решаемые для каждого узла [44];

2. generalized Benders Decomposition (GBD) [80], и Outer – Approximation (OA) [60; 81–83] являются итерационными методами. В них рассматривается последовательность альтернативных NLP-подпроблем со всеми установленными логическими переменными и MILP-алгоритмы, предсказывающие новые значения для них;

3. extended Cutting Plane Method (ECP) [84] не решает NLP-подпроблем и полагается исключительно на последовательную линеаризацию [44].

Общеизвестно [44], что все эти методы предполагают выпуклость целевой функции, обеспечивающую сходимость к глобальному экстремуму. Различие между GBD- и OA-методами находится в определении MILP-проблемы, возникающей при решении задач [44]. Отметим, что Outer – Approximation (OA) использует для логических переменных аккумулированные линеаризации функций, а Generalized Benders Decomposition (GBD) использует для логических переменных аккумулированные параметрические функции Лагранжа. По мнению [44], LP/NLP-модели, использующие методы Branch and Bound [85], объединяют обе проблемы в пределах одного поиска [44]. По существу, в [44] формально показано, что нестрогие методы для невыпуклых целевых функций включают алгоритмы ослабления равенства, как указано в [86], и увеличивают влияние штрафных функций [87]. Сравнительный обзор этих методов имеется в [88].

Представляется важным отметить, что методы оптимизации, позволяющие определить глобальный экстремум, все еще остаются в области разработок.

Основным достоинством сетевых представлений процессов энергообмена в системах является возможность учета все большого числа факторов, влияющих на энерго- и ресурсосбережение ещё на этапе проектирования. Так, например,

применение подобных подходов в химической индустрии при вычислении минимума потребляемой энергии показывает ее существенное сбережение. Результаты многочисленных исследований Imperial Chemical Industries в Великобритании и Union Carbide в Соединенных Штатах указывают на возможность сбережения энергии от 30% до 50%, по сравнению с традиционной практикой проектирования [89]. В подтверждении этому в [19] указывается, что в промышленности имеется большой потенциал для создания более эффективных энергетических систем, использующих бросовое тепло для отопления городов.

Системный подход решает не только инженерные проблемы, связанные с энергосбережением, но и проблемы экологического взаимодействия с окружающей средой [32], а благодаря существенной экономии ресурсов проектируемых систем он увеличивает их экономическую эффективность [32].

Выводы. Из проведенного анализа становится очевидным, что математическое программирование стало основным методом процесса синтеза и проектирования систем. Прогресс в алгоритмизации и моделировании систем для решения различных типов задач оптимизации существенно продвинули эту область науки. Из обзора [44] ясно, что за последнее время произошло бурное развитие моделей математического программирования для различных систем, таких как реакторные сети, системы дистилляции, тепло- и массообменные сети, технологические схемы заводов и цехов. Все эти модели могут использоваться как базис для развития инструментария автоматизированного проектирования, что может эффективно помочь инженерам-проектировщикам. По прогнозу [44], в рамках будущих исследований ожидается, что новые достижения в глобальной оптимизации и целочисленном программировании будут иметь большое влияние на улучшение моделей оптимизации процесса синтеза и проектирования.

Несмотря на несомненные преимущества системного подхода решения задачи проектирования, основанного на HEN/MEN-представлениях, используемых совместно с принципами теории оптимального проектирования, рассмотренного в этом обзоре, абсолютное большинство авторов констатирует целый ряд недостатков, присущих ему:

1. Формализация задачи оптимального проектирования является одним из самых трудных этапов работы. При разработке модели стремятся к тому, что иногда называют «принципом оптимальной неточности»: модель должна быть настолько детализирована, насколько это необходимо для целей исследования, для которых она была создана. Однако достичь этой цели всегда трудно [43]. Специалисты, обладающие одинаковым уровнем подготовки, рассматривая одну и ту же реальную задачу, могут предложить различные модели одной и той же системы. При этом ни одну из таких моделей независимо от степени ее детализации и сложности нельзя считать единственно «правильной». Модели можно лишь упорядочить по степени адекватности описания поведения реальной системы в представляющей интерес области эксплуатации. Качество модели нельзя оценивать ни по структуре, ни по форме. Единственным критерием такой оценки может служить достоверность полученных на модели прогнозов поведения реальной системы [43]. В [90] отмечается, что сложные системы с трудом поддаются формализованному описанию, а построенные для них модели – численному исследованию. В таком случае довольствуются моделями, которые представляют собой упрощенное описание физической реальности.

2. Вторая проблема, с которой сталкиваются исследователи ,– это громоздкость задачи. Увеличение количества элементов и связей в системе, а следовательно, количества переменных, приводит к большим трудностям, которые могут преодолеваться только благодаря усиливающимся возможностям вычислительной техники и разработке более мощных программных комплексов. Так, например, в [19] для проверки выполнения системой всех её функций в течение года спроектированная сеть была тестирована на выполнимость LP-модели. Задача была разделена на 100 периодов, содержащих 41 509 уравнений и 32 409 переменных. Другой недостаток состоит в том, что математические формулировки задач часто базируются на большом количестве маленьких интервалов (это либо температурные интервалы, либо энтальпийные интервалы, либо и то и другое). При этом выяснилось, что даже для задач с умеренной размерностью количество интервалов может быть весьма большим, создавая тем самым соответствующую проблему при решении задачи оптимизации, вырастающей до неуправляемого размера [91–97].

3. Увеличение размеров проблемы приводит к сложностям при анализе целевой функции. Выше отмечалось, что в анализе необходимо убедиться, что решение существует, а численные методы устойчивы. Кроме того, в задаче оптимального проектирования не гарантировано существование номинального проекта [42]. По мнению [19; 32], недостатком MINLP-моделей является то, что

целевая функция не линейна и не выпукла, и поэтому решение обычно представляет собой локальный оптимум.

4. Одной из ключевых проблем в задаче проектирования является неопределенность результата решения задачи. Другими словами, является ли найденное решение глобальным экстремумом. Так, например в NLP-моделях находят глобальный экстремум, если проблема выпукла (т.е. выпукла целевая функция и ограничения) [44]. Там же отмечено, что при невыпуклой целевой функции NLP-модели не гарантируют нахождение глобального оптимума. Следует заметить, что нестрогие методы, такие как Simulated Annealing [71] и Genetic Algorithms [72], не делают никаких допущений на функции, но тогда, по мнению [44], они не могут гарантировать строгих решений. Анализ эвристических методов, представленный в [44], показывает, что хотя эти методы иногда ведут к хорошим проектным решениям, но с другой стороны они могут быть ненадежными [44]. В [42] отмечается, что математически точный экстремум может оказаться недостижимым а следовательно, может служить лишь ориентиром.

5. Практически во всех анализируемых работах отмечается существенная зависимость решения задач от начальных приближений. Например, нелинейные проблемы оптимизации всегда требуют хороших начальных приближений, и часто сходимость к глобальному минимуму не обеспечена. Хорошие отправные точки, требуемые в этих моделях, редко доступны [98; 99]. Если присутствует неудачное предположение, проблема может сходиться к худшему решению или даже может быть не в состоянии обеспечить процесс сходимости [3]. В свою очередь, это приводит к тому, что формальная задача поиска экстремума требует значительного искусства в выборе начальных приближений. Другими словами, успех решения задачи проектирования во многом зависит либо от удачи, либо от опыта эксперта, оценивающего начальные приближения.

Перечисленные проблемы указывают, что наиболее радикальным выходом из создавшегося положения видится смена парадигмы решения задачи проектирования, реализующей системный подход и позволяющей получить решение, основанное на глобальном экстремуме.

Список литературы:

1. Yee T.F., Grossmann I.E., Kravanja Z. Simultaneous Optimization Models for Heat Integration – I. Area and Energy Targeting and Modeling of Multi – Stream Exchangers. *Comp. and Chem. Eng.* 1990. No. 14 (10). P. 1151–1164.

2. Yee T.F., Grossmann I.E. Simultaneous Optimization Models for Heat Integration – II. Heat Exchanger Network Synthesis. *Comp. and Chem. Eng*. 1990. No. 14 (10). P. 1165–1184.

3. Chakraborty S., Ghosh P. Heat exchanger network synthesis: the possibility of randomization. *Chemical Engineering Journal.* 1999. No. 72. P. 209–216.

4. Floudas C.A., Nonlinear and Mixed – Integer Optimization: Fundamentals and Applications. Oxford University Press, New York, 1995. 480 p.

5. Liporace F.S., Pessoa F.L.P., Queiroz E.M. The Influence of heat exchanger design on the synthesis of heat exchanger networks. *Braz. J. Chem. Eng.* Vol. 17. No. 4–7. São Paulo Dec. 2000. URL: http://dx.doi.org/10.1590/S0104-66322000000400037.

6. Duran M.A., Grossmann I.E. Simultaneous Optimization and Heat Integration of Chemical Processes. *AIChE J.* 1986. P. 32. 123 p.

7. Lang Y.D., Biegler L.T., Grossmann I.E. Simultaneous optimization and heat integration with process simulators. *Comp. Chem. Eng*. 1988. No. 12. 311 p.

8. Barbosa D., Doherty M.F. The Influence of Equilibrium Chemical Reactions on Vapor Liquid Phase Diagrams. *Chem. Eng. Sci.* 1988. No. 43 (3). 529 p.

9. Barbosa D., Doherty M.F. The Simple Distillation of Homogeneous Reactive Mixture. *Chem. Eng. Sci*. 1988. No. 43 (3). 541 p.

10. Okasinski M., Doherty M.F. Design Method for Kinetically Controlled, Staged reactive Distillation Columns. *Ind. Eng. Chem. Res*. 1998. No. 37. 2821 p.

11. Bessling B., Schembecker G., Simmrock K.H. Design of Process with Reactive Distillation Line Diagrams. *Ind. Eng. Chem. Res*. 1997. No. 36. 3032 p.

12. Venimadhavan G., Buzad G., Dohertu M.F., Malone M.F. Effect of Kinetics on Residue Curve Maps for Reactive Distillation. *AIChE. J*. 1994. No. 40 (11). 1814 p.

13. Hauan S., Lien K.M. Phenomena Based Design Approach to reactive Distillation. *Chem. Eng. Res.* Des. 1998. No. 76. 396 p.

14. Ung S., Doherty M.F. Calculation of Residue Curve Maps for Mixtures with Multiple Equilibrium Chemical Reactions. *Ind. Eng. Chem. Res*. 1995. No. 34. 3195 p.

15. Ung S., Doherty M.F. Synthesis of Reactive Distillation Systems with Multiple Equilibrium Chemical Reactions. *Ind. Eng. Chem. Res*. 1995. No. 34. 2555 p.

16. Papalexandri K.P., Pistikopoulos E.N. Generalized Modular representation Framework for Process Synthesis. *AIChE J*. 1996. No. 42. 1010 p.

17. Ciric A.R., Gu D. Synthesis of Nonequilibrium Reactive Distillation Processes by MINLP Optimization. *AIChE J*. 1994. No. 40 (9). 1479 p.

18. Mirjana Kijevcanin et al. Energy and economy savings in the process of methanol synthesis using Pinch technology. *J. Serb. Chem. Soc*. 2004. No. 69 (10). P. 827–837. URL: https://www.researchgate.net/publication/26402407.

19. Juha Aaltola, Simultaneous Synthesis of Flexible Heat Exchanger Networks, Doctoral Thesis, Helsinki University of Technology Department of Mechanical Engineering, Energy Engineering and Environmental Protection Publications, Espoo TKK – ENY – 12, 2003. URL: http://lib.tkk.fi/Diss/2003/isbn9512263645/.

20. El-Halwagi M.M, El-Halwagi A.M., Manousiouthakis V. Optimal design of Dephenolization Networks for Petroleum – Refinery Wastes. *Trans. Inst. Chem. Eng*. 1992. No. 70. Part B. 131.

21. Kuo W.C.J., Smith R. Effluent Treatment System Design. *Chem. Eng. Sci*. 1997. No. 52 (23). 4273 p.

22. El-Halwagi M.M., Hamad A.A., Garrison G.W. Synthesis of Waste Interception and Allocation Networks. *AIChE J*. 1996. No. 42 (11). 3087 p.

23. Dye S.R., Berry D.A., Ng K.M. Synthesis of Crystallization – Based Separation Schemes. *AIChE Symp*. 1995. Ser. 91 (304). 238 p.

24. Richburg A., El-Halwagi M.M. A Graphical Approach to the Optimal Design of Heat – Induced Separation Networks for VOC Recovery. *AIChE Symp*. 1995. Ser. 91 (304). 256 p.

25. El-Halwagi M.M., Srinivas B.K., Dunn R.F. Synthesis of Optimal Heat Induced Separation Networks. *Chem. Eng. Sci*. 1995. No. 50. 81 p.

26. Dunn R.F., Zhu M., Srinivas B.K., El-Halwagi M.M. Optimal Design of Energy Induced Separation Networks for VOC Recovery. *AIChE Symp*. 1995. Ser. No. 90 (303). 74 p.

27. Srinivas B.K., El-Halwagi M.M. Optimal Design of Pervaporation Systems for Waste Reduction. *Comp. Chem. Eng*. 1993. No. 17 (10). 957 p.

28. El-Halwagi M.M. Synthesis of Optimal Reverse – Osmosis Networks for Waste Reduction. *AIChE J*. 1992. No. 38 (8). 1185 p.

29. Ashish Pattekar. Synthesis of Optimum Controllable Heat Exchanger Networks using Genetic Algorithms. *B. Tech. Project submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Bachelor of Technology in Chemical Engineering, Department of Chemical Engineering Indian Institute of Technology Bombay* April 13.1999. 47 p.

30. Daichendt M.M., Grossmann I.E. A Preliminary Screening – Procedure for MINLP Heat – Exchanger Network Synthesis Using Aggregated Models. *Chemical Engineering Research and Design*. 1994. 72. P. 357–363.

31. Ciric A.R., Floudas C.A. Heat Exchanger Network Synthesis without Decomposition. *Computers and Chem. Eng*. 1991. No. 15. P. 385–396.

32. Tor – Martin Tveit A Systematic Procedure for Analysis and Design of Energy Systems, Doctoral Dissertation. *Helsinki University of Technology, Department of Mechanical Engineering, Laboratory of Energy Engineering and Environmental Protection*. 2006. 69 p.

33. El-Sayed Y.M., Evans R.B. Thermoeconomics and the design of heat systems. *Trans. of ASME Journal of Engineering for Power*. 1970. No. 92, 1. P. 27–35.

34. Townsend D.W., Linnhoff B. Heat and power networks in process design. Part I: Criteria for placement of heat engines and heat pumps in process networks. *AIChE Journal*. 1983. No. 29. 5. P. 742–748.

35. Athier G., Floquet P., Pibouleau L., Domenech S. Synthesis of Heat Exchanger Networks by Simulated Annealing and NLP Procedures. *AIChE J*. 1997. No. 43. 3007 p.

36. Galli M.A., Cerda J. A Customized MILP Approach to the Synthesis of Heat Recovery Networks Reaching Specified Topology Targets. *Ind. Eng. Chem. Res*. 1998. No. 37. 2479 p.

37. Linnhoff B., Hindmarsh E. The pinch design method of heat exchanger networks. *Chem. Eng. Sci*. 1983. No. 38. 745 p.

38. Hui C.W., Natori Y. An Industrial Application Using Mixed – Integer Programming Technique: A multi – period Utility System Model. *Comp. Chem. Eng*. 1996. No. 20. 1577 p.

39. Iyer R.R., Grossmann I.E. Optimal Multiperiod Operational Planning for Utility Systems. *Comp. Chem. Eng*. 1997. No. 21. 787 p.

40. Colmenares T.R., Seider W.D. Synthesis of Utility Systems Integrated with Chemical Processes. *Ind. Chem. Eng. Res*. 1989. No. 28. 84 p.

41. Реклейтис Г., Рейвиндран А., Рэгсдел К. Оптимизация в технике. Книга 1. Москва : Изд. «Мир», 1986. С. 10–17, 196.

42. Хог Э., Арора Я. Прикладное оптимальное программирование. Москва : Изд. «Мир», 1983. С. 15–17, 251–252.

43. Реклейтис Г., Рейвиндран А., Рэгсдел К. Оптимизация в технике. Книга 2. Москва : Изд. «Мир», 1986. С. 207, 208–209, 252–254.

44. Grossmann I.E., Caballero J.A., Yeomans H. Advances in Mathematical Programming for The Synthesis of Process Systems. *Latin American Applied Research.* 2000. No. 30. 26. P. 263–284.

45. Neumaier A. Mathematical Model Building, Chapter 3 in: Modeling Languages in Mathematical Optimization (J. Kallrath, ed.), Applied Optimization, Vol. 88, Kluwer, Boston 2004. URL: https://www.mat.univie.ac.at/~neum/model.html.

46. Nishio M., Itoh J., Shiroko K., Umeda T. A thermodynamic approach to steam power system design. *Industrial and Engineering Chemistry Process Design and Development.* 1980. No. 19. 22. 2. P. 306–312.

47. Chou C.C., Shih Y.S. A thermodynamic approach to the design and synthesis of plant utility systems. *Industrial and Engineering Chemistry Research.* 1987. No. 26. 6. P. 1100–1108.

48. Kotas T.J. The Exergy Method of Thermal Plant Analysis. *Krieger Publishing Company*. 1985. 23. 320.

49. Juan Cristóbal Torchia-Núñez, Jaime Cervantes-de-Gortari, Miguel Angel Porta-Gándara. Thermodynamics of a Shallow Solar Still Energy and Power Engineering**.** 2014. No. 6. 9. URL: https://www.scirp.org/(S(lz5mqp453edsnp55rrgjct55)).

50. Bejan A. Entropy Generation Minimization – The Method of Thermodynamic Optimization of Finite – Size Systems and Finite – Time Processes. CRC Press, Inc., 1996. 400 p.

51. Tsatsaronis G., Moran M.J. Exergy – aided cost minimization. *Energy Conversion and Management.* 1997. No. 23. P. 38, 15–17, 1535–1542.

52. Tsatsaronis G., Park M.H. On avoidable and unavoidable exergydestructions and investment costs in thermal systems. *Energy Conversion and Management*. 2002. No. 43. P. 9–12, 1259–1270.

53. Lehr J., Keekey J. Alternative emergy and shale gas encyclopedia. *Wiley series energy.* 2015. 878 p.

54. Reichardt P. Ein neues Warmeschaubild des Hochofens. *Archiv fur das Eisenhuttenwesen.* 1927. No. 4. P. 77–101.

55. Ebrahim M., Kawari Al. Pinch technology: an efficient tool for chemical-plant energy and capital-cost saving. Applied Energy. 2000. No. 65 (1–4). P. 45–49.

56. Townsend D.W., Linnhoff B. Heat and power networks in process design. Part II: Design procedure for equipment selection and process matching. *AIChE* Journal 29. 5 (September 1983). P. 748–771.

57. Ben-Guang Rong. Process Synthesis and Process Intensification. Walter de Gruyter, Berlin/Boston. 2017. 409 p.

58. Khezri S.M, Lotfi F., Tabibian S., Erfani Z.J. Application of water pinch technology for water and wastewater minimization in aluminum anodizing industries. *Environ. Sci. Tech.* 2010. No. 7 (2). P. 281–290.

59. Mian A., Ensinas A.V., Marechal F. Multi-objective optimization of SNG production from microalgae through hydrothermal gasification. *Computers & Chemical Engineering.* 2015. No. 76. P. 170–183.

60. Tareq A. Albahri, Cheng Seong Khor, Mohamed Elsholkami, Ali Elkamel. Optimal Design of Petroleum Refinery Configuration Using a Model-Based Mixed-Integer Programming Approach with Practical Approximation. *Industrial & Engineering Chemistry Research.* 2018. No. 507(22). P. 14.

61. Tran Trong Dao. Investigation on Evolutionary Computation Techniques of a Nonlinear System. *Hindawi Publishing Corporation Modelling and Simulation in Engineering Volume*. 2011. P. 21.

62. Belletante S., Montastruc L., Negny S., Domenech S. Optimal design of an efficient, profitable and sustainable biorefinery producing acetone, butanol and ethanol: Influence of the in-situ separation on the purification structure. *Biochemical Eng*. J., 2016. No. 116. P. 195–209.

63. Xiao-Hong Wang, Yu-Gang Li. Stochastic GP synthesis of heat integrated nonsharp distillation sequences. *Chemical Engineering Research and Design.* 2010. Vol. 88. Issue 1. P. 45–54.

64. Buso A., Giomo M. Mathematical Modeling in Chemical Engineering: A Tool to Analyse Complex Systems. *Numerical Simulation of Physical and Engineering Processes.* 2011. P. 389–412.

65. Kravanja Z. Challenges in sustainable integrated process synthesis and the capabilities of an MINLP process synthesizer MipSyn. *Computers & Chemical Engineering.* Volume 2010. No. 34. 11. P. 1831–1848.

66. Turkay M., Grossmann I.E. Structural Flowsheet Optimization with Complex Investment Cost Functions. *Computers and Chemical Engineering.* 1998. No. 22. P. 673–686.

67. Shen P., Ma Y., Chen Y. A robust algorithm for generalized geometric programming. *Journal of Global Optimization.* 2008. Vol. 41. № 4. P. 593–612.

68. Fenggang Cui, Chengtian Cui, Jinsheng Sun. Simultaneous Optimization of Heat-Integrated Extractive Distillation with a Recycle Feed Using Pseudo Transient Continuation Models. *Industrial & Engineering Chemistry Research.* 2018. No. 57 (45). P. 15423–15436.

69. Ignacio E., Grossmann Pío A., Aguirre Mariana Barttfeld. Optimal synthesis of complex distillation columns using rigorous models. *Computer Aided Chemical Engineering.* 2004. No. 18. P. 53–74.

70. Pena J., Upegui A., Eduardo Sanchez, E. Particle swarm optimization with discrete recombination: An online optimizer for evolvable hardware. Proceedings of the 1st NASA/ESA conference on adaptive hardware and systems (AHS-2006), Istanbul, Turkey. 2006. P. 163–170.

71. Jason H. Moore, Lance W. Hahn, Marylyn D. Ritchie, Tricia A. Thornton, Bill C. White. Application of Genetic Algorithms to the Discovery of Complex Models for Simulation Studies in Human Genetics. *Proc Genet Evol Comput Conf. 2002*. 2002. P. 1150–1155.

72. Hendrix E., Casado L., Amaral P. Global Optimization Simplex Bisection Revisited Based on Considerations by Reiner Horst. *International Conference on Computational Science and Its Applications.* 2012. P. 159–173.

73. Pinter J. Global optimization: software, test problems, and applications. Handbook of global optimization. 2002. Vol. 2. P. 515–569.

74. Xue-Ping Hou, Pei-Ping Shen, Chun-Feng Wang. Global Minimization for Generalized Polynomial Fractional Program. *Mathematical Problems in Engineering*. 2014. P. 12.

75. Bonami P., Lee J., Leyffer S., Wachter A. More Branch-and-Bound Experiments in Convex Nonlinear Integer Programming. *Argonne National Laboratory. Illinois*. 2011. 34 p.

76**.** Grossmann I. Review of Nonlinear Mixed-Integer and Disjunctive Programming Techniques*. Optimization and Engineering*. 2002. No. 3. 3. P. 227–252.

77. Vinel A., Krokhmal P.A. Mixed integer programming with a class of nonlinear convex constraints. *Discrete Optimization.* 2014. No. 24. P. 66–86.

78. Fourer R. On the Evolution of Optimization Modeling Systems. In Grötschel, M. ed. *Documental Mathematical. Extra Vol. "Optimization Stories"*. 2012. P. 377–388.

79. Oliveira R.M., Paulo A., Ferreira V. Global Optimization of Convex Multiplicative Programs by Duality Theory. *Global Optimization and Constraint Satisfaction.* 2003. Vol. 3478. P. 101–111.

80. Grossmann I.E., ́Aguirre P.A., Barttfeld M. Optimal synthesis of complex distillation columns using rigorous models. *Computers and Chemical Engineering*. 2005. No. 29. P. 1203–1215.

81. Abhishek K., Leyffer S., Linderoth J. FilMINT: An Outer-Approximation-Based Solver for Nonlinear Mixed Integer Programs. *Argonne national laboratory. Illinois*. 2008. 30 p.

82. Lee S., Grossmann I.E. Logic-Based Modeling and Solution of Nonlinear Discrete/Continuous Optimization Problems. *Annals of Operations Research.* 2005. No. 139. Issue 1. P. 267–288.

83. Buchheim C., Trieu L. Quadratic Outer Approximation for Convex Integer Programming with Box Constraints. *International Symposium on Experimental Algorithms. SEA 2013: Experimental Algorithms*. 2013. P. 224–235.

84. Zhiyong Fang, Xueqiang Gu, Jing Chen. Improved Heuristic Flower Pollination Algorithm for Solving Multi-Dimensional Knapsack Problems. *10th International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA)*. 2017. P. 33–38.

85. Kravanja S., Šilih S., Kravanja Z. The Multilevel MINLP Optimization Approach to Structural Synthesis: the Simultaneous Topology, Material, Standard and Rounded Dimension Optimization. *Advances in Engineering Software.* 2005. Vol. 36. No. 9. P. 568–583.

86. Guoqing Li, Yushu Luo, Yong Xia, Ben Hua. Improvement on the Simultaneous Optimization Approach for Heat Exchanger Network Synthesis. *Industrial & Engineering Chemistry Research.* 2012. No. 51 (18). P. 6455–6460.

87. Exler O., Schittkowski K. A trust region SQP algorithm for mixed-integer nonlinear programming. *Optimization Letters.* 2007. Vol 1. Issue 3. P. 269–280.

88. Ugray Z., Lasdon L., Plummer J., Glover F., Kelly J., Martí R. Scatter search and local NLP solvers: Amultistart framework for global optimization. *INFORMS Journal on Computing*. 2007. No. 19 (3). P. 328–340.

89. Schaschke C. A Dictionary of Chemical Engineering Oxford Quick Reference. OUP Oxford. 2014. 191 p.

90. Pavao L.V., Miranda C.B., Costa C.B., Ravagnani M.A. Efficient multiperiod heat exchanger network synthesis using a meta-heuristic approach*. Energy.* 2018. Vol. 142. P. 356–372.

91. Rathjens M., Fieg G. Design of Cost-Optimal Heat Exchanger Networks Considering Individual, Match-Dependent Cost Functions. *Journal of the Italian Association of Chemical Engineering*. 2018. Vol. 75. P. 601–606.

92. Massimo Maiorano M., Aiorano Enrico Sciubra. Heat Exchangers Networks Synthesis and Optimization Performed by an Exergy-Based Expert Assistant. *Int.J. Applied Thermodynamics.* 2000. Vol. 3. № 1. P. 1–19.

93. Subramanian A., Gundersen T., Adams T. Modeling and Simulation of Energy Systems: A Review. *Processes*. 2018. No. 6. P. 238.

94. Tor-Martin Tveit. A systematic procedure for analysis and design of energy systems. Helsinki University of Technology, 2006. 70 p.

95. Jiang J., Ding G., Zhang J., Zou Y., Qin S. A Systematic Optimization Design Method for Complex Mechatronic Products Design and Development. *Mathematical Problems in Engineering.* 2018. P. 14.

96. Sojitra R. Application Algorithm Development of Pinch Technology in Heat Integration Problem. *J. of Chemical Engineering & Process Technology*. 2016. No. 4.

97. Smith R., Jobson M., Chen L. Recent Development in the Retrofit of Heat Exchanger Networks. *Applied Thermal Engineering*. Elsevier. 2010. No. 30 (16). P. 2281.

98. Ma J., Chen X., Chang C., Wang Y., Feng X., Simultaneous Synthesis of Multi-Period Heat Exchanger Networks for Multi-Plant Heat Integration*., Chemical Engineering Transactions.* 2017. No. 61. P. 757–762.

99. Yin Ling Tan, Denny K.S., Mahmoud M. El-Halwagi, Dominic C.Y. Foo, Yudi Samyudia. Floating pinch method for utility targeting in heat exchanger network (HEN). *Chemical Engineering Research and Design journal homepage*. 2013. No. 8.

Derevjanko G.V., Mescherjakov V.I. ANALYTICAL REVIEW OF SYSTEMS OF DESIGNING HEAT AND MASS EXCHANGE NETWORKS

The analysis of design concepts for heat and mass transfer networks simulating complex technical systems with technological cycles of heating and cooling a substance is presented. An optimization-based approach defines the main paradigm of the modern formulation of design problems. Moreover, the methods for choosing the system parameters should have such a property that an optimum exists and should be achievable at an acceptable cost of computer time. The determination of a global extremum is necessary not only because it is the best possible solution, but also because a local extremum can lead to incorrect estimates of the results of calculations of model variables.

The applied development of mathematical programming models for various systems, such as reactor networks, distillation systems, heat and mass transfer networks, technological schemes of factories and workshops, is due to the fact that these models can be used as a basis for the development of computer-aided design tools.

Despite the undoubted advantages of a systematic approach to solving a design problem based on HEN / MEN representations used in conjunction with the principles of optimal design theory, there are a number of disadvantages:

– formalization of the optimal design problem is one of the most difficult stages of work. The quality of the model cannot be evaluated either in structure or in form;

– an increase in the number of elements and connections in the system and the number of variables up to tens of thousands, as well as the number of sampling intervals, leads to great computational difficulties;

– increasing the size of the problem leads to difficulties in analyzing the linearity and convexity of the objective function, the stability of solutions;

– the dependence of the solution of problems on the initial approximations, since nonlinear optimization problems do not ensure convergence to a global minimum.

A radical way out of this situation is a paradigm shift in solving the design problem, which implements a systematic approach and allows us to obtain a solution based on a global extremum.

Key words: *design, optimization, model, constraints, global extremum.*

УДК 004
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-1/14

Завгородня Г.А.
Державний університет інфраструктури та технологій

Корнага Я.І.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Мухін В.Є.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Завгородній В.В.
Державний університет інфраструктури та технологій

Базака Ю.А.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

МОДЕЛЮВАННЯ СЦЕНАРІЇВ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ГАЗОЗАПРАВНИХ СТАНЦІЯХ

У роботі розглянуто набір сценаріїв потенційних наслідків важких техногенних аварій на АГЗС. Для аналізу і оцінки ризиків пропонується використання універсального методу дослідження дерев відмов, який може бути реалізованим у системі управління техногенними ризиками, що давала б змогу автоматизовано приймати ефективні рішення щодо безпечного функціонування АГЗС.

Запропоновано використання моделі розвитку аварійних ситуацій на АГЗС для оцінки ризику і наслідків аварій, на об'єктах зберігання, переробки і транспортування зріджених вуглеводневих газів із метою оцінки наслідків аварійних вибухів паливно-повітряних сумішей. Також було наведено рекомендований алгоритм розрахунку параметрів вибуху паливно-повітряних сумішей.

Запропоновано загальну схему ймовірнісної моделі виникнення і розвитку аварії для визначення характерних факторів небезпеки на потенційно небезпечних об'єктах.

Були досліджені реальні аварійні ситуації, спричинені руйнуванням автоцистерни, трубопроводу, резервуару, газороздавальної колонки та насосного агрегату, дані яких використовувались як вхідна інформація для побудови дерев відмов. Декомпозиція цих небезпек дала змогу побудувати моделі причинно-наслідкових зв'язків розвитку сценаріїв прогнозованих небезпек.

Застосовано метод дерев відмов для виявлення всіх шляхів, які призводять до аварійної ситуації на АГЗС, та визначення мінімального числа комбінацій подій, які можуть до неї призвести. Побудоване дерево відмов дасть змогу надалі здійснювати якісне визначення основних причин аварійних подій і виконувати кількісну оцінку ймовірності їх виникнення.

Застосування дерева відмов дасть змогу здійснювати систематичну логічно обґрунтовану побудову безлічі відмов елементів системи, які можуть призводити до аварії на АГЗС, проводити аналіз таких ситуацій для подальшого прийняття рішення щодо їх запобігання та ліквідації наслідків.

Ключові слова: *автомобільна газозаправна станція, аварійна ситуація, дерево відмов, сценарій аварії, ризик.*

Постановка проблеми. Відмінною особливістю підприємств нафтогазового комплексу є висока їхня небезпека для населення і навколишнього середовища. Автомобільні газозаправні станції (далі – АГЗС) призначені для прийому і зберігання зрідженого вуглеводневого газу (далі – ЗВГ) – пропану, бутану та їхніх сумішей, а також заправки ним газобалонного обладнання автомобілів. Висока потенційна небезпека ЗВГ пояснюється легким його переходом у газову фазу, що під час змішання з повітрям утворює вибухонебезпечні суміші. У зв'язку з цим АГЗС відносять до небезпечних об'єктів, які можуть становити небезпеку не тільки для персоналу, але й для населення.

Сьогодні розвинені країни широко застосовують методологію ризику для комплексного вирішення питань безпеки, яка ґрунтується на визначенні наслідків та ймовірності небажаних подій. Ця методологія використовує такі кількісні показники ризику, як індивідуальний або соціальний ризик загибелі людей, що дають змогу не тільки оцінити потенційну небезпеку, але й порівняти небезпеки різної природи. Такі оцінки ризику використовують для здійснення висновків про прийнятність небезпеки або необхідність вживання заходів щодо зниження ризику [1].

Досить вдалим засобом для забезпечення повного і зваженого функціонального опису ризиків на АГЗС є використання представлення знань про досліджувані об'єкти і системи у вигляді графічних логічних побудов. Оскільки технологія функціонування АГЗС є досить складною, то для аналізу і оцінки ризиків пропонується використання універсального методу дослідження дерев відмов. Цей метод може бути реалізованим у системі управління техногенними ризиками, яка давала б змогу автоматизовано приймати ефективні рішення щодо безпечного функціонування АГЗС.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основним завданням ідентифікації та оцінки потенційно небезпечних технологічних об'єктів є виявлення і експертний опис усіх притаманних певному об'єкту небезпек. Водночас механізми виникнення і розвитку небезпечних ситуацій мають складні сценарії, що включають різні типи аварій. За даними попередніх досліджень виявлено, що найбільш частими типами аварій на АГЗС є пожежі (протоки і вогненні кулі) та вибухи [2].

За даними проведеного моніторингу методології аналізу ризиків [3], слід підкреслити, що проблема обліку технологічних процесів під час вирішення завдань управління мінімізацією ризиків у нафтогазовому комплексі раніше майже не розглядалася. Застосовувані технології моніторингу управління ризиками не враховують випадковий характер і системні взаємозв'язки технологічних процесів експлуатації АГЗС.

Дослідження і аналіз результатів обстеження умов виникнення і розвитку аварійних ситуацій проведено з урахуванням аналізу випадковості умов виникнення і розвитку аварійних ситуацій в основних технологічних операціях на АГЗС [4].

Ключовим етапом аналізу ризику є його оцінка, яка передбачає ідентифікацію ризиків, визначення тяжкості наслідків і вірогідності їх виникнення, розроблення заходів зі зменшення негативних наслідків, визначення рівня прийнятності ризику і, за необхідності, розроблення заходів з метою зниження його рівня. Аналіз підходів і методики для оцінки та аналізу ризику показує, що для вирішення таких завдань найбільш раціонально скористатися аналізом характеру та наслідків відмов із використанням аналізу дерева відмов, оскільки ним зручно можуть бути описані основні функціональні операції на АГЗС [5].

Постановка завдання. Мета дослідження – виявити всі шляхи, які призводять до аварійної ситуації на АГЗС, застосовуючи метод дерев відмов.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для оцінки ризику і наслідків аварій на об'єктах зберігання, переробки і транспортування ЗВГ використовується модель розвитку аварійних ситуацій на АГЗС з метою оцінки наслідків аварійних вибухів паливно-повітряних сумішей (далі– ППС).

Під час моделювання аварійних ситуацій передбачаються часткова розгерметизація або повне руйнування устаткування, що містить горючі речовини в газоподібній або рідкій фазі, викид цієї речовини в навколишнє середовище, утворення хмари ППС, ініціювання ППС, вибухове перетворення (горіння або детонація) у хмарі ППС. На основі представленої моделі визначаються ймовірні ступені ураження людей і ступені ушкодження будинків від вибухового навантаження під час аварій із вибухами ППС.

Модель враховує шість режимів вибухових перетворень хмар ППС: від детонації до дефлагації зі швидкістю видимого фронту полум'я 100 м/с. Відповідно до обраного режиму вибухового перетворення, а також залежно від маси палива, що утримується в хмарі, і відстані визначаються межі зон повних, сильних, середніх і слабких ступенів руйнування будинків і споруджень жилої та промислової забудови. Розрахунки виконуються з використанням моделі оцінки інтенсивності теплових потоків для вогненної кулі.

Для розрахунку параметрів ударних хвиль у разі вибуху хмари ППС використовуються такі вихідні дані [6]:

– характеристики горючої речовини, що утримується в хмарі;

– агрегатний стан ППС (газова або гетерогенна суміш);

– середня концентрація горючої речовини в суміші;

– стехіометрична концентрація горючого газу з повітрям;

– маса горючої речовини, що утримується в хмарі;

– питома теплота згоряння горючої речовини.

Тож для розрахунку параметрів вибуху ППС нами рекомендується алгоритм, що містить такі структурні елементи:

1. визначення маси горючої речовини, що утримується в хмарі;

2. визначення ефективного енергозапасу ППС;

3. визначення режиму вибухового перетворення ППС;

4. розрахунок максимального надлишкового тиску та імпульсу фази стиску повітряних ударних хвиль для різних режимів;

5. визначення додаткових характеристик вибухового навантаження;

6. оцінка вражаючого впливу вибуху ППС.

Процес виявлення можливих аварійних ситуацій і побудова сценаріїв їхнього розвитку, перш за все, полягає у визначенні їхніх можливих причин. Для визначення характерних факторів небезпеки на потенційно небезпечних об'єктах пропонується загальна схема ймовірнісної моделі виникнення і розвитку аварії.

В аварійній ситуації на АГЗС виділено три фази:

Фаза 1. Період виникнення аварійної ситуації в межах одного технологічного блоку.

Фаза 2. Розвиток аварії в межах ділянки технологічного блоку і загроза ланцюгового розвитку аварії з виходом за межі локальної ділянки технологічного блоку і залученням в аварійний процес усього технологічного об'єкта (АГЗС).

Фаза 3. Ланцюговий розвиток аварії на рівні АГЗС з можливим руйнуванням будинків і споруд; істотні руйнування і загибель людей можуть відбутися на всій території АГЗС і за її межами.

Під час роботи з ЗВГ можливі різні аварійні ситуації: з витоком газу або без, із запаленням газу чи без, з виникненням вогню від газу або від зовнішнього джерела, з руйнуванням ємності або без.

Більша частина зареєстрованих аварій під час роботи із ЗВГ пов'язана з витоком і запаленням газу та руйнуванням ємності. Такі аварії найбільш драматичні як за результатами вчинених руйнувань, так і щодо смертельного результату [7].

Аналіз аварій, що відбулися, на аналогічних об'єктах дає змогу виділити три взаємозалежні групи причин, що сприяють виникненню і розвитку аварій:

1. *Відмови устаткування* (корозія, фізичне зношування та механічні ушкодження; помилки під час проєктування і виготовлення; старіння металу, не виявлене під час огляду; порушення режимів експлуатації).

2. *Помилки персоналу* (під час прийому ЗВГ із автоцистерн; під час відпуску ЗВГ споживачам, заправлення газобалонних автомобілів; під час відбору проб ЗВГ з резервуарів; під час підготовки устаткування до ремонту, під час проведення ремонтних і профілактичних робіт; під час пуску і зупинки устаткування; під час локалізації аварійних ситуацій).

3. *Нерозраховані зовнішні впливи природного і техногенного характеру* (штормові вітри і урагани, сніжні замети, зливові дощі, грозові розряди, механічні ушкодження, диверсії).

Для прогнозної оцінки частоти аварійних ситуацій через відмови технологічного обладнання було використано досвід експлуатації типових вибухопожежонебезпечних модулів і статистичні дані обстеження аналогічних об'єктів [8].

За даними обстеження були побудовані формалізовані моделі дерев відмов з урахуванням складників небезпек, які використовуються під час розрахунків кількісної оцінки аварійних ситуацій [8].

Аналіз складників АГЗС показує, що на об'єкті можуть виникати аварійні ситуації, спричинені руйнуванням автоцистерни, трубопроводу, резервуару, газороздавальної колонки та насосного агрегату (рис. 1). Були досліджені реальні аварійні ситуації перелічених сценаріїв, дані яких використовувались як вхідна інформація для побудови дерев відмов. Декомпозиція цих небезпек дала змогу побудувати моделі причинно-наслідкових зв'язків розвитку сценаріїв прогнозованих небезпек.

На дереві відмов функціонування АГЗС прямокутниками позначено головні події, кожна з яких складається з базових (складників). Причинно-наслідкові відношення визначаються логічними операторами, які відображені відповідними символами.

Для визначення прогнозованого технічного ризику використані величини ймовірності вихідних ситуацій, що входять до моделі дерев відмов, включно з обліком відмов обладнання та даними експертних оцінок [5].

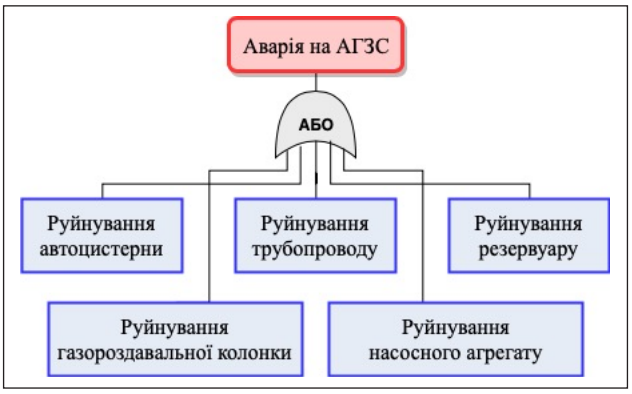


Рис. 1. Дерево відмов функціонування АГЗС

Основні аварійні ситуації на АГЗС пов'язані з руйнуванням (повним або частковим) автоцистерни,

ємнісного устаткування, трубопроводів або насосів. Ці руйнування можуть призвести до таких видів аварійних ситуацій: пожежі проливу, вогненної кулі, вибуху, спалаху. Найбільшу небезпеку для людей і матеріальних цінностей становлять вражаючі фактори вибуху і вогненних куль: загоряння автомобіля біля паливної колонки, вибух автомобіля, загоряння паливної колонки, загоряння та вибух автоцистерни і резервуарів зі ЗВГ [9].

Можливі сценарії аварійних ситуацій на АГЗС та аналіз умов їх виникнення і розвитку наведено далі у вигляді окремих дерев відмов.

Для кожного із можливих сценаріїв аварійних ситуацій на АГЗС є декілька подій, які є спільними для всіх сценаріїв, вони були об'єднані в один блок. Цей блок складається з чотирьох подій: природні явища, дефекти конструкцій, зношення устаткування, пожежа на об'єктах АГЗС.

На рис. 2 наведено реалізацію сценарію руйнування автоцистерни, який може призвести до проливу ЗВГ у піддон унаслідок розгерметизації автоцистерни, фланцевих з'єднань, штуцерів видачі ЗВГ з автоцистерни, трубопроводів, запірної арматури. Також можливе утворення пароповітряної хмари або загоряння парів ЗВГ усередині автоцистерни, унаслідок чого виникне пожежа проливу або вибух.

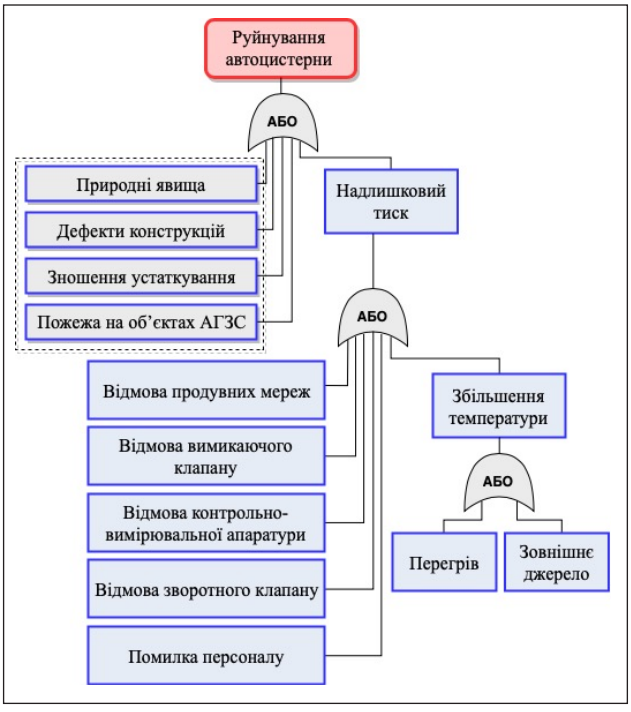


Рис. 2. Дерево відмов під час руйнування автоцистерни

Трубопровідні системи є джерелом підвищеної небезпеки через велику кількість зварних і фланцевих з'єднань, запірної і регулюючої арматури, жорстких умов роботи і значних обсягів речовин, що перекачуються ними. Розгерметизація та руйнування трубопроводу (рис. 3) найчастіше має локальний характер і не призводить до серйозних наслідків. Однак у разі несвоєчасної локалізації може статися подальший розвиток аварії [10].

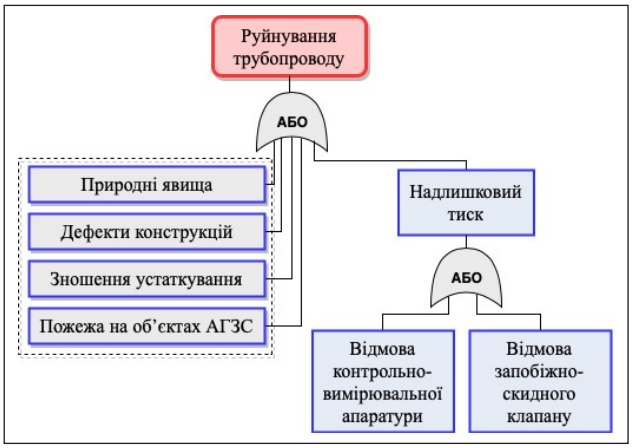


Рис. 3. Дерево відмов під час руйнування трубопроводу

Ємнісне устаткування (резервуари) є джерелом підвищеної небезпеки. Це пов'язано з великою кількістю ЗВГ, який у них зберігається. Руйнування резервуара (рис. 4) може призвести до проливу ЗВГ у його піддон, внаслідок чого виникне пожежа проливу. Також можливі сценарії, пов'язані з утворенням вибухонебезпечних концентрацій ЗВГ всередині резервуара, внаслідок чого виникає їх загоряння з подальшим вибухом і утворенням вогненної кулі.

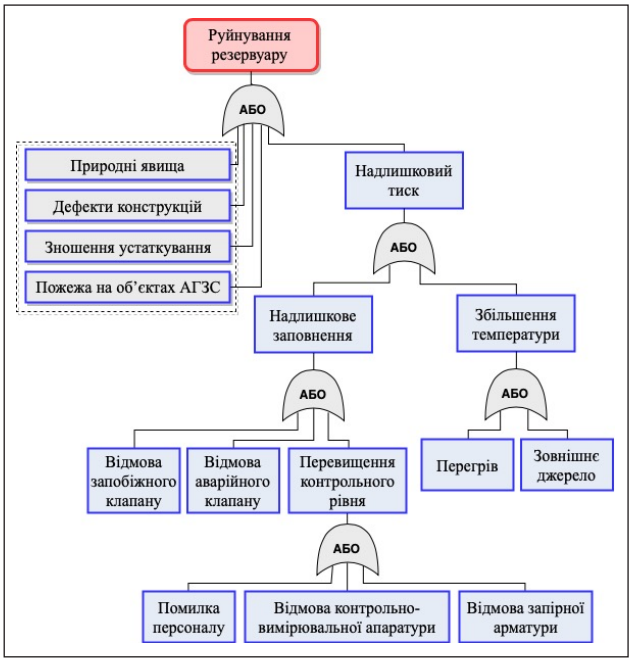


Рис. 4. Дерево відмов під час руйнування резервуара

Рис. 5. Дерево відмов під час руйнування газороздавальної колонки

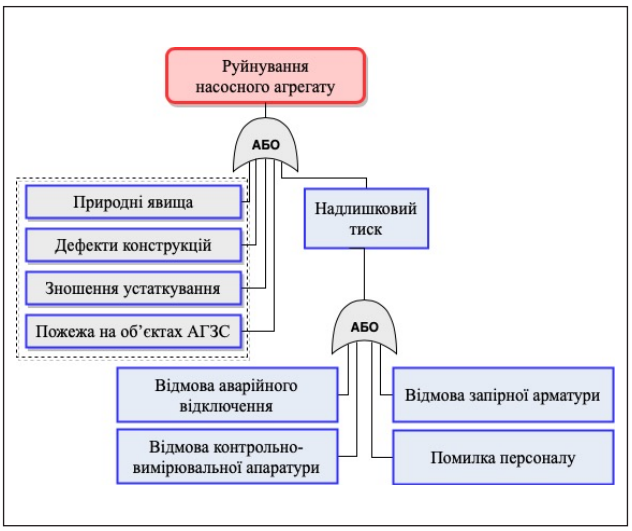


Рис. 6. Дерево відмов під час руйнування насосного агрегату

У разі руйнування елементів газороздавальної колонки (рис. 5) може виникати утворення пароповітряної хмари з подальшим її загорянням і можливим вибухом. Також може виникнути загоряння парів ЗВГ або пожежа проливу.

Аварійна зупинка насосів може призвести до порушення гідравлічного і теплового режиму системи та руйнування обладнання (рис. 6). Досвід експлуатації АГЗС показує, що деякі елементи конструкції насосів, наприклад такі, як торцеві ущільнення, володіють низьким рівнем надійності.

Під час оцінки ризику аварії методом дерев відмов виявляються комбінації відмов устаткування, помилок персоналу і зовнішніх (техногенних, природних) впливів, що призводять до основної події – аварійної ситуації. Отримані ймовірності реалізації сценаріїв аварії слугують основою для розрахунку показників індивідуального та соціального ризиків. Розрахунок цих ризиків передбачає виконання низки дій:

– визначення ймовірності виникнення ініціюючих подій для можливих основних сценаріїв аварії;

– побудова логічних дерев відмов під час виникнення основних ініціюючих аварійних ситуацій;

– визначення статистичних ймовірностей переходу аварії на різні гілки дерева відмов;

– визначення умовних ймовірностей ураження під час реалізації різних гілок дерева відмов.

Висновки. Застосовано метод дерев відмов для виявлення всіх шляхів, які призводять до аварійної ситуації на АГЗС, та визначення мінімального числа комбінацій подій, які можуть до неї призвести. Побудоване дерево відмов дасть змогу надалі здійснювати якісне визначення основних причин аварійних подій і виконувати кількісну оцінку ймовірності їх виникнення. Отже, застосування дерева відмов дає змогу здійснювати систематичну логічно обґрунтовану побудову безлічі відмов елементів системи, які можуть призводити до аварії на АГЗС, проводити аналіз таких ситуацій для подальшого прийняття рішення щодо їх запобігання та ліквідації наслідків.

Список літератури:

1. Алымов В.Т., Тарасова Н.П. Техногенный риск. Анализ и оценка. Москва : Академкнига, 2004. 311 с.

2. Черноморец В.А., Горбунов С.К. Концептуальные основы информационных технологий предсказания потенциальных угроз техногенным объектам. *УСиМ*. 2004. № 6. С. 68–76.

3. Грановский Э.А., Лыфарь В.А. Анализ риска возникновения аварий, пожаров и взрывов. *Бюллетень пожарной безопасности. (Научно-технические проблемы и решения)*. 2001. № 2. С. 13–15.

4. Щебеко Ю.Н., Гордиенко Д.М., Малкин В.Л., Смолин И.М. и др. Оценка индивидуального и социального риска пожаров и взрывов для многотопливной автозаправочной станции. *Пожаровзрывобезопасность*. 1999. № 6. С. 42–47.

5. Проурзин В.А. Алгоритмы численного анализа надежности и риска для сложной системы на основе деревьев отказов. *Труды Международной научной школы «Моделирование и анализ безопасности, риска и качества в сложных системах» (МА БРК – 2001)*. Санкт-Петербург : Издательство ООО «НПО «Омега», 2001. С. 263–268.

6. Завгородня Г.А., Завгородній В.В. Метод кількісної оцінки ризику технічних систем. *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій Міністерства освіти і науки України : Серія «Транспортні системи і технології».* Вип. 32–33. Київ : ДУІТ, 2018. С. 87–95.

7. Панкратова Н.Д., Курилин Б.Н. Концептуальные основы системного анализа рисков в динамике управления безопасностью сложных систем. *Проблемы управления и информатики*. 2000. № 6. С. 110–130.

8. Махутов Н.А. и др. Особенности сценарного анализа возникновения и развития техногенных катастроф. *Проблемы безопасности и ЧС*. 2007. Вып. 3.

9. Соложенцев Е.Д. Сценарное логико-вероятностное управление риском в бизнесе и технике. Санкт-Петербург, 2004. 416 с.

10. Малинецкий Г.Г. Сценарии, стратегические риски, информационные технологии. *Информационные технологии и вычислительные системы.* 2002. № 4. С. 62–70.

Zavgorodnya A.A., Mukhin V.Ye., Kornaga Ya.I., Zavgorodnii V.V., Bazaka Yu.A.

MODELING OF EMERGENCY SITUATIONS AT CAR GAS STATION

The paper deals with a set of scenarios of potential consequences of severe man-made accidents at the CGS. For the analysis and assessment of risks, it is proposed to use a universal method of investigation of failure trees, which can be implemented in the system of man-made risk management, which would allow making automated effective decisions on safe functioning of the CGS.

It is proposed to use the model of emergency development at the CGS to assess the risk and consequences of accidents, at the facilities for storage, processing and transportation of liquefied hydrocarbon gases, in order to assess the consequences of accidental explosions of fuel-air mixtures. The recommended algorithm for calculating the parameters of the explosion of fuel-air mixtures was also given. A general scheme of a probabilistic model for the occurrence and development of an accident is proposed to identify the characteristic hazard factors at potentially hazardous sites. The actual emergencies caused by the destruction of the tanker, pipeline, tank, gas dispenser and pump unit were investigated, the data of which was used as input for the construction of fault trees. Decomposition of these hazards allowed us to build models of cause and effect relationships for the development of projected hazard scenarios.

The bounce tree method is used to identify all paths that cause an emergency at a gas station and to determine the minimum number of event combinations that can lead to it. The built-in failure tree will allow to further qualitatively identify the main causes of the accident and to quantify the probability of their occurrence.

The use of a failure tree will allow systematically logically justified construction of many failures of system elements that could lead to an accident at the CGS, to analyze such situations for further decision-making regarding their prevention and elimination of consequences.

Key words: *car gas station, emergency situation, fault tree, crash scenario, risk.*

УДК 004.92
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-1/15

Качурівський В.О.
Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»

Качурівська Г.М.
Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»

ПРОГРАМУВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ ІЗ ЗОБРАЖЕННЯМИ НА ВЕБСАЙТІ

У статті розглянуто питання програмування соціальної взаємодії із світлинами. Робота установи, організації, корпорації висвітлюється на офіційному вебсайті. Складовими елементами інформаційних повідомлень є текстові блоки, світлини подій та інші об'єкти. Під час перегляду інформаційних повідомлень у користувача, природно, може виникнути бажання провести дії над світлинами, а саме: зберегти світлини в себе на комп'ютері або ґаджеті, поширити світлину в соціальних мережах, вподобати ту чи іншу світлину, поділитися світлиною з друзями, можливо, і прокоментувати її.

Найбільш поширені системи управління контентом WORDPRESS, MODX, JOOMLA, DRUPAL не передбачають проведення перелічених дій із світлинами.

Реалізація взаємодії із світлинами потребує визначення структури інформаційної моделі та розроблення відповідних програмних додатків.

Для вирішення проблеми ми пропонуємо таку інформаційну модель взаємодії користувача із світлинами: реалізацію взаємодії зручно проводити в окремому модальному вікні за визначеним макетом компонування блоків; під час натискування користувачем лівої кнопки миші на світлині відкривається модальне вікно взаємодії; у модальному вікні відображається ескіз світлини та блок кнопок для взаємодії; блок взаємодії містить такі кнопки: завантажити файл, поширити в соціальній мережі, вподобати та інші. Кожна взаємодія програмується на стороні користувача за допомогою JavaScript-сценарію; вибір взаємодії із соціальними мережами визначається засновниками сайту.

Втілення запропонованої моделі потребує вирішення двох завдань: конструювання макета модального вікна; програмування відповідних додатків за допомогою JavaScript-сценарію.

Макет модального вікна складають такі блоки: ескіз світлини, закрити вікно, блок взаємодії із світлинами, підкладка. Для позиціонування блоків і створення адаптивної верстки можна використати фреймворк Bootstrap.

Програмування сценарію взаємодії із світлиною проводиться шляхом визначення адреси та додавання атрибутів до відповідних тегів. Програмування взаємодії проводимо за допомогою бібліотеки jQuery.

Ключові слова: *програмування додатків, взаємодія із світлиною, Javascript-сценарій, модальне вікно, соціальні мережі.*

Постановка проблеми. Робота установи, організації, корпорації висвітлюється на офіційному вебсайті. Складовими елементами інформаційних повідомлень є текстові блоки, світлини подій та інші об'єкти. Світлини зберігаються на сервері окремими файлами та за допомогою редактора системи управління контентом, на основі якої організовано сайт, вкладаються у відповідне інформаційне повідомлення. Супровід повідомлення світлинами робить інформацію привабливою для користувачів, викликає зацікавленість та інтерес.

Під час перегляду інформаційних повідомлень у користувача природно може виникнути бажання провести дію над світлинами, а саме: зберегти світлини в себе на комп'ютері або ґаджеті, на якому переглядається сайт, поширити світлину в соціальних мережах, вподобати ту чи іншу світлину, поділитися світлиною з друзями, можливо, і прокоментувати її. Найбільш поширені системи управління контентом WORDPRESS, MODX, JOOMLA, DRUPAL [6] не передбачають проведення перелічених дій із світлинами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У багатьох соціальних мережах є кнопки та віджети, які дають змогу користувачам легко ділитись уподобаним вмістом з інших сайтів і додатків: «+1» від Google+, «Подобається» від Facebook тощо. Якщо користувач натискає таку кнопку на вашому сайті (додатку), це називається соціальною

взаємодією [4]. В інформаційному просторі пропонується велика кількість автономних та адаптивних модулів для такої взаємодії [1; 4–5; 7–8]. Дані розробки поширюються як на комерційній основі, так і безкоштовно. Переважна кількість розробок стосується взаємодії з публікацією загалом. Відсутні розробки для соціальної взаємодії із зображеннями, які висвітлюються в контенті.

Постановка завдання. Метою статті є розробити інформаційну модель взаємодії із світлинами на вебсайті; визначити конструктивний макет моделі та розробити програмні коди для реалізації цієї взаємодії.

Виклад основного матеріалу дослідження. Здійснення взаємодії із світлинами потребує визначення конструктивного макета інформаційної моделі та розроблення відповідних програмних кодів для реалізації взаємодії.

Для вирішення цієї проблеми ми пропонуємо таку інформаційну модель взаємодії користувача із світлинами:

– реалізацію взаємодії зручно проводити в окремому модальному вікні за визначеним макетом компонування блоків;

– під час натискування користувачем лівої кнопки миші на світлині відкривається модальне вікно взаємодії;

– у модальному вікні відображається ескіз світлини та блок кнопок для взаємодії;

– блок взаємодії містить кнопки: завантажити файл, поширити в соціальній мережі, вподобати та інші. Кожна взаємодія програмується на стороні користувача за допомогою JavaScript-сценарію;

– вибір соціальних мереж визначається засновниками сайту.

Реалізація запропонованої моделі потребує вирішення двох завдань:

1. Конструювання макета модального вікна.

2. Програмування відповідних додатків взаємодії за JavaScript.

Для вирішення **першого завдання** нами розроблено такий макет модального вікна. Схематично макет модального вікна та розташування блоків подано на рис. 1.

У макеті визначено такі блоки:

Ескіз світлини – прямокутна ділянка, у якій буде відображатися світлина, на якій виникла подія – клік лівої клавіші миші.

Закрити вікно – дія закриття модального вікна.

Блок взаємодії із світлинами – визначені дії, які може здійснити користувач через відповідні JavaScript-сценарії. Пропонуємо найбільш поширені взаємодії: завантажити файл світлини на свій комп'ютер або на диск із застосуванням хмарної технології; поширити в соціальній мережі (наприклад, Facebook); вподобати світлину в соціальній мережі; прокоментувати світлину в соціальній мережі та інше. Вибір соціальних мереж здійснюється засновниками сайту.

Підкладка – контейнер, який займає весь екран і призначений для затемнення фону модального вікна. Усі інші структурні елементи відображаються на її фоні. Фон підкладки можна встановити одноколірним, градієнтним або ж застосувати фоновий малюнок.

Модальне вікно, за розробленим макетом, програмується на основі HTML таким кодом:

```
<!-- Модальне вікно -->
<div id="modalf_form" class="col-sm-12 col-md-12">
<!-- Кнопка закрити -->
<div id="modalf-header"> <span id="modalf_close" title="Close"></span></div>
<!-- зміст модального вікна -->
<!-- ескіз світлини -->
<div id="sketch_foto" class="col-sm-8 col-md-8">
```

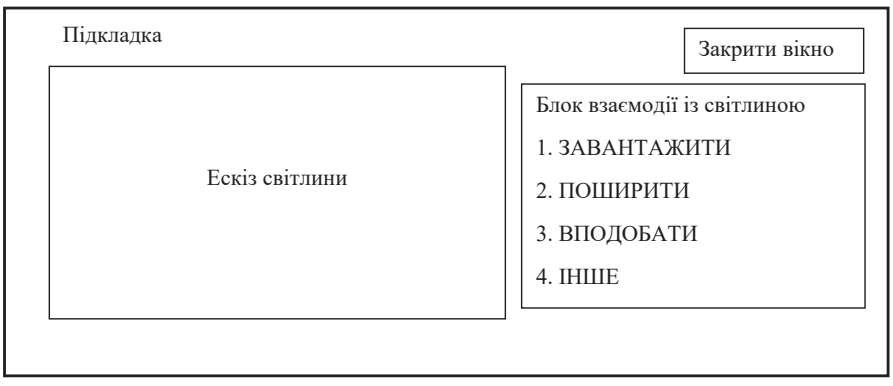


Рис. 1. Макет модального вікна для взаємодії із світлиною

```
<img src="" id="foto" />
<div id="foto_title" class="modalf-title"> </div>
</div>
<!-- блок взаємодії -->
<div id="interaction" class="col-sm-4 col-md-4">
<h4 style="color: #fff;">Взаємодія із світлиною</h4>
<hr />
<!-- Завантажити -->
<div> <a id="DownLoad" title="Завантажити фото" download=""> Завантажити </a> </div>
<!-- Поширити -->
<div> <a target="_blank" id="share" title="Поширити фото у Facebook"> Поширити у Facebook </a> </div>
</div>
</div>
<!-- Підкладка -->
<div id="overlay_f"></div>
```

За допомогою CSS проводиться стилізоване оформлення модального вінка відповідно до дизайну сайту.

Для позиціонування блоків «ескіз світлини» (контейнер з ідентифікаторам sketch_foto) та «блока взаємодії з світлиною» (контейнер з ідентифікаторам interaction) зручно використати фреймворк Bootstrap для адаптивної верстки модального вікна із встановленими класами [3]. Блоку sketch_foto встановлюємо клас col-sm-8 col-md-8, а блоку взаємодії interaction – клас col-sm-4 col-md-4.

У блоці відображення світлини тег <img src=""> атрибут src залишаємо порожнім. Адресу файлу світлини будемо додавати після натискування лівої кнопки миші на конкретній світлині.

Початково модальне вікно id="modalf_form" зняте з відображення за допомогою властивості display: none, яка записана в стильовому файлі. Відображення вікна активується властивістю display: block під час натискування лівої кнопки миші на світлині. Зміна значення display програмується в JavaScript-сценарії.

Для відображення модального вікна поверх відображення інформації сайту встановлюємо властивість z-index:1001, підкладку z-index:1000.

Приклад оформлення модального вікна, компонування блоків і стильового оформлення подано на рис. 2.

Для вирішення **другого завдання** – програмування додатків взаємодії із світлинами – необхідно розробити відповідні сценарії реакції на дії користувача.

Перелік сценаріїв і перелік дій цих сценаріїв є таким:

– ***Сценарій 1 «Активація».*** Вибір адреси файлу світлини, на якій користувач натиснув ліву кнопку миші. Додавання адреси до атрибута src тегу . Активація модального вікна на відображення.

– ***Сценарій 2 «Закриття вікна».*** Під час натискування кнопки «Закрити» провести деактивацію модального вікна.

– ***Сценарій 3 «Завантаження».*** Під час натискування кнопки «Завантажити» активувати гіперпосилання Заванта-

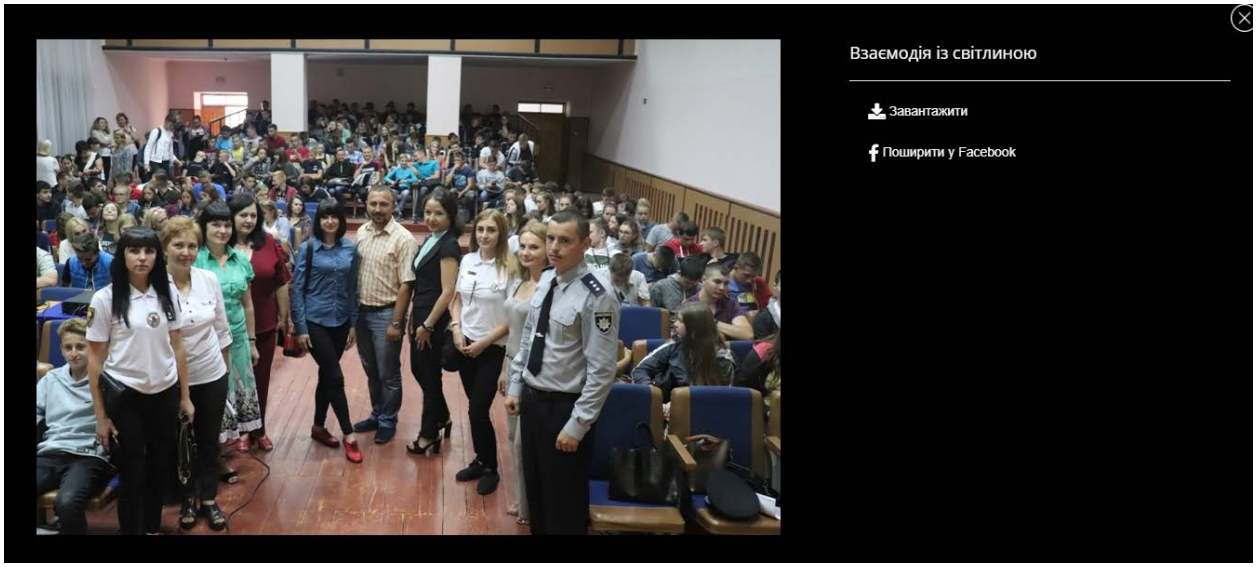


Рис. 2. Скріншот модального вікна взаємодії із світлиною

жити шляхом додавання атрибута src з адресою файлу світлини на сервері.

– ***Сценарій 4 «Поширення в соцмережі».*** Під час натискування гіперпосилання «Поширити» активація посилання Поширити у Facebook шляхом додавання атрибута src з адресою файлу світлини на сервері.

Реалізацію цих сценаріїв проводимо на стороні користувача за допомогою бібліотеки jQuery.

Сценарій 1 «Активація».

Під час створення інформаційного повідомлення нами розроблено стильове відображення світлин. Параметри відображення сформовано у відповідні класи. Клас .foto_full визначає відображення світлини на всю ширину, .foto_two_left, .foto_two_right визначають відображення світлин зменшеним форматом в один ряд одна біля одної. Клас .foto_news визначає формат вступної світлини в контенті.

JavaScript-сценарій буде таким. Визначаємо адресу вибраної світлини. Додаємо #foto атрибута src адресу світлини. Для відображення вікна активуємо контейнер #modalf_form властивістю display:block, а також активуємо «підкладку» #overlay_f. Призначення «підкладки» створити фон, який закриває сторінку сайту для зосередження уваги на світлині та взаємодії з нею.

Відбір світлин, які вкладені в повідомлення, реалізовуємо командою jQuery(‘класи світлин’). Ця команда формує колекцію світлин, на основі якої можна створити переглядач зображень.

Програмні коди сценарію такі:

```
jQuery(‘.foto_news, .foto_full, .foto_two_left, .foto_two_right’).click( function(event){
var path_foto= jQuery (this).attr(‘src’);
jQuery(‘#foto’).attr(‘src’,path_foto);
jQuery(‘#overlay_f’).fadeIn(400,
function(){
jQuery(‘#modalf_form’).css(‘display’, ‘block’);
jQuery(‘#modalf-header’).css(‘display’, ‘block’);
});
});
```

Сценарій 2 «Закриття вікна». Під час закриття модального вікна надаємо порожню адресу тегу img, знімаємо відображення модального вікна властивістю display: none, а також знімаємо відображення «підкладки вікна» з ефектом fadeOut, який реалізований у бібліотеці jQuery.

Програмні коди сценарію такі:

```
jQuery(‘#modalf_close).click( function(){
jQuery(‘#foto’).attr(‘src’,"");
jQuery (‘#modalf_form’)
.animate({opacity: 0, top: ‘10%’}, 200,
function(){
jQuery (this).css(‘display’, ‘none’);
jQuery(‘#modalf-header’).css(‘display’, ‘none’);
jQuery (‘#overlay_f’).fadeOut(400);
});
```

Сценарій 3 «Завантаження». Під час натискування кнопки «Завантажити» активувати гіперпосилання Завантажити шляхом додавання атрибута href з адресою файлу світлини на сервері.

Програмні коди сценарію такі:

```
jQuery(‘#DownLoad’).click(function(){
var path=jQuery(‘#foto’).attr(‘src’);
jQuery(‘#DownLoad’).attr(‘href’,path);
});
```

Розробники соціальних мереж пропонують розробникам сайтів відповідну документацію з імплементації соціальних плагінів на сайті. Наприклад, з документацію взаємодії поширення мережі Facebook можна ознайомитися на сайті [3].

Сценарій 4 «Поширення в соцмережі». JavaScript-сценарій взаємодії поширення світлини в мережі Facebook програмується так:

1. Під час кліку на пункті ПОШИРИТИ визначається адреса файлу світлини на сервері, яка відображається в модальному вікні.

2. Додається атрибут href= ”http://www.facebook.com/sharer.php?u =http://домен сайту + адреса файлу світлини на сервері” до тегу <a> з id=”share ”.

Програмні коди сценарію такі:

```
jQuery(‘#share’).click(function(){
var path_foto=jQuery(‘#foto’).attr(‘src’);
var path_share="http://www.facebook.com/sharer.php?u=http://www.bati.nubip.edu.ua"+path_foto;
jQuery(‘#share’).attr(‘href’,path_share);
});
```

Аналогічний JavaScript-сценарій можна застосувати до взаємодії ВПОДОБАТИ в мережі Facebook.

Висновки. Розроблена модель взаємодії пройшла апробацію та впровадження на офіційному сайті Відокремленого підрозділу Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут» (адреса сайту – www.bati.nubip.edu.ua). Подальшого розвитку потребують питання таких соціальних взаємодій: робота із хмарними технологіями (зокрема, робота з диском); імплементації

соціальних мереж Instagram, Twitter тощо. Також заслуговують на увагу розробників питання подальшої адаптації модального вікна для верстки на мобільних пристроях. Способи соціальної взаємодії можуть бути корисними під час сучасних підходів до створення фотогалерей на сайті.

Список літератури:

1. 20 WordPress Social Media плагинов – чтобы поделиться контентом в социальных сетях : вебсайт. URL: https://hostenko.com/wpcafe/plugins/20-wordpress-social-media-plugins/ (дата звернення: 18.09.2019).

2. Grid system : вебсайт. URL: https://getbootstrap.com/docs/4.3/layout/grid/ (дата звернення: 18.09.2019).

3. Share Button : вебсайт. URL: https://developers.facebook.com/docs/plugins/share-button (дата звернення: 9.09.2019).

4. Social Login by BestWebSoft : вебсайт. URL: https://uk.wordpress.org/plugins/social-login-bws/ (дата звернення: 18.09.2019).

5. Д. Кондратюк. ТОП-5 Адаптивних Плагінів Соціальних Кнопок Для WP : вебсайт. URL: https://wordpress.co.ua/posts/top-5-adaptyvnyh-plaginiv-sotsialnyh-knopok-dlya-wordpress.html (дата звернення: 18.09.2019).

6. КАТАЛОГ И РЕЙТИНГ CMS : вебсайт. URL: https://it-rating.in.ua/cms/ (дата звернення: 9.09.2019).

7. Найпопулярніші плагіни спільного використання 8 для WordPress : вебсайт. URL: https://www.webhostingsecretrevealed.net/uk/blog/wordpress-blog/top-8-social-sharing-plugins-for-wordpress/ (дата звернення: 18.09.2019).

8. Про взаємодії та плагіни соціальних мереж : вебсайт. URL: https://support.google.com/analytics/answer/6209874?hl=uk (дата звернення: 18.09.2019).

Kachurivskyi V.O., Kachurivska H.M. PROGRAMMING INTERACTIONS WITH IMAGES ON THE WEBSITE

Programming of social interaction with images is considered in the given article. The work of an institution, organization, corporation is reported on the official website. Components of information messages are text blocks, images of events and other objects. Viewing information messages the user may naturally desire to act on the images: save the pictures on a personal computer or gadget, distribute the image on social networks, share the images to friends and comment on it.

The most commonly used content management systems such as WORDPRESS, MODX, JOOMLA, DRUPAL do not provide the following actions of images.

The implementation of interaction with the images requires the definition of the structure of information model and the development of appropriate software applications for the implementation of the interaction.

To solve the problem we propose the following information model of the user interaction with images: the implementation of the interaction is convenient to carry out in a separate modal window according to a specific layout blocks; when the user clicks the left mouse button on the image, a modal window of interaction opens; the modal window shows a sketch of the image and a block of buttons for interaction; the interaction block contains buttons: download a file, share in social network, like it and etc. Each interaction is programmed on the user's side using a JavaScript; the choice of engagement with social networks is determined by the founders of the site.

The implementation of the proposed model requires two problems: designing a modal window layout; programming relevant interaction applications using a JavaScript.

The layout of the modal window consists of the following blocks: sketch of the image, close the window, block of interaction with the images and substrate. It can be used the Bootstrap framework to create blocks and adaptive versions.

The programming of the layout of an interaction script is done by determining the address and adding the appropriate attributes to the interaction tags. The implementation of the interaction is carried out using the jQuery library.

Key words: *application programming, light interaction, JavaScript script, modal window, social networks.*

УДК 004.9
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-1/16

Киричек Г.Г.
Національний університет «Запорізька політехніка»

Фалькевич В.Г.
Національний університет «Запорізька політехніка»

ОПТИМІЗАЦІЯ МЕРЕЖЕВИХ СИСТЕМ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ FRONT-END ТЕХНОЛОГІЙ

У роботі розглянуто методи оптимізації мережевої вебсистеми та процес оптимізації клієнтського інтерфейсу. Методи дослідження базуються на моделюванні системи та схем взаємодії її модулів, а також методах віртуалізації довгих списків і життєвого циклу React ShouldComponentUpdate. Метою роботи є оптимізація мережевої торговельної вебсистеми, розробленої на Laravel. Об'єктом дослідження є процес оптимізації клієнтського інтерфейсу. Предметом – моделі, методи та інструментальні засоби оптимізації клієнтського інтерфейсу. Завдання, які вирішені, є такими: забезпечено зменшення часу очікування під час виконання типових завдань, що не потребують перезавантаження сторінки; оптимізовано перше завантаження сторінки браузером користувача; забезпечено розподілення клієнтської (Front-End) та серверної (Back-End) частин; оптимізовано клієнтську частину, що використовує DOM-дерево; підвищено зручність використання системи клієнтом з урахуванням новітніх апаратних, програмних і соціальних потреб, а також необхідності використання передових front-end технологій. Для досягнення поставленої мети використовується бібліотека React як забезпечення клієнтської частини системи. React використовує декілька розумних методів для мінімізації кількості DOM-операцій, які необхідні для оновлення інтерфейсу користувача, та виконує низку важливих функцій, що реалізовані фреймворком Laravel. Сама система застосовує віртуальний DOM для фонового виконання завдань перед виведенням результатів на сторінку сайту. Для зменшення часу під час роботи з базою даних, особливо під час завантаження серверу баз даних, запропоновано завантаження товарів у невеликій кількості та з попереднім заповнюванням місця під товар анімацією з ефектом довантаження. Функціонал, за який відповідає бібліотека JQuery, реалізовано на JavaScript ES6 та мінімізовано для більш швидкого завантаження.

Ключові слова: *React, front-end, оптимізація, Laravel, сервер, клієнт, JSON, MVC.*

Постановка проблеми. У сучасному світі за постійного зростання конкуренції у сфері інформаційних технологій та росту популярності використання мобільних пристроїв для доступу в мережу Інтернет питання зручності інтерфейсів користувачів є досить актуальним [1]. Тому розвиток інтерактивності і спрощення вебсистем під час користування ними є причиною створення нових методів оптимізації та розроблення зручного й інформативного дизайну мережевих систем. При цьому забезпечення інтуїтивно зрозумілих інтерфейсів надає змогу використовувати системи більш ефективно та знижувати поріг початку взаємодії користувача із системою [2]. Не менш важливим фактором для створення зручного інтерфейсу є час очікування даних, з якими взаємодіє користувач. Чим менший час очікування, тим більш ефективною та зручною для користування є система [2; 3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Щороку все більше розробників реалізують складні мережеві системи, що доступні користувачам та існують у вебсередовищі. При цьому під час реалізації мережевих вебсистем розроблення розподіляють на Front-End (розроблення інтерфейсу користувача) та Back-End (розроблення серверної частини). Для забезпечення між ними взаємодії використовується інтерфейс, що дає змогу передавати дані з клієнтської частини до серверної та навпаки, незалежно від їх технологій і мов програмування. Найбільш популярними прикладами цих «мостів» є технології JSON та XML [4].

Лідером із розроблення клієнтських частин є мова програмування JavaScript. Після переходу на нову (ES6) версію JavaScript має можливість створення бібліотек і фреймворків під час реалізації клієнтських частин для мережевих вебсистем [1]. Незважаючи на те, що постійно створюються нові бібліотеки та фреймворки для розроблення інтерфейсів користувача, найбільш популярними

технологіями є бібліотеки React та VueJS, а також фреймворк Angular.

Бібліотека React має невеликий розмір, використовує віртуальний DOM (Document Object Mode) для розроблення системи, що дає змогу оптимізувати систему та підвищити швидкість роботи. VueJs, як і React, використовує віртуальний DOM, представляє реактивність і компонентну структуру та фокусується на кореневій бібліотеці, тоді як інші модулі – маршрутизація та управління глобальним станом – належать до інших бібліотек. У React не використовуються html-теги для написання коду. Вона має свій JSX-синтаксис, що допомагає полегшити візуальне розділення коду на елементи структури та функціональні можливості. VueJS надає вибір у використанні JSX-синтаксису або html-тегів. Але VueJS та React під час реалізації повноцінних вебсистем потребують додаткові технології, такі як Flux або Redux, що допомагають управляти станом даних [4].

Аналогом цих бібліотек та основним конкурентом React та VueJS під час реалізації клієнтської частини системи є фреймворк Angular, що використовує мову Type Script. React використовує декілька розумних методів для мінімізації кількості DOM-операцій і робить інтерфейс більш швидким і без використання додаткової оптимізації [5]. Під час аналізу швидкодії компонентів у режимі розроблення можна побачити, як компоненти монтуються, оновлюються та демонтуються під час використання інструментів швидкодії браузерів [6; 7]. На рис. 1 наведено послідовність роботи React. Вертикальна – це послідовність виконання компонентів; горизонтальна – час роботи одного компонента.

Іншим інструментом для аналізу швидкодії React додатка є Profiler (рис. 2). Він дає змогу проводити інтерактивний аналіз кожного компонента. З рисунка видно назви компонентів і час, необхідний для виконання коду [8].

Постановка завдання. Метою статті є оптимізація мережевої торговельної вебсистеми, розробленої на Laravel. Об'єктом дослідження є процес оптимізації клієнтського інтерфейсу. Предметом – моделі, методи та інструментальні засоби оптимізації клієнтського інтерфейсу системи.

Під час вирішення основного завдання дослідження необхідно: забезпечити зменшення часу очікування під час виконання типових завдань, що не потребують перезавантаження сторінки; оптимізувати перше завантаження сторінки браузером користувача; забезпечити розподілення клієнтської (Front-End) та серверної (Back-End) частин; оптимізувати клієнтську частину, що використовує DOM-дерево; підвищити зручність використання системи клієнтом з урахуванням новітніх апаратних, програмних і соціальних потреб, а також необхідності використання передових front-end технологій.

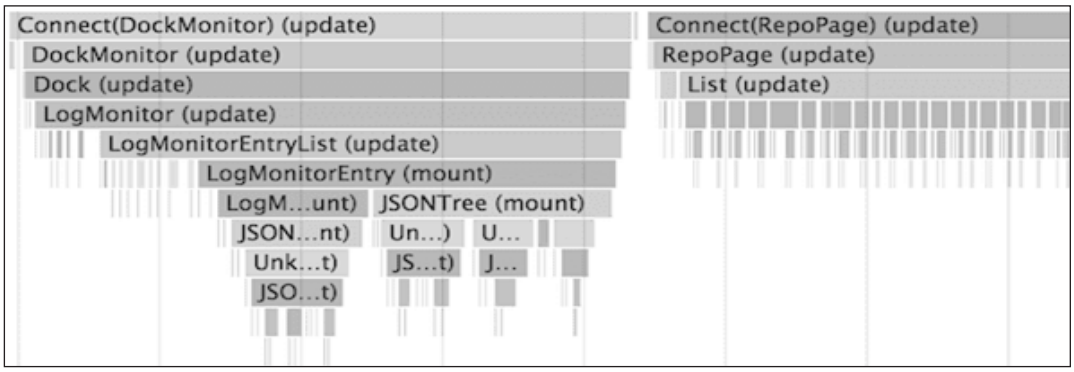


Рис. 1. Аналіз роботи додатка React за кожним компонентом

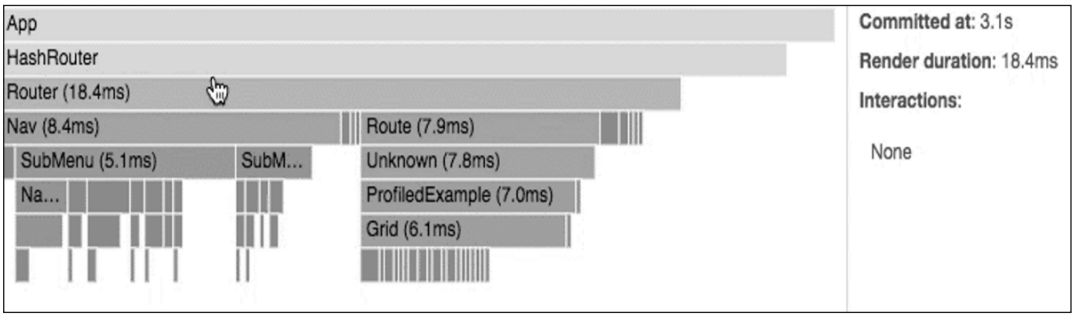


Рис. 2. Аналіз React додатка за допомогою інструмента Profiler

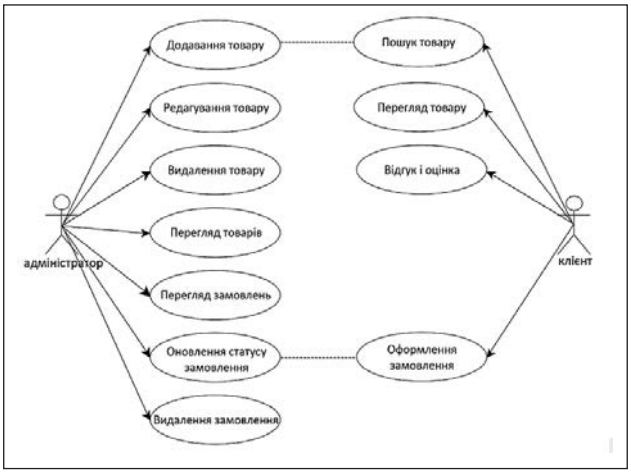


Рис. 3. Діаграма варіантів використання системи

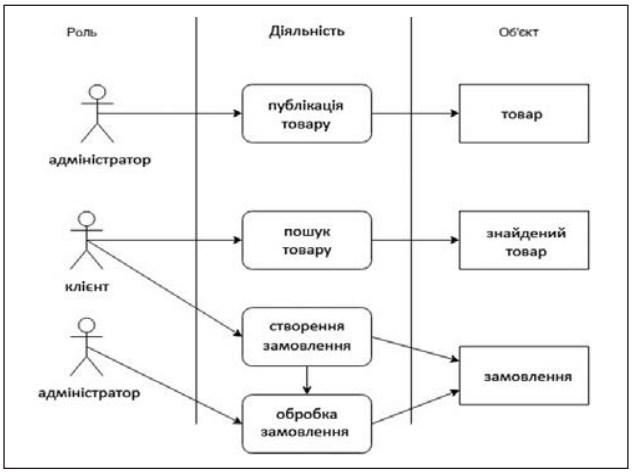


Рис. 4. Інформаційна модель організації системи

Методи дослідження базуються на моделюванні системи та схем взаємодії її модулів, методах віртуалізації довгих списків і життєвого циклу React ShouldComponentUpdate.

Виклад основного матеріалу дослідження. Під час проведення оптимізації реалізованої системи велику увагу приділяємо моделям системи, що наочно демонструють її структуру і поведінку. В цьому випадку маємо систему, яка реалізована на фреймворку Laravel та має клієнтську частину, що складається з файлів шаблонізатора BLADE. Моделі допомагають досягти кращого структурування модулів системи під час проведення її оптимізації. Наведемо діаграму варіантів використання системи (рис. 3) та інформаційну модель її організації (рис. 4).

Технологія проведення бізнес-процесу щодо взаємодії організаційних структур мережевої системи складається з таких етапів: публікація інформації про елементи системи (товар) адміністратором; пошук товарів клієнтом; створення замовлення клієнтом; обробка замовлення адміністратором; відгук та оцінка клієнта. Ця система використовує бібліотеку JQuery, яка працює безпосередньо з DOM-деревом, що збільшує час очікування роботи системи.

Для реалізації нового інтерфейсу користувача, що забезпечить відсутність перезавантажень сторінок під час переходу по сайту, обрано бібліотеку React. Сама система буде застосовувати віртуальний DOM для фонового виконання завдань перед виведенням результатів на сторінку сайту. Функціонал, за який відповідає бібліотека JQuery, реалізуємо на JavaScript ES6 та мінімізуємо для більш швидкого завантаження. Якщо додаток проводить рендеринг довгих рядків, використовуємо метод «Віконного доступу». Цей метод проводить рендеринг тільки невеликої кількості підмножини рядків в один момент часу та дає змогу значно зменшити час, затрачений на повторний рендеринг компонентів і кількість створених DOM-вузлів [7].

Компоненти React додатка мають структуру дерева та кореневий елемент, що містить дочірні компоненти ієрархічної структури. Під час оновлення головного компонента дочірні примусово оновлюються. Це навантажує систему, оскільки не всі компоненти потребують постійного оновлення. Для уникнення цього використовуємо метод життєвого циклу компонента ShouldComponentUpdate з налаштуванням порівняння попередніх і наявних пропсів (Props). Якщо таке порівняння повертає значення ідентичності, то цей компонент не оновлюється. Також для оптимізації компонентів можна застосовувати автоматизацію порівняння пропсів. Методом заборони або дозволу оновлення компонента є використання pureComponents, що імпортується з React-бібліотеки. Для розуміння взаємодії клієнт-сервера та бази даних побудуємо модель розгортання (рис. 5).

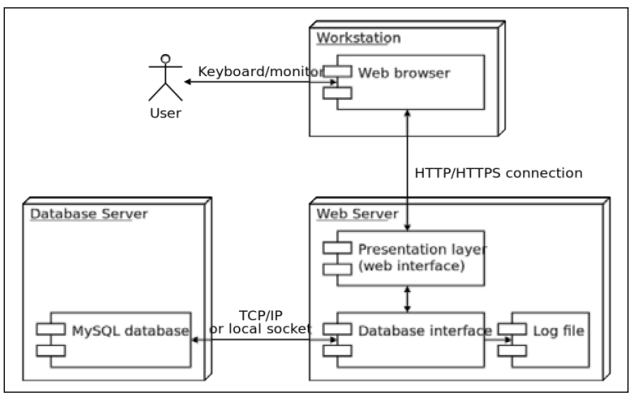


Рис. 5. Модель розгортання

Взаємодія клієнта та системи відбувається так: суб'єкт робить запит через браузер; браузер відправляє запит на сервер по протоколу http або https (шифрування); сервер прослуховує, приймає запити від клієнта та передає на обробку PHP для виконання необхідного скрипта; PHP звертається до бази даних за результатом, використовуючи сокети; база даних надає інформацію, створюється відповідь на сервері та передається до браузера. Модель системи демонструє функціональні можливості додатка, певні послідовності дій суб'єктів та їхню взаємодію. Оптимізація системи, розробленої на Laravel, за допомогою Front-End технологій, не торкається функціональних можливостей і цілісності системи. Вона повинна виконувати свої завдання, використовувати шаблони проєктування і мати ті маршрути, що й до оптимізації. Оптимізація забезпечить зручний інтерфейс і знизить навантаження на сервер.

Перейдемо до включення React. Попередньо встановимо NodeJs, створимо файл package.json, який відповідатиме за необхідні модулі під час подальшої реалізації додатка, та налаштуємо модуль yarn як пакетний менеджер. Далі встановлюємо бібліотеку react, модулі react-dom та babel-preset-react. Вносимо корективи у файл webpack.mix.js: замінюємо рядок коду mix.js('resources/assets/js/app.js','public/js') на mix.react('resources/assets/js/ app.js','public/js'). Тепер маємо точку входу до JavaScript-файлів, при цьому скомпільовані файли розміщені в директорії public/js. Для встановлення залежності запускаємо команду npm install в терміналі.

Після налаштувань у директорії resources/assets/js/component/ створюємо компоненти React. Кожного разу під час реалізації нового компонента він імпортується в початкову точку входу до JavaScript-файлів app.js. Нижче наведено імпорт компонентів до початкової точки входу.

```
require('./bootstrap');          /* Import the Main component */
import Main from './components/Main';
```

Оскільки початкова система використовує архітектурний патерн MVC, необхідно забезпечити збереження архітектурного стилю [9; 10]. Для цього перейдемо до видів (views), що містяться в директорії resources/views. Підключаємо точку входу js-файлів, що містить всі компоненти додатка, до файлу welcome.blade.php. Наведемо код підключення.

```
<!doctype html>
<html lang="{{ app()->getLocale() }}">
<head>
<meta charset="utf-8">
<meta http-equiv="X-UA-Compatible" content="IE=edge">
<meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1">
<title>Laravel React application</title>
<link href="{{mix('css/app.css')}}" rel="stylesheet" type="text/css">
</head>
<body>
<h2 style="text-align: center"> Laravel and React application </h2>
<div id="root"></div>
<script src="{{mix('js/app.js')}}" ></script>
</body>
</html>
```

Мережева система використовує маршрутизацію фреймворка Laravel, тобто після підключення React-бібліотеки та необхідних для подальшого розроблення модулів система перезавантажує сторінки кожного разу під час переходу на інші маршрути. Наразі маємо 16 views, які відповідають за відображення того чи іншого змісту (рис. 6).

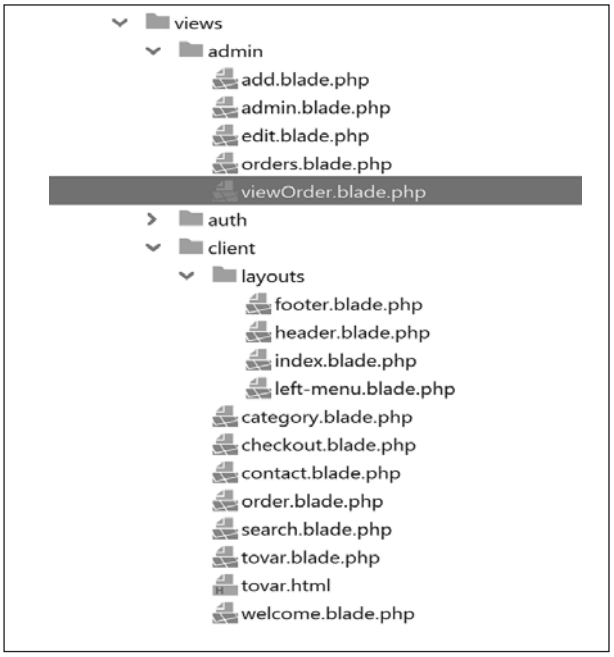


Рис. 6. Laravel views

Для оптимізації перезавантаження кожної сторінки зі схожим змістом під час кожного переходу по сторінках змінімо додаток на Single Page Application. Залишаємо лише два views – для користувача та адміністратора. View користувача – welcome.blade.php, адміністратора – admin.blade.php. Кожен містить загальний скомпільований js-код. Залежно від авторизації на певній сторінці

виконуватимуться певні компоненти. Вносимо зміни до коду контролерів, тепер вони повернуть welcome.blade.php чи admin.blade.php залежно від прав користувача.

Наступним кроком є заміна гіперпосилань на ті, що контролюються JavaScript. Для цього встановимо react-router-dom та замінимо гіперпосилання вигляду на <Route path="" component={назва компонента}/>. Тепер під час натискання посилання фізичного переходу на сторінку не відбувається. Під час тестування система не працює належним чином, оскільки Laravel-маршрути не реагують на віртуальну їх заміну. Для вирішення цієї проблеми реалізуємо необхідні запити через технологію Ajax з використанням XMLHttpRequest та за допомогою функції fetch [11]. Fetch приймає як параметри адресу виконання запиту, тип запиту, заголовки та тіло запиту. Програмний код демонструє використання функції fetch під час створення запиту в React та отримання відповіді.

```
this.state = {
/* Ініціалізація State, який міститиме всі товари, за замовчуванням – пустий масив*/
products: [],            }
componentDidMount() {                    /* fetch API in action */
fetch(`/category/${categoryName}`)
.then(response => {
return response.json();
})
.then(products => {
//Fetched product is stored in the state
this.setState({ products });
});    }
```

Після створеного запиту Laravel-маршрутизація викликає відповідальний контролер, що виконує певні дії. Після вибору категорії react router ініціалізує виконання компонента, що відповідає за її роботу. Далі react-компонент створює асинхронний запит типу GET за адресою /category/categoryName з передачею параметра назви категорії до маршруту Laravel. Він викликає контролер, який звертається до бази даних і робить запит отримати всі товари цієї категорії. Контролер відповідає на Ajax-запит та передає результат у форматі JSON до методу fetch. Після отримання відповіді рядок JSON декодується в JavaScript об'єкт і записується у State. Під час створення запиту надається відповідь, компонент виконує рендеринг та змінює структуру DOM-дерева, а функція fetch заповнює сторінки даними з бази. Аналогічним чином проводимо оптимізацію інших сторінок і наразі маємо працюючу систему.

У разі оптимізації, яка запропонована, піл час першого візиту до системи постійно необхідно завантажувати бібліотеку React. Використання додаткових модулів також додає розміру системі. Якщо підключення до Інтернету є не досить швидким, з'являється затримка під час відображення сторінки, тому необхідно знизити негативний вплив на інтерфейс користувача. Для цього створюємо прелоадер, який відволікатиме користувача під час першого завантаження системи та матиме анімаційний ефект. Для зменшення часу під час роботи з базою даних, особливо під час завантаження серверу баз даних, пропонуємо завантажувати товари у невеликій кількості та попередньо заповнювати місце під товар анімацією з ефектом довантаження [12].

Висновки. В статті наведено низку методів для оптимізації мережевої системи, знижено навантаження на сервер, розроблено комплекси заходів, що дають змогу покращити інтерфейс користувача, зекономити трафік і кошти на сервер. Оптимізація торговельної системи не торкнулася її функціональних можливостей та цілісності. Збережено останню архітектуру додатка, створено умови для подальшого покращення системи та її розвитку, в повному обсязі виконано поставлені завдання. Під час подальших досліджень планується вдосконалення розроблених методів.

Список літератури:

1. Алексеев Г.В. Современные методы разработки компьютерных систем. Санкт-Петербург : ГИОРД, 2012. 756 с.
2. Ершов А.В., Гуляев Ю.В., Карпов Н.А., Пахомов А.Ю. Интерактивные системы. Москва : ЛИПС, 2014. 596 с.
3. Ahmed T.M. et al. Studying the effectiveness of application performance management (APM) tools for detecting performance regressions for web applications: an experience report. *Proceedings of the 13th International Conference on Mining Software Repositories*. ACM, 2016. P. 1–12.
4. Сравнение с другими фреймворками. URL: https://ru.vuejs.org/v2/guide/comparison.html.
5. React медленный, React быстрый: оптимизация React-приложения на практике. URL: https://habr.com/ru/post/327364/#measuring.
6. Анализ и оптимизация React-приложений. URL: https://habr.com/ru/company/ruvds/blog/442650/.

7. Оптимизация производительности. URL: https://ru.reactjs.org/docs/optimizing-performance.html.
8. Introducing the React Profiler. URL: https://ru.reactjs.org/blog/2018/09/10/introducing-the-react-profiler.html.
9. Киричек Г.Г., Киричек О.О. Модель оцінки плагіату програмного коду на основі системи контролю версій. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий.* 2012. Вып. 2 (2). С. 25–28.
10. Arora A., Sinha M. Web application testing: A review on techniques, tools and state of art //International Journal of Scientific & Engineering Research, 2012. 3(2), P.1-6.
11. Atterer R., Schmidt A. Tracking the interaction of users with AJAX applications for usability testing // Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems. ACM, 2007. P.1347-1350.
12. Qian Z., Miao H., Zeng H. A practical web testing model for web application testing //2007 Third International IEEE Conference on Signal-Image Technologies and Internet-Based System. IEEE, 2007. P. 434-441.

Kirichek G.G., Falkevych V.G. NETWORK SYSTEMS OPTIMIZATION BY USING FRONT-END TECHNOLOGIES

Network web system optimization and client interface optimization process is described in this article. Research methods are based on systems modeling and its modules, as well as methods of virtual long lists and other React ShouldComponentUpdate cycle. The purpose of this work is to optimize the online trading web system developed by Laravel. The object of the study is the process of optimizing the client interface. The subject is models, methods and tools for optimizing the client interface. Tasks that are solved are as follows: reduced waiting time for typical tasks that do not require a page reload; optimized the first page loading by user's browser; distribution of client (Front-End) and server (Back-End) parts is ensured; optimized client part that is using DOM-tree; increased ease of use of the system by the client taking into account latest hardware, software and social needs, as well as the need to use advanced front end technologies. To achieve this goal, we use the React library to provide the client side of the system. React uses several smart methods to minimize the number of DOM-operations that are required to update the user interface and perform a number of important functions implemented by Laravel. The system uses a virtual DOM, for background tasks execution before displaying results on website page. To reduce the time when working with the database, especially database server operates on heavy load, it is proposed to load products in small quantities and with loading effect placeholders under the product animation. Functionality that is using JQuery library was implemented using JavaScript ES6 and minimized for faster loading.

Key words: *React, front-end, optimization, Laravel, server, client, JSON, MVC.*

УДК 004.62:004.942
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-1/17

Крісілов В.А.
Одеський національний політехнічний університет

Комлева Н.О.
Одеський національний політехнічний університет

Бурдейний Є.І.
Одеський національний політехнічний університет

ПРОГРАМНА СИСТЕМА АНАЛІЗУ ЯКОСТІ ДЖЕРЕЛ МЕДИЧНОЇ СТАТИСТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Сфера застосування статистичних методів завдяки їхній потужній теоретичній базі та практичному інструментарію поширюється на багато видів наук. Впровадження статистики в медичні дослідження супроводжується низкою труднощів, зумовлених винятковою складністю, мінливістю і наявністю індивідуальних особливостей досліджуваних об'єктів. При цьому необхідно забезпечувати певну якість даних, що описують стан досліджуваного об'єкта. Метою роботи є підвищення якості обробки медичної статистичної інформації завдяки попередньому аналізу якості даних, що надають джерела інформації. Порівняно з відомими роботами, в яких акценти робилися на виборі методів аналізу стану досліджуваного об'єкта на базі вхідної інформації, запропонований у роботі підхід дає змогу виконати попередній аналіз якості вхідної інформації для оцінювання можливості її подальшого використання. Для досягнення мети було наведено в загальному вигляді роботу системи обробки та аналізу даних з урахуванням перевірки якості вхідних даних. У перелік аномалій даних включено перевірки на невідповідність за типами даних, за діапазонами припустимих значень, за кореляцією значень у пов'язаних між собою залежностях даних. Як практичний приклад виконано проєктування програмної системи, призначеної для аналізу якості медичної статистичної інформації щодо ситуації, пов'язаної з туберкульозом. Інформацію для аналізу, що містить більш ніж сотню аналізованих ознак, взято на сайті Міністерства охорони здоров'я України. Програмна система дає змогу виконувати базові операції щодо аналізу даних, визначати та у разі можливості коригувати знайдені аномалії. Розроблювана система реалізує клієнт-серверну архітектуру. Доступ до розширеного функціоналу, що містить роботу з аномаліями та отримання прогностичних значень аналізованих ознак як даних часового ряду, має аналітик. Деталізовано інтерфейс системи, обрано мову програмування, супутні менеджери та фреймворки. Використання програмної системи дасть змогу забезпечити потрібну якість даних, що надають джерела медичної статистичної інформації.

Ключові слова: *якість інформації, аналіз даних, джерело інформації, аномалії вхідних даних, програмна система.*

Постановка проблеми. Сучасні тенденції застосування математико-статистичних методів у медичних дослідженнях показали можливості їх широкого використання. Під час інформаційного планування та практичної організації досліджень у медичній галузі, крім визначення і формалізації методів дослідження, потрібно звернути пильну увагу на відбір і забезпечення якості реєстрованих ознак. Окремі спостереження реєструються згідно з цілями дослідження відповідно до виділених ознак. Ці ознаки повинні бути істотними і релевантними меті дослідження, кількість ознак має бути мінімальною для досягнення поставленої перед дослідником мети. Важливою властивістю таких ознак є можливість їх комбінування з метою доповнення та взаємного контролю.

Необхідно пред'являти серйозні вимоги до якості таких джерел даних, що дають змогу визначати реєстровані ознаки. Від якості джерел медичної інформації, визначеної з використанням набору ознак якості, суттєво залежать ефективність функціонування систем обробки та аналізу даних і задоволення визначених відповідно до їхнього призначення практичних потреб [1, с. 91; 2, с. 90].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Недотримання об'єктивних вимог, що пред'являються до вхідної інформації, обмежує сферу використання результатів рішення завдання або ж робить їх зовсім непридатними. У дослідженні [3, с. 2] показано, що наявність пропусків у вихідних даних призводить до зниження якості

вхідної інформації і, як наслідок, до зниження якості роботи системи, що її використовує. Іншою причиною зниження якості може стати суперечливість вихідних даних [4, с. 270; 5, с. 62]. Крім того, слід відстежувати ситуації невідповідності форматів даних, помилок введення даних, дублювання вхідної інформації та інше [6, с. 2397].

Чимало систем обробки даних використовують як вхідну інформацію часові ряди, які містять вимірювання, проведені в певні (впорядковані) моменти часу. На відміну від використання випадкових вибірок, під час роботи з такими даними можна виконати формальний опис моделі часового ряду і використовувати для вирішення поставленого завдання один або кілька методів математичної статистики [7, с. 140; 8, с. 80]. Зазвичай це не становить труднощів, однак під час переходу до реальних завдань великої розмірності доцільно враховувати та оцінювати зашумленість і нелінійність джерел даних [9, с. 171; 10, с. 161].

Постановка завдання. Метою статті є підвищення якості обробки медичної статистичної інформації завдяки попередньому аналізу якості даних, що надають джерела інформації.

Виклад основного матеріалу дослідження. З погляду природи властивостей об'єкта, а також характеру процедур, що дають змогу визначити їхні конкретні значення, всі властивості можна розділити на три види. Найбільш бажаними є властивості першого виду – вимірні властивості, їхні значення можуть бути отримані шляхом прямих вимірювань і спостережень. До другого виду слід віднести властивості вищого рівня спільності, які можуть бути обчислені на підставі вимірюваних властивостей. Фактично ці властивості є агрегованими згортками первинних властивостей. Третій вид властивостей – це властивості, значення яких не можуть бути безпосередньо виміряні й обчислені, або трудомісткість і складність цих процесів дуже висока. Ці властивості мають характер експертних оцінок, отриманих унаслідок тієї чи іншої процедури, що забезпечує формалізацію і об'єктивізацію «ручного» оцінювання фахівцем-експертом [11, с. 102].

Найбільш простими способами реєстрації значень ознак є спостереження і підрахунок [12, с. 65]. Однак і такий спосіб передбачає наявність певних категорій помилок, а саме:

- помилки органів спостереження;
- помилки, які надає об'єкт спостерігання;
- інструментальні помилки;
- випадкові помилки.

Розглянемо в загальному вигляді роботу системи обробки та аналізу даних з урахуванням перевірки якості вхідних даних (рис. 1). Початковим етапом є формалізація мети дослідження, що визначає кінцевий прогнозований результат роботи. Потім відповідно до обраного методу отримання вхідної інформації проводиться збір релевантних даних і перевірка їх на якість.

Кожна з реєстрованих ознак належить до певного типу даних, який визначає множину припустимих значень цієї ознаки і операцій над цими значеннями. З кожним типом даних пов'язана вимірювальна шкала (кількісна, якісна та їхні різновиди) [13, с. 13]. Невідповідність обраної шкали типу вимірюваної ознаки приводить до аномалій – помилкових значень, які не повинні використовуватись методами аналізу стану досліджуваного об'єкта.

Під час перевірки даних на якість послідовно перевіряється наявність і можливість усунення таких аномалій: за типами даних, за припустимими значеннями, за пропущеними значеннями (рис. 2). Крім того, часто в реальних системах є кореляція між значеннями декількох пов'язаних між собою залежностей даних [14, с. 17]. Контроль за кореляцією за наявності таких залежностей теж є завданням перевірки якості даних.

Після отримання репрезентативної вибірки обираються відповідні методи для аналізу даних. Якщо існують стандартні програмні засоби для автоматичного чи автоматизованого аналізу даних відповідно до мети дослідження, їх доцільно використовувати, інакше – розроблювати власні програми чи модернізувати наявні. Після отримання результату аналізується можливість його використання, у разі невдачі процес повторюється з можливістю коригування мети дослідження.

Як практичний приклад виконано проєктування програмної системи, призначеної для аналізу якості інформації щодо захворювання населення України різними формами туберкульозу за 2012–2018 роки [15, с. 253; 16, с. 48]. На сайті Міністерства охорони здоров'я України наведено дані, які включають кількість захворювань серед населення відповідно до вікових діапазонів, територіальних регіонів і соціальних структур, показники профілактичних оглядів, щеплень і хірургічних лікувань, дані щодо лабораторій, ліжкового фонду, укомплектованості лікарями, лікарняної та санаторної допомоги та інше – усього понад сотні таблиць, з яких близько третини містять пов'язані між собою залежності [17, с. 1]. На рисунку 3 наведено UML-діаграму варіантів використання

цієї системи, яка містить дві категорії акторів і формалізований функціонал.

Як можна побачити, під час перевірки даних на якість аналізуються наявність пропусків, аномальних значень і перевірка залежностей. Розроблювана система реалізує клієнт-серверну архітектуру, яка у загальному вигляді представлена на рисунку 4.

Об'єкт класу App – HTTP-сервер, що створюється найпершим у системі. Завданнями App є прийняття запиту та відправка відповіді. Для цього класом App проводиться ініціювання та реєстрація всіх необхідних компонентів фреймворку та передання запиту роутеру (Router).

Роутер є відповідальним за перевірку наявності такого endpoint-а в системі та перевірку дозволеності HTTP-методу. Також роутер застосовує всі фільтри (Middleware), які за ним закріплені. Наприклад, проводиться перевірка повноважень користувача на використання певного роутера. Запити, які не пройшли перевірки Middleware, не будуть делеговані далі до методів контролерів.

Об'єкти-контролери (DataController, AnalysisController) обробляють отримані дані та за необхідності звертаються до об'єктів, через які надається доступ до бази даних (DataAccessObject) або які вміщують у собі логіку системи (TimeSeriesAnalyser).

Дані, що зберігаються в реляційній базі даних, можна отримати, вказавши необхідні критерії (Criteria), наприклад: «Лабораторна діагностика нових випадків туберкульозу легень», «З підтвердженим мазком (M+)», «Одеська область». Отримані дані реалізують інтерфейс часового ряду

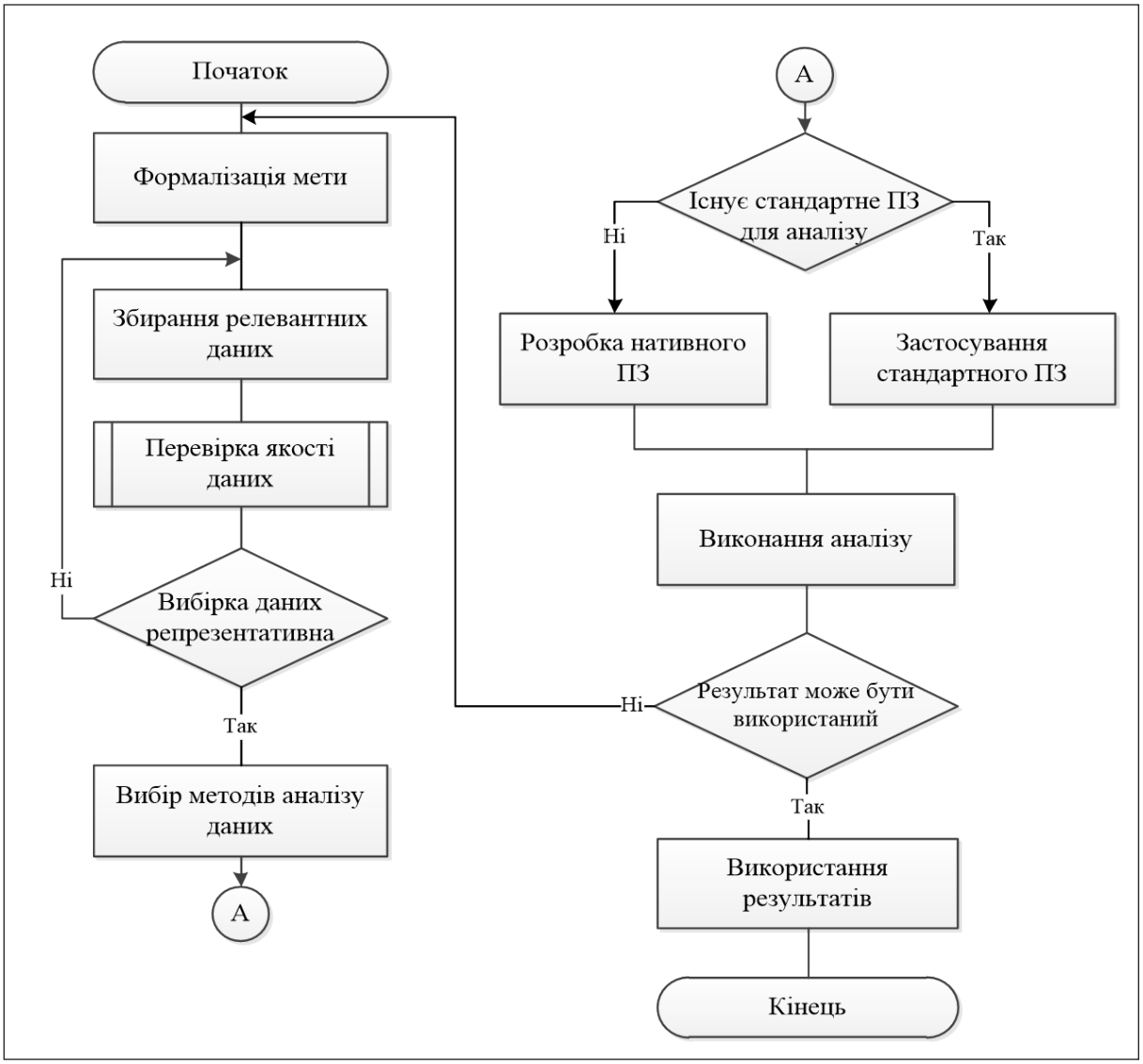


Рис. 1. Схема алгоритму роботи системи обробки та аналізу даних

(TimeSeries), який дає змогу отримати ряд точок даних, проіндексованих у хронологічному порядку (масив DataPoint), або знайти залежності від інших часових рядів (Relation).

Маючи об'єкт інтерфейсу TimeSeries, система може проаналізувати його за допомогою реалізацій інтерфейсу TimeSeriesAnalyser, а саме: передбачити наступне значення часового ряду, розрахувати

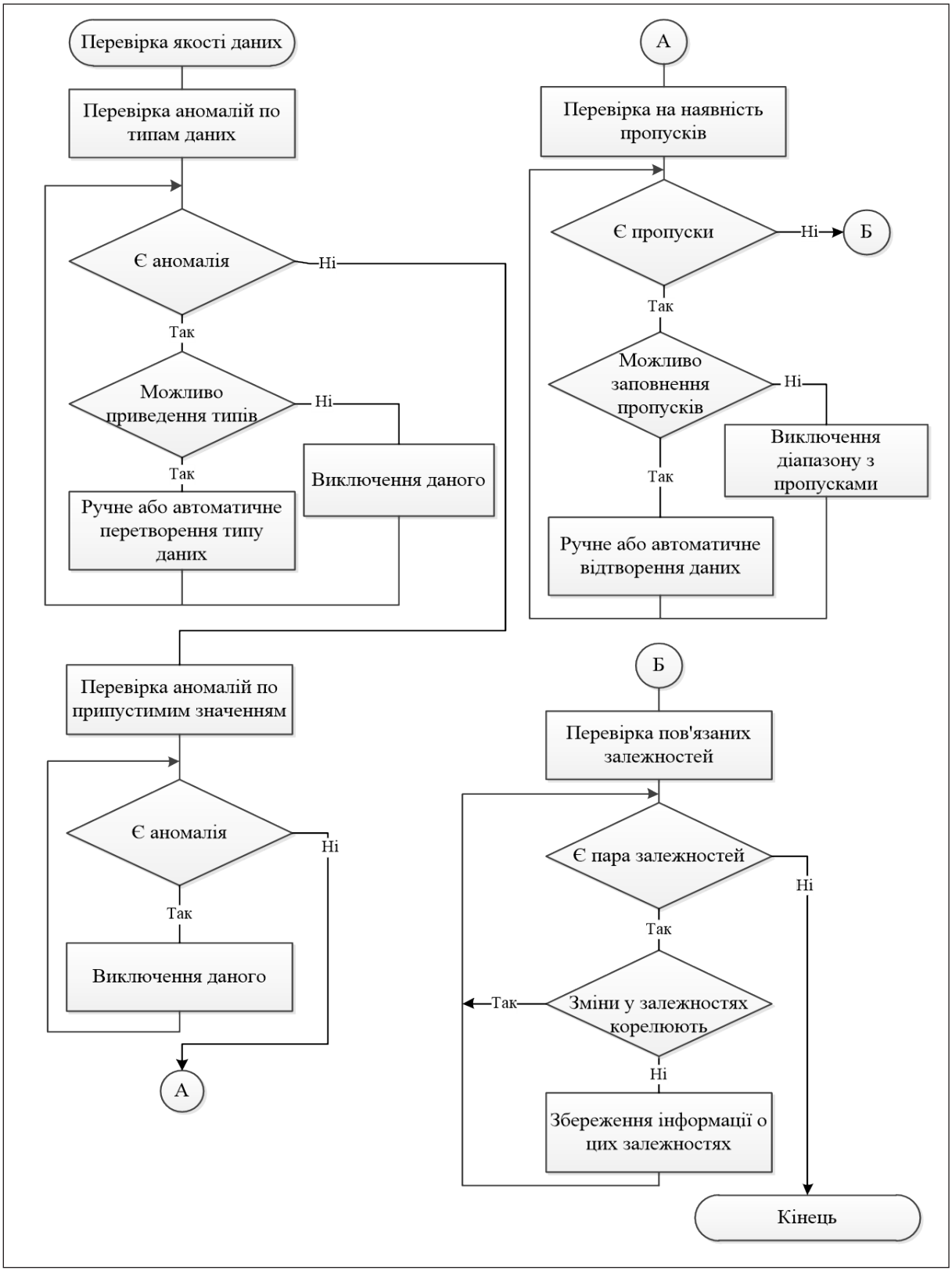


Рис. 2. Схема алгоритму підсистеми перевірки якості даних

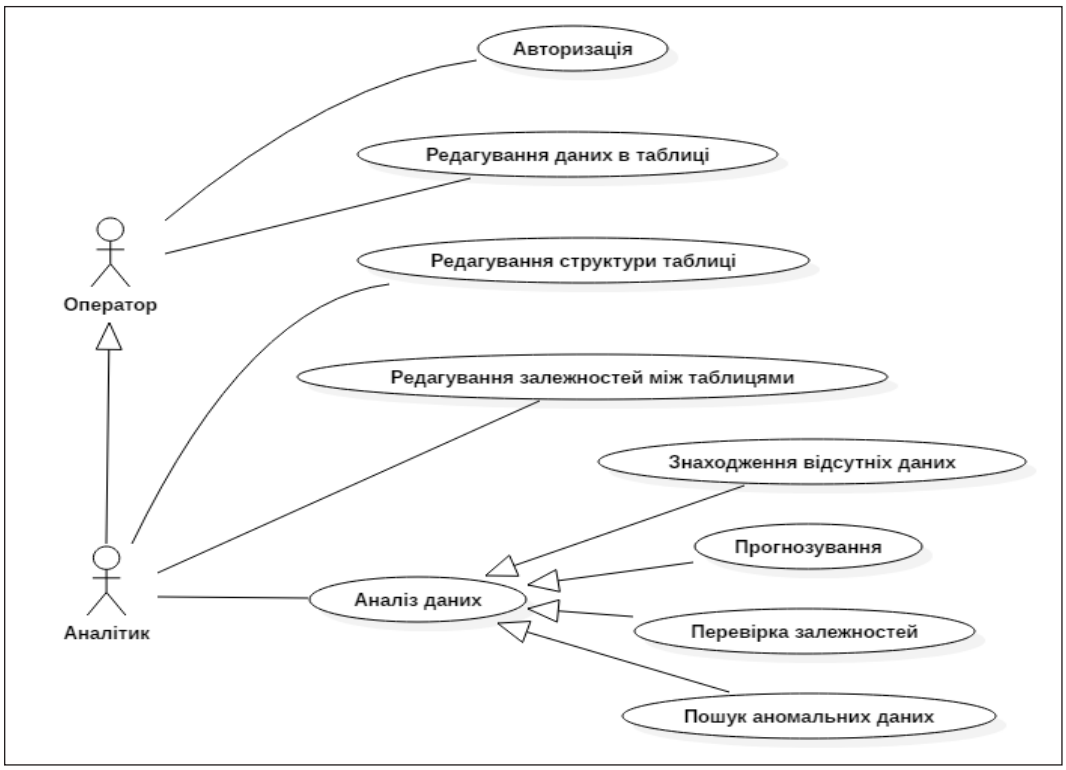


Рис. 3. Діаграма варіантів використання програмної системи

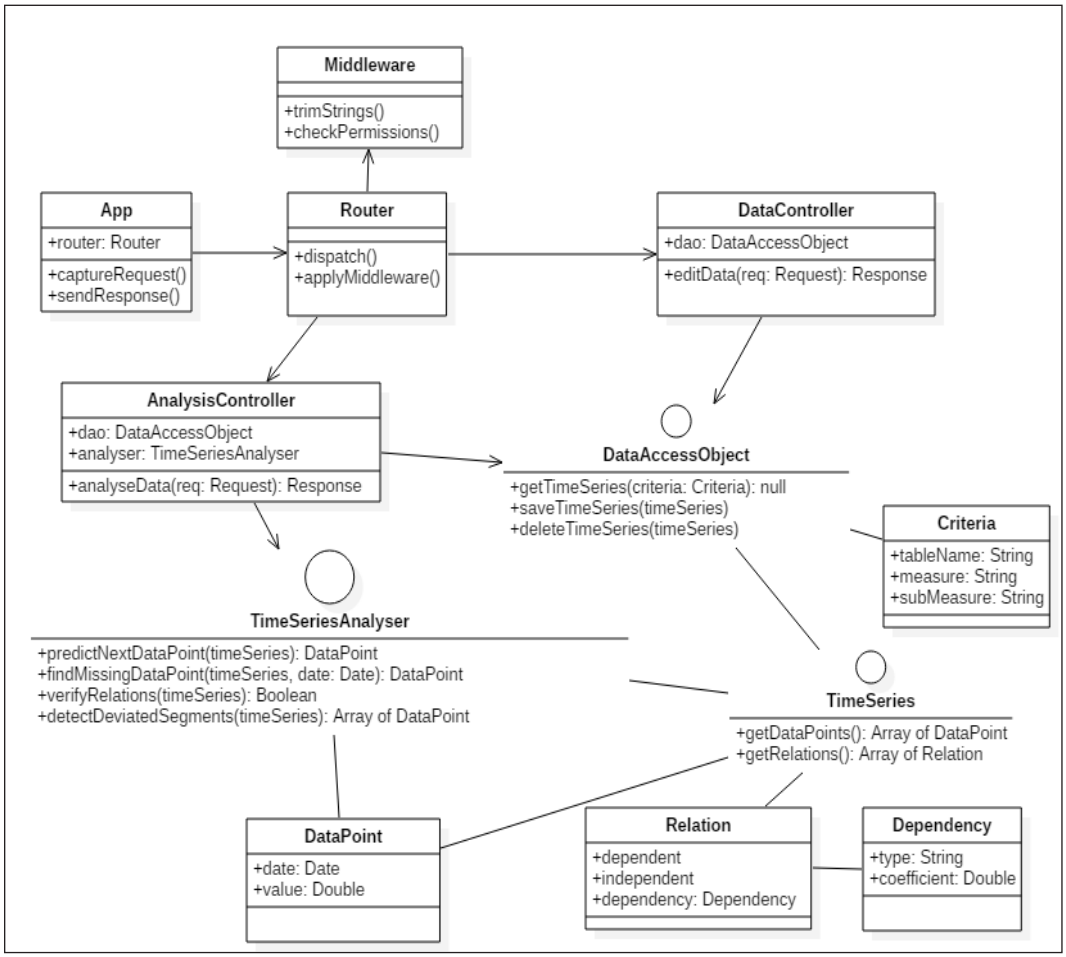


Рис. 4. Архітектура програмної системи

значення часового ряду в заданий проміжок часу, перевірити дотримання залежностей або знайти різкі коливання значень.

Під час реалізації системи була обрана мова програмування JavaScript (серверна частина виконується в середовищі Node.js). Для полегшення процесу розроблення і написання коду, що функціонує швидко, масштабується та не викликає труднощів у підтримці, було використано такі фреймворки:

– Express – бібліотека, яка дає змогу створювати HTTP-сервери;

– React.js – для створення динамічного та інтерактивного інтерфейсу користувача.

Також використовуються пакетний менеджер npm, Webpack для збірки JavaScript та CSS-файлів, TensorFlow.js – відкрита програмна бібліотека для машинного навчання. Розроблювана програмна система перебуває на стадії тестування функціоналу.

Висновки. У роботі обґрунтовано необхідність формалізації вимог до якості джерел даних. Показано в загальному вигляді роботу системи обробки та аналізу даних з урахуванням перевірки якості вхідних даних. Серед етапів перевірки якості виділено аналіз та усунення таких аномалій: за типами даних, за діапазонами припустимих значень, за пропущеними значеннями, за кореляцією значень пов'язаних залежностей даних.

Наведений підхід реалізовано під час проєктування програмної системи, яка призначена для аналізу якості інформації щодо ситуації, пов'язаної з туберкульозом з використанням багатьох аналізованих ознак. Обрано базовий функціонал системи, виконано проєктування її клієнт-серверної архітектури. Деталізовано інтерфейс системи з можливістю використання аналізованих ознак як даних часового ряду. Для реалізації програми обрано мову програмування, супутні менеджери та фреймворки.

Розроблюваний програмний продукт дасть змогу відстежувати ситуації з інформаційними аномаліями, у разі можливості усувати їх автоматичним чи автоматизованим чином і зробити процес роботи з медичними статистичними даними більш легким і наочним.

Список літератури:

1. Крисилов В.А., Комлевая Н.О. Анализ и оценка компетентности источников информации в задачах интеллектуальной обработки данных. *Международная научно-практическая конференция "Электротехнические и компьютерные системы: теория и практика" ELTECS-2019. Problemele energeticii regionale*. 2019. Вып. 1–1 (40). С. 91–104.

2. Крисилов В.А., Тарасенко Р.А. Предварительная оценка качества обучающей выборки для нейронных сетей в задачах прогнозирования временных рядов. *Труды Одесского политехнического университета.* Одесса, 2001. Вып. 1. С. 90–96.

3. Awawdeh S., Edinat A., Sleit A. Enhanced K-means Clustering Algorithm for Multi-attributes Data. *International Journal of Computer Science and Information Security (IJC-SIS)*. 2019. Vol. 17 (2). P. 1–6.

4. Rokach L. A survey of clustering algorithms. *Data mining and knowledge discovery hand-book.* Springer, Boston, MA. 2009. P. 269–298.

5. Firdaus S., Uddin M.A. A Survey on Clustering Algorithms and Complexity Analysis. *International Journal of Computer Science Issues (IJCSI)*. 2015. Vol. 12 (2). P. 62–85.

6. Goswami J.A Comparative Study on Clustering and Classification Algorithms. *International Journal of Scientific engineering and Applied Science (IJSEAS)*. 2015. Vol. 1 (3). P. 2395–3470.

7. Ishaq R., Nasim R. Enhancing information extraction techniques from structured database using artificial intelligence. *International Journal of Computer Science and Information Security*. 2018. Vol. 16 (11). P. 140–143.

8. Крисилов В.А., Побережник С.М. Аппроксимация сложных зависимостей структурногибкими полиномиальными и гармоническими рядами. *Управляющие системы и машины*. 2003. № 2. С. 80–86.

9. Hoifung P., Domingos P. Joint Inference in Information Extraction. *Association for the Advancement of Artificial Intelligence.* USA, 2015. Vol. 34 (5). P. 171–176.

10. Tagasovska N., Andritsos P. Distributed clustering of categorical data using the information bottleneck framework. *Information Systems*. 2017. Vol. 72. P. 161–178.

11. Крисилов В.А. Оценка сложных объектов – основной механизм при решении задач количественного обоснования решений. *Труды Одесского политехнического университета*. 2003. Вып. 1 (19). С. 102–106.

12. Cherneha K.S., Tymchenko B.I., Komleva N.O. Decision support System for Automated Medical Diagnostics. *Electrotechnic and Computer Systems*. 2016. No. 23 (99). P. 65–72.

13. Загоруйко Н.Г. Прикладные методы анализа данных и знаний. Новосибирск : Изд-во Ин-та математики, 1999. 270 с.

14. Юнкеров В.І., Григор'єв С.Г. Математико-статистична обробка даних медичних досліджень. Санкт-Петербург, 2002. 266 с.

15. Komlevaya N.O., Komlevoy A.N., Chernega K.S. Designing of the specialized computer system for making pulmonology diagnosis. *CEUR Workshop Proceedings, 9th International Conference of Programming, UkrPROG*. Kyiv, 2014. Vol. 1843. P. 253–263.

16. Komleva N.O., Cherneha K.S., Tymchenko B.I., Komlevoy O.M. Intellectual approach application for pulmonary diagnosis. *Proceedings of the 2016 IEEE 1st International Conference on Data Stream Mining and Processing, DSMP*. 2016. Art. № 7583505. P. 48–52.

17. URL: https://old.phc.org.ua/pages/diseases/tuberculosis/surveillance/ statistical-information (дата звернення: 27.09.2019).

Krisilov V.A., Komleva N.O., Burdeinyi E.I. SOFTWARE FOR QUALITY ANALYSIS OF SOURCES OF MEDICAL STATISTICAL INFORMATION

The scope of statistical methods, due to their powerful theoretical base and practical tools, extends to many kinds of sciences. The introduction of statistics into medical research is accompanied by a number of difficulties due to the exceptional complexity, variability and availability of individual features of the studied objects. At the same time it is necessary to provide certain quality of the data describing the condition of the investigated object. The aim of the paper is to improve the quality of medical statistical information processing through preliminary analysis of the quality of data provided by sources of information. In comparison with the known works, in which the emphasis was on the choice of methods of analysis of the condition of the object under investigation based on input information, the approach proposed in this work allows to perform a preliminary analysis of the quality of the input information to evaluate the possibility of its further use. In order to achieve this aim, the work of the data processing and analysis system was considered in general, taking into account the quality of the input data. The list of data anomalies includes checks for discrepancies by data types, ranges of acceptable values, correlation in values in related data dependencies. As a practical example, the design of the software system was performed. It is intended to analyze the quality of medical statistical information regarding a tuberculosis situation. Information for analysis which containing more than one hundred analyzed features is taken from the website of the Ministry of Health of Ukraine. The software system allows user to perform basic data analysis operations, identify and, if possible, correct any found anomalies. The developed system implements client-server architecture. The analyst has access to advanced functionality that contains the work with anomalies and obtains the predicted values of the analyzed features as time series data. System interface is detailed, programming language, related managers and frameworks are selected. Using a software system will provide the required quality of data given by sources of medical statistical information.

Key words: *quality of information, data analysis, source of information, anomalies of input data, software system.*

УДК 004:66.04:631.576.3
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-1/18

Лахно В.А.
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Осипова Т.Ю.
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Матус Ю.В.
Національний університет біоресурсів і природокористування України

ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШІННЯ ЗЕРНА

У статті розглядається проблема автоматизації та підвищення ефективності інфрачервоного сушіння зерна з використанням комп'ютерних систем. Проаналізовано наявну літературу вітчизняних та іноземних авторів із проблемам автоматизації процесів інфрачервоного сушіння зерна. Описано процес побудови математичної моделі процесу сушіння зерна та її спрощену модель.

На першому етапі отримано модель елементарного шару зерна у вигляді системи алгебраїчних рівнянь, яка не придатна для постановки і розв'язання завдань оптимізації, але є невіддільним складником побудови моделей вищого рівня. На другому етапі формалізується модель, класифікується та структурно ідентифікується. Створюються моделі типових шарів зерна (пухких, щільних, псевдозріджених). Модель другого рівня являє собою систему лінійних диференціальних рівнянь, що описують кінетику процесу сушіння зерна. На третьому етапі здійснено декомпозицію, суперпозицію та власне моделювання умов сушильних камер. Показано, що модель третього рівня в узагальненому вигляді являє собою систему диференціальних рівнянь у частинних похідних, що описують динаміку процесу сушіння зерна. На четвертому етапі моделювання здійснено функціональну і параметричну ідентифікацію процесів в усталеному стані зерна у будь-якому режимі. Зазначено, що модель четвертого рівня є нелінійною системою звичайних диференціальних рівнянь, що описують результуючу динаміку процесу сушіння зерна.

На основі цих моделей побудовано загальну модель процесу сушіння зерна в шарі. Розглянуто задачу з автоматизації системи управління процесом ІЧ сушіння зерна (на підставі формалізованих математичних моделей) з використанням дружнього інтерфейсу із зрозумілими компонентами керування та подання прогнозної та результуючої інформації.

Вказано на складність перенесення ІЧ випромінювання в реальних сушильних установках, що супроводжується також іншими механізмами перенесення енергії, як-от теплопровідність, конвекція.

Наголошено на складності проєктування програмного забезпечення, що адекватно описує всі можливі ситуації, які виникають у процесі сушіння зерна.

Ключові слова: *інфрачервоне сушіння, зерно, температура, тепловий потік, математична модель, температурне поле, сушильна камера.*

Постановка проблеми. Інфрачервоне сушіння продуктів харчування, зокрема зерна, як технологічний процес ґрунтується на тому, що інфрачервоне випромінювання активно поглинається водою, що міститься у продукті, але не поглинається тканиною висушуваного продукту. Тому видалення вологи можливе за невисокої температури (313–333 K, тобто 40–60°C), що дає можливість практично повністю зберегти вітаміни, біологічно активні речовини, природний колір, смак і аромат продуктів, які піддаються сушінню.

Інфрачервоний метод сушіння має істотні переваги над традиційним, конвекційним методом, який широко використовується на вітчизняних елеваторах. Насамперед, це, безумовно, економічний ефект. Швидкість і енергія, що витрачаються під час інфрачервоної сушки, в рази менші від тих самих показників, що витрачаються за традиційних методів. Окрім того, позитивним побічним ефектом інфрачервоного сушіння є стерилізація продуктів харчування, збільшення стійкості до впливу мікроорганізмів тощо.

Ефективність електротехнічних засобів ІЧ-випромінювання зумовлена застосуванням нових, науково обґрунтованих методів і засобів управління енергопідведенням із використанням контролерів і ПК, нових інформаційних технологій і систем. Необхідність і ефективність інформаційної підтримки технологічного процесу ІЧ-сушіння зерна визначаються потребами керування ним, що дає можливість досягти високих техніко-економічних показників шляхом зменшення втрат кінцевого продукту, витрат сировини, умовного палива або електроенергії. Ефективні інформаційні технології, а також автоматизовані системи управління різного рівня дають можливість не тільки забезпечити підтримку окремих технологічних параметрів на заданому рівні, але й здійснювати оперативне управління з метою визначення оптимальних технологічних режимів роботи як окремих об'єктів, так і технологічних комплексів (далі – ТК).

Нині для промислових АСУ, що використовуються на елеваторах і зерносховищах, є відпрацьовані методики математичного опису процесів тепло- і масообміну, на підставі яких створено досить адекватні математичні моделі об'єктів. Однак самі методи керування зводяться здебільшого до стабілізації режимних параметрів за окремими контурами [8, с. 184; 9, с. 196; 1, с. 53–67; 6, с. 76], що надзвичайно спрощує процес управління, нерідко – на шкоду його якості. Характерним недоліком наявних систем автоматизації є відсутність можливості оперативного коригування параметрів теплоносія, що подається в сушильну камеру в процесі сушіння без участі оператора, що призводить до ситуацій перегріву зерна і, відповідно, зниження його біологічних і харчових параметрів [8, с. 23; 1, с. 86].

Наявність різних варіантів протікання технологічного процесу ІЧ-сушіння зерна зумовлює необхідність застосування нестандартних способів розпізнавання ситуацій у вигляді деякого набору експертних знань про властивості матеріалу і доцільність створення модуля АСУ процесом сушіння. Інформаційна підтримка технологічного процесу ІЧ-сушіння повинна включати в себе розроблення інформаційно-аналітичної бази даних про матеріал, модуль прогнозування для визначення теплоємності, вмісту вологи, білків, клейковини тощо, які дають змогу знизити втрати під часі ІЧ-сушіння порівняно з традиційною технологією управління процесом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Значний внесок у розвиток теорії та технології сушіння інфрачервоними променями зробили дослідження таких авторів: М. Дерибере, Р. Борхерта, А.С. Гінзбурга, П.Д. Лебедєва, О.В. Ликова, І.Б. Левітіна та інших учених [9, с. 3–11].

Електромагнітне випромінювання в інфрачервоній ділянці зумовлене переходом електронів в атомах генератора випромінювання з одних орбіт на інші, внаслідок чого виділяються кванти енергії (фотони). Короткохвильові інфрачервоні промені мають сильніший вплив на зернові продукти, як завдяки глибині проникнення, так і через більш ефективний вплив на молекулярну структуру продуктів.

Методологічні основи процесів зерносушіння грунтуються на теорії сушіння капілярно-пористих колоїдних тіл, без урахування параметрів зернового шару. Це стримує пошук нових способів, методів, параметрів і режимів. Тому для збільшення ефективності процесів сушіння свіжозібраного зерна потрібне подальше вивчення закономірностей взаємопов'язаного тепловологоперенесення в сушильних камерах зерносушарок різного типу. Цим питанням присвячені роботи О.В. Ликова, С.Д. Птіцина, Л.В. Колесова, Н.М. Андріанова, Н.І. Маліна, Ю.А. Михайлова, А.Ф. Ерка та інших учених [9, с. 11].

Постановка завдання. Математичне моделювання процесу ІЧ-сушіння зерна з урахуванням перспектив розроблення інформаційної системи підтримки автоматизованого процесу керування сушінням.

Виклад основного матеріалу дослідження. Хід побудови математичної моделі процесу сушіння включає в себе чотири етапи (рис. 1), на кожному з яких є можливість отримання математичної моделі відповідного рівня.

1 етап – концептуалізація. Отримання моделі елементарного шару (спрощеної моделі у вигляді системи алгебраїчних балансових рівнянь із використанням енерго- і масобалансового методу, положень теорії сушіння і методу термодинамічної аналогії) між добре вивченими тепловими процесами і не досить дослідженими теплофізичними проблемами і, як наслідок, складний математичний опис вологісними процесами [11, с. 7589]. Модель першого рівня являє собою систему алгебраїчних рівнянь, які наближено описують статику процесу сушіння. Вона не придатна для постановки і розв'язання завдань оптимізації, але є невіддільним складником побудови моделей вищого рівня.

Для розрахунку температури зернової маси за просторовою координатою в цій системі можна

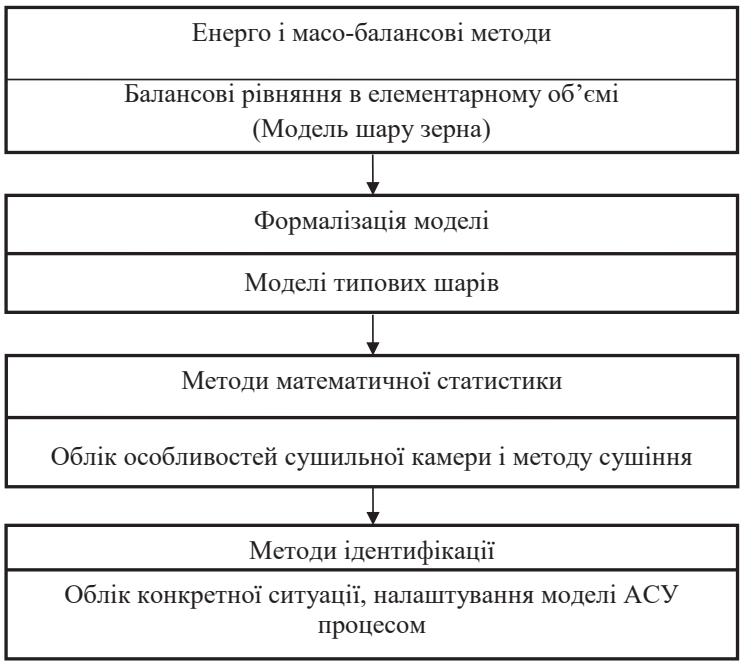


Рис. 1. Схема побудови математичної моделі процесу

використовувати основне рівняння теплопровідності [1, с. 45]:

$$\frac{\partial(\rho_i \cdot c_i \cdot T)}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x}(\lambda \frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\lambda \frac{\partial T}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(\lambda \frac{\partial T}{\partial z}) + E, \quad (1)$$

де E – густина теплового потоку $E = f(x, y, z, \tau)$;

$\frac{\partial T}{\partial \tau}$ – швидкість зміни внутрішньої енергії зернової маси на одиницю об'єму;

λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт/м К.

Розрахунок розподілу температури в процесі сушіння зернової маси в тривимірному об'ємі шляхом вирішення системи рівнянь теплопровідності для АСУ ТП на практиці є досить складним. Зокрема, внаслідок великої кількості датчиків, які відстежують зміну температури за просторовими координатами.

Тому запропоновано застосувати більш простий варіант моделювання, з урахуванням того, що це завдання належить до завдань нестаціонарної теплопровідності за відсутності суттєвого внутрішнього тепловиділення зернової маси. В такому разі завдання можна звести до двомірної. Тобто температура залежить тільки від координат *X* і *Y* (розподіл по довжині і висоті зернової маси). Тому після спрощення рівняння теплопровідності набуде такого вигляду:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right). \quad (2)$$

Від розподілу температури по просторовій координаті X перейдемо до більш зручного розв'язання завдання розподілу температури за часом, зробивши припущення, що зернова маса не рухається (або швидкість руху незначна і конвективний складник не впливає на розподіл температури), а кожна її ділянка піддається сушінню із застосуванням ІЧ-випромінювання.

З метою обґрунтованого вибору раціонального режиму ІЧ-сушіння для різних параметрів зернової маси (насамперед по вологості) математична модель повинна включати в себе терморадіаційні характеристики (далі – ТРХ) матеріалу (тобто зернової маси). Оскільки ІЧ-сушіння здійснюється під час опромінення інтегральним потоком і інтегральні ТРХ залежать від виду ІЧ-генераторів і умов опромінення, то для розрахунку полів температур можна використовувати [1, с. 183] диференціально-різницевий метод розрахунку розподілу за товщиною шару об'ємної щільності енергії поглинання випромінювання.

З урахуванням вищенаведеного рівняння розподілу нестаціонарного температурного поля набуде такого вигляду:

$$\left[\frac{\partial T}{\partial \tau} \right] = \lambda \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad 0 \le z \le h, \quad \tau > 0. \quad (3)$$

Подібне завдання вирішується з урахуванням граничних умов третього роду, що представлені в такому вигляді:

$$\begin{cases} z = 0: & \lambda \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha_k \cdot \left(T_{z_0} - T_k \right), \\ z = h: & \lambda \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha_в \cdot \left(T_{z_в} - T_o \right), \\ \tau = 0: & T_z = T_n, \end{cases} \quad (4)$$

де T_{z_0}, T_k – температура зернової маси на межі конвеєра і повітря, К;

$T_{z_в}, T_o$ – температура конвеєра (шнека) і повітря, К;

$\lambda, \lambda_Б$ – коефіцієнти теплопровідності зерновки і повітря, Вт/м К;

$\alpha_в$, α_k – коефіцієнти тепловіддачі повітря і конвеєра, Вт/м2 К.

З метою отримання більш достовірного результату необхідно мати початкові умови. Тоді можливо буде замінити диференціальні рівняння в частинних похідних рівнянням у вигляді кінцево-

різницевих апроксимацій для похідних і задача буде зведена до рівнянь такого вигляду:

$$\frac{T_j^{n+1} - T_j^n}{\Delta\tau} = \alpha \cdot \frac{T_{j+1}^n - 2 \cdot T_j^n + T_{j-1}^n}{\Delta x^2}. \quad (5)$$

Усередині сушильної камери треба створити температурне поле, яке забезпечило б сушіння зернової маси. Контроль за полем здійснюється в n точках за допомогою датчиків одного класу і типу:

$$T_1 = T_2 = T_3 = ... = T_n = T_{зад} \pm \Delta T_{зад}. \quad (6)$$

Більш точні наближення кінцево-різницевих апроксимацій одержимо за похідною τ.

2 етап – формалізація, класифікація і структурна ідентифікація. Створення моделей типових шарів:

– щільних: нерухомого, малорухливого і такого, що рухається з механічним перемішуванням;

– пухких: розпушеного з інтенсивним механічним перемішуванням і пухкого, що поєднує фази щільного стану з гравітаційно падаючим і киплячим;

– псевдозріджених: фонтануючого, віброкиплячого, зваженого.

На основі цих моделей – побудова загальної моделі процесу сушіння зерна в шарі.

Модель другого рівня являє собою систему лінійних диференціальних рівнянь, що описують кінетику процесу сушіння зерна (для щільного рухомого шару – диференціальні рівняння субстанціонального перенесення).

Перехід від другого етапу створення математичної моделі до третього (тобто від рівнянь шарів до рівняння сушильної камери, яка може містити деяку кількість різних або однорідних типових шарів із певними порядковими номерами і значеннями параметрів для кожної зони сушіння) здійснюється за допомогою методів математичної композиції рівнянь шарів зон, складників сушильної камери.

3 етап – декомпозиція, суперпозиція, власне моделювання. Побудова узагальнених імітаційних моделей для сушильних камер заданого типу (в нашому випадку з використанням ІЧ-сушіння) з урахуванням системоутворюючих особливостей усередині конструкційних елементів сушильних зон із певною сукупністю або системою деякого фіксованого числа відомих типових шарів.

Модель третього рівня в узагальненому вигляді являє собою систему диференціальних рівнянь у частинних похідних, що описують динаміку процесу сушіння.

Перехід від третього етапу до четвертого потребує наявності деякого обсягу експериментальних даних про процес в усталеному стані у будь-якому режимі (близькому до нормального), або даних про перехідні процеси, або статистичних даних про стан і вигляд зернового матеріалу для опису процесу сушіння. Він здійснюється з використанням методів ідентифікації (методом розв'язання оберненої задачі тепломасообміну, методом найменших квадратів, експериментальним способом). Ці методи можна використовувати послідовно в зворотному порядку їх переліку, тобто визначити початкові наближення значень коефіцієнтів моделі методом циліндричного зонда нестаціонарного теплового потоку на лабораторній установці (знайти теплофізичні параметри: коефіцієнти теплоємності, теплопровідності і температуропровідності як функції Y, T і, використовуючи їхній зв'язок через критерії подібності *Re* і *Nu(Re),* отримати залежності теплообмінних параметрів: коефіцієнтів тепломасообмінних параметрів: коефіцієнтів тепло- $\lambda_i = f_1(W,T)$ і вологообміну $\psi_i = f_2(W,T)$ для кожного типового шару, яким відповідають різні критеріальні рівняння); або за допомогою експериментальних даних про процес у сушильній камері визначити їх методом найменших квадратів; проводити їх уточнення за кінцеве число ітерацій (залежно від близькості до еталонних значень початкового наближення) методом розв'язання оберненої задачі тепломасопереносу. На відміну від попередніх переходів, коли значення коефіцієнтів оцінювалися лише порядком і перехід супроводжувався похибкою, в цьому відбувається присвоювання їм конкретних числових значень.

4 етап – функціональна і параметрична ідентифікація. Ідентифікація функції, що визначає характер вологообміну, і коефіцієнтів, що характеризують теплообмін і вологообмін для конкретної ситуації – виду і стану зернового матеріалу і конструктивних особливостей конкретної сушарки певного типу, тобто налаштування моделі сушильної камери цього типу.

Модель четвертого рівня є нелінійною системою звичайних диференціальних рівнянь, що описують результуючу динаміку процесу сушіння.

У загальному випадку визначення часу, який потрібен для сушіння колоїдного капілярно-пористого тіла (яким є зерно), з початковим вмістом вологи Y_0 до вмісту вологи Y_e, засноване на нормалізованій функції швидкості сушіння:

$$\dot{M}_v = \dot{M}_{v,I}(T_\infty, X_\infty, \beta_g)\dot{v}(\eta), \quad (7)$$

де $\dot{M}_{v,I}$ – швидкість сушіння (кг/(м²г)) у *I*-му режимі, яка залежить від коефіцієнта масообміну β_g;

$\dot{v}(\eta)$ – нормуюча швидкість сушіння.

Нормалізовану функцію швидкості необхідно розглядати спільно із законом збереження для рідини, що випаровується [2, с. 32] –

$$\dot{M}_v \cdot F = M_S \cdot \frac{\partial Y}{\partial T}$$

У загальному випадку безрозмірний час сушіння можна описати такою залежністю:

$$\tau = \frac{M_{v,I} \cdot F}{M_S(Y_{cc} - Y_{h\infty})} \cdot T_p. \quad (8)$$

Щодо задачі інформаційної підтримки технологічного процесу сушіння, то на наступному етапі роботи необхідно розглянути вектор рішень, прийнятих АСУ ТП або оператором для вибору оптимального режиму, оскільки дійсна швидкість сушіння $\dot{M}_v$ майже завжди менша, ніж $\dot{M}_{v,I}$, дійсний час сушіння в режимі падіння швидкості майже завжди більший, ніж час, необхідний для випаровування вологи і зміни вмісту вологи від Y_{cc} до Y_{h°

Зв'язок між максимальною температурою $T_{мах}$ поверхні зернової маси, що опромінюється ІЧ-випромінюванням, щільністю потоку випромінювання *E* і коефіцієнтом поглинання поверхні $\bar{A}$ виражається такою залежністю:

$$T_{\max} = T_0 + \frac{\bar{A} \cdot E}{\alpha \cdot F}, \quad (9)$$

де T_0 – початкова температура, К.

Спектр випускання випромінювача обирається залежно від коефіцієнтів відбивання, поглинання і пропускання *D* зернової маси, значення яких визначають енергію, що поглинається в процесі сушіння.

Під час розрахунку променистого теплообміну в сушильних камерах (як і в будь-якому просторовому об'ємі, де використовуються ІЧ нагрівальні елементи) необхідно враховувати конвекційний складник тепловіддачі до повітря, що залежить від усередненої температури повітря:

$$T_{пов} = \frac{\sum_{i=1}^{n} a_i \cdot F_i \cdot T_i}{\sum_{i=1}^{n} a_i \cdot F_i}, \quad (10)$$

Завдання значно ускладнюється тим, що перенесення ІЧ-випромінювання в реальних сушильних установках супроводжується також іншими механізмами перенесення енергії, як-от теплопровідність, конвекція. Додаткові труднощі виникають у зв'язку з істотною неоднорідністю полів температури, складу і селективністю радіаційних характеристик тіл як в обсязі середовища, так і на граничних теплосприймаючих поверхнях нагрівання. Усе це робить точне рішення поставленого завдання досить складним.

Під час опису нестаціонарного нагрівання зернової маси, пов'язаного з процесом взаємодії ІЧ-випромінювання і конвекційного теплообміну, зміни маси зерна в процесі вологовипаровування можна виразити такою залежністю [11, с. 7595]:

$$m \cdot c \cdot \frac{dT}{d\tau} = Q - F \cdot \chi \cdot (C_s \cdot T_n^4 - C_s \cdot T_o^4), \quad (11)$$

де T_n, T_o – початкова температура зернової маси і температура середовища відповідно, К;

Q – потужність теплового потоку, Вт;

χ – коефіцієнт переносу ІЧ-випромінювання;

C_s – постійна Стефана-Больцмана ($C_s = 5,6697 \cdot 10^{-8}$), Вт/(м² К⁴).

Для проєктування програмного забезпечення, що адекватно описує всі можливі ситуації, які виникають у процесі сушіння, вочевидь, потрібно врахувати і різні умови експлуатації, що необхідно буде взяти до уваги в подальших дослідженнях.

Висновки. Застосування інфрачервоного випромінювання сприяє інтенсифікації процесу сушіння зерна внаслідок значного збільшення щільності теплового потоку на поверхні матеріалу, що опромінюється, і проникнення інфрачервоних променів усередину матеріалу. Інфрачервоні промені проходять шлях від генератора випромінювання до об'єкта опромінення за мільйонні частки секунди і (не зустрічаючи опору граничного шару, що спостерігається під час конвекційного сушіння) забезпечують ефективне нагрівання матеріалу шляхом інтенсифікації руху атомів і молекул в його поверхневих і глибше розташованих шарах. Інфрачервона сушка відбувається без участі в ній повітря, отже, скорочується кількість обладнання, що використовується в технологічному процесі, що, у свою чергу, збільшує надійність і відмовостійкість системи.

Виявлено, що робота автоматизованої системи управління (АСУ) багато в чому залежить від конкретної конструкції сушильної камери як об'єкта автоматизації та процесів тепломасообміну, що протікають у ній. Не менш важливо знати закономірності зміни теплових режимів матеріалу, що висушується, допустимі максимальні температури його нагріву.

Список літератури:

1. Атаназевич В.И. Сушка зерна. Москва, 1997. 256 с.
2. Бабкіна І.В. Удосконалення процесу теплової обробки харчових продуктів інфрачервоним випромінюванням : дис. … канд. техн. наук : 05.18.12. Харків, 2001. 351 с.
3. Зверев С.В., Лигидов В.А., Утков Ю.А., Цымбал А.А., Погорелов М.С. Оценка полей облученности под плоским излучателем при радиационно-конвективной сушке фруктов. *Журнал. РАСХН «Хранение и переработка сельхозсырья».* Москва, 2005. № 9. С. 63–64.
4. Лебединець І.В. Підвищення ефективності процесів та обладнання для теплової обробки харчових продуктів ІЧ-випромінюванням : дис. … канд. техн. наук : 05.18.12. Харків, 2003. 260 с.
5. Клямкин Н.К. ИК – сушка – перспектива развития сушильной отрасли. *Техника и оборудование для села.* Москва, 1999. 25 с.
6. Крикунова Л.Н., Андриенко Т.В., Черных В.Я. Влияние ИК обработки зерна пшеницы и ржи на параметры процесса его измельчения. *Журнал «Известия вузов. Пищевая технология».* Краснодар, 2007. № 4. С. 76–77.
7. Купченко А.В. Вплив інфрачервоного опромінення на насіння зернових та олійних культур. *Журнал «Хранение и переработка зерна».* № 2. Дніпропетровськ, 2003. С. 17.
8. Пунков С.П., Ким Л.В., Фейденгольд В.Б. Проэктирование элеваторов и зернохранилищ с основами САПР : учебник / под ред.

С.П. Пункова. Воронеж, 1996. 284 с.

9. Новохат О.А., Марчевський В.М. Інфрачервоне випромінювання в процесі сушіння паперу та зменшення викидів в атмосферу. *Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів* : зб. тез доп. наук.-практ. сем. студентів, аспірантів і молодих вчених, м. Київ, 22 квітня 2008 р. Київ : Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», 2008. С. 29–30.
10. Цугленок Н.В. Имитационная модель функционирования сушильных установок. *Вестник КрасГАУ.* Красноярск, 2007. № 3. С. 196–200.
11. Lakhno V., Kasatkin D., Buriachok V., Palekha Y., Saiko V., Domrachev V. (2018). It support in decision-making with regard to infra-red grain drying management. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology.* Vol. 96. Issue 22. 30 November 2018. P. 7587–7598.

Lakhno V.A., Osypova T.Yu., Matus Yu.V. USE OF COMPUTER SYSTEMS TO INCREASE THE EFFICIENCY OF INFORMATION SUPPORT OF INFRARED GRAINE DRIYNG

The article deals with the problem of automation and increasing the efficiency of infrared grain drying using computer systems. The existing literature of domestic and foreign authors on the problems of automation of infrared drying of grain has been analyzed. The process of constructing a mathematical model of the grain drying process and its simplified model are described.

In the first stage, we obtained a model of the elementary layer of grain in the form of a system of algebraic equations, which is not suitable for setting and solving optimization problems, but is an integral part of constructing higher-level models. In the second stage, the model is formalized, classified and structurally identified. Models of typical layers of grain (loose, dense, fluidized) are created. The second level model is a system of linear differential equations describing the kinetics of the grain drying process. In the third stage, decomposition, superposition and in-house modeling of drying chamber conditions were performed.

It is shown that the third-level model in a generalized form is a system of partial differential equations describing the dynamics of the grain drying process. In the fourth stage of modeling functional and parametric identification of processes in steady state of grain in any mode is carried out. It is noted that the fourth level model is a nonlinear system of ordinary differential equations describing the resulting dynamics of the grain drying process.

On the basis of these models the general model of process of grain drying in a layer is constructed. The problem of automation of the control system of the IR drying of grain (based on formalized mathematical models) using a friendly interface with clear components of control and presentation of predictive and resultant information is considered.

Complexity of transfer of IR radiation in real drying installations is noted, which is accompanied by other mechanisms of energy transfer, such as thermal conductivity, convection.

The complexity of designing the software, which adequately describes all possible situations that occur during the grain drying process, is emphasized.

Key words: *infrared drying, grain, temperature, heat flux, mathematical model, temperature field, drying chamber.*

УДК 532.082.5
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-1/19

Малахова Д.О.
Одесский национальный политехнический университет

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССА ВЕНТИЛЯЦИИ ГРУЗОВЫХ ТРЮМОВ ТАНКЕРОВ

У статті розглядається проблема впровадження нової інформаційної технології та інформаційного забезпечення процесу вентиляції вантажних трюмів на танкерах. Така проблема досі залишається практично не вирішеною науковцями і потребує всебічного розгляду як з технічного боку, так і з боку інформатики. Впровадження інформаційних технологій для відображення параметрів процесу вентиляції є дуже суттєвим, оскільки досі відсутні якісні та надійні методи обробки даних процесу інертизації чадними газами вантажних приміщень танкера. Методи, що використовуються зараз, характеризуються відсутністю інформативності подання даних та передбачають значні витрати з розрахункового погляду.

При експлуатації системи інертних газів танкера головне практичне завдання полягає у зменшенні концентрації кисню в трюмі до нормативних значень. Для скорочення тривалості процесу може бути застосована технологія примусової вентиляції. Досі в такому робочому процесі на морських суднах інформаційні технології не застосовувались, але саме завдяки їх впровадженню можна суттєво скоротити час вентиляції та зменшити затрати на паливо, що згорає в системі інертних газів танкера.

У статті сформульована умова для побудови двовимірної візуалізації розподілу ізоліній під час обробки чотиривимірного масиву даних. Такі ізолінії комплексно відображають розподіл концентрації кисню всередині трюму сукупно зі значеннями тиску. Це впливає на остаточне видалення повітря з робочого обсягу.

Доведено, що початкові масиви даних можливо отримати під час кінцево-різницевого рішення системи диференційних рівнянь ізоентропічного руху повітря в трюмі танкера сумісно з рівнянням нерозривності.

Для практичного використання на танкерах на основі розробленого методу візуалізації було створено програмний комплекс.

Ключові слова: *візуалізація, обробка даних, програмний комплекс, танкер, інертні гази, концентрація кисню, вентиляція.*

Постановка проблемы. В большинстве технологических процессов, использующих информационные технологии для визуализации текущих параметров, подразумевается представление окончательного результата в наиболее удобном для пользователя виде. Применимо к различным термо- или гидродинамическим процессам можно констатировать, что получаемые в конечном итоге поля температуры, скорости, давления, завихренности и т.п. очень часто характеризуются многомерными и большими по объемам массивами численных данных. Все используемые методы их обработки требуют наличия у пользователя определенных знаний и зачастую характеризуются слабой информативностью или завышенными требованиями к вычислительной технике.

На современном этапе развития информационных технологий в гидродинамических процессах наибольшее распространение получили два типа методов:

– визуализация экспериментального процесса различными способами фотографирования;

– численная обработка массивов данных, характеризующих рассматриваемый процесс.

В первом типе наиболее информативные и достоверные результаты можно получить при помощи оптического метода визуализации физических процессов с внедрением поверхностного плазмонного резонанса [1, с. 47], использования «световых ножей», введения красящих добавок, инжекции струек дыма, шелковых нитей, гелиевых пузырьков или механических включений в движущуюся среду с использованием оптических методов наблюдения [2, с. 5].

Во втором типе наиболее часто используются геометрические и топологические методы, метод главных компонентов, факторный, кластерный, дискриминантный анализ [3, с. 64].

Анализ последних исследований и публикаций. Не смотря на существование целого научного направления под названием «вычислительная гидродинамика» (CFD), можно констатировать, что работы, посвященные методам визуализации получаемых расчетных данных,

встречаются достаточно редко. Наиболее полное и качественное описание современного состояния вопроса приводится в работе К.Н. Волкова [2, с. 7], однако в нем присутствуют некоторые неточности. Например, в качестве метода визуализации расчетных данных приводится метод предиктора-корректора, который может использоваться только на стадии численной схемы решения уравнений. Эта стадия соответствует получению массива расчетных данных, а не его обработке с целью построения картины визуализации поля течения.

Практически во всех научных статьях и монографиях, относящихся к визуализации гидродинамических процессов, используется только два варианта построения графических образов получаемых полей скорости, давления, линий тока, завихренности и т.п. Их выбор определяется только самими исследователями, при этом сами методы не поддаются качественному анализу или оценке с точки зрения информационных технологий.

Первый вариант – это графический набор сплошных или прерывистых линий, которые отображают визуальную картину течения. С их помощью можно увидеть места отрыва потока от поверхностей или положение вихрей в потоке. Информация о конкретных значениях отображаемого параметра иногда указывается на выборочных линиях либо задается цветом.

Второй вариант – это отображение искомого параметра с использованием технологии окрашивания данных с классическим переходом от синего цвета, соответствующего малым числовым значениям, до красного, соответствующего максимальным значениям.

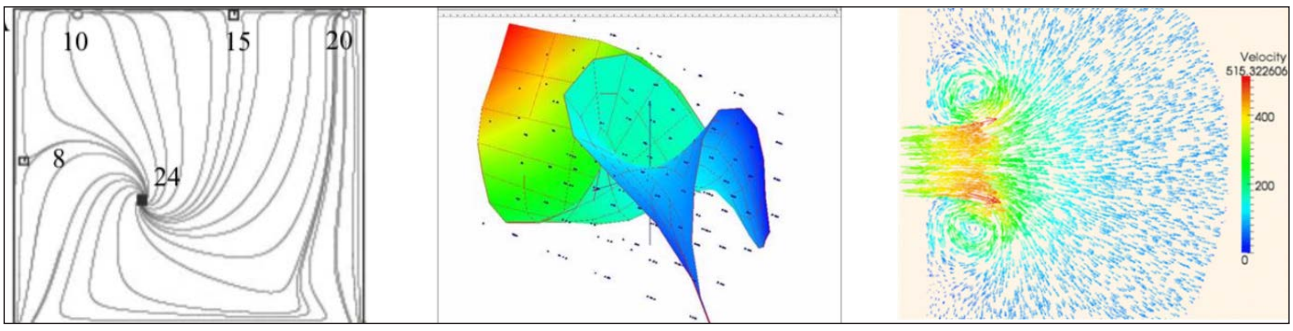
Примеры двух способов визуализации, взятые из работ [2, с. 5; 3, с. 64; 5, с. 18], показаны на рисунке 1. В обоих случаях информативность представления данных не позволяет проводить их количественный анализ. На основе выполненной визуализации сложно сформулировать практические выводы о характерных особенностях рассматриваемых течений.

На основе анализа современных исследований в области визуализации гидродинамических процессов можно констатировать отсутствие надежного метода обработки данных. Известные методы характеризуются отсутствием информативности подачи данных и подразумевают высокие затраты с вычислительной точки зрения.

Особый интерес представляет собой использование информационных технологий в применении к морским судам. С периодичностью не менее двух раз в месяц на танкерах проводятся операции, связанные с вентиляцией грузовых трюмов за счет заполнения инертными газами (продуктами горения судового топлива). Главная практическая задача в этом случае состоит в снижении концентрации кислорода в трюме до нормативных значений. Для сокращения длительности процесса может применяться технология принудительной вентиляции [6, с. 18].

В таком рабочем процессе на морских судах до настоящего времени информационные технологии не применялись. Визуализация численных данных, отображающих качество и скорость процесса заполнения рабочих объемов трюмов танкера инертными газами, приведет к получению самого главного результата, то есть к повышению рентабельности работы судна. Это будет достигнуто за счет контролируемого сокращения длительности процесса вентиляции трюма танкера и затрат топлива на его проведение [7, с. 31].

Цель работы заключается в формулировке основных принципов метода визуализации численных массивов данных при отображении процесса вентиляции грузовых трюмов танкера с выделением и двумерным графическим отображением динамики изменения главных определяющих параметров.



а б в

Рис. 1. Примеры визуализации гидродинамических процессов: а – линии тока при движении жидкости по стенке [2]; б – поле давления в потоке [5]; в – вытекание струи в неограниченное пространство [3]

Изложение основного материала. Предлагаемый новый подход к решению задачи о визуализации процесса вентиляции грузового трюма танкера основан на пространственном выделении и построении характерных изолиний. В качестве критерия для построения таких изолиний предлагается использовать получаемое при обработке четырехмерного массива данных значение градиента двух основных рабочих параметров – величины концентрации кислорода C_{O2} и давления P. Массив данных определяется размерностью задачи – тремя пространственными координатами (x, y, z) с соответствующими индексами (i, j, k) и одной временной (t) с индексом (n).

Основным условием для построения двумерной визуализации получаемого распределения изолиний является совпадение в относительных единицах двух параметров в наборе точек, через которые будет проходить изолиния. Фактически для построения в данный момент времени визуализации необходимо, чтобы выполнялась такая система:

$$\left.\begin{aligned}(\nabla C_{O2})^n_{i,j,k} &= const\\ (\nabla P)^n_{i,j,k} &= const\end{aligned}\right\} \quad (1)$$

где ∇ – оператор Лапласа; C_{O2} – концентрация кислорода, %; P – давление в точке, отнесенное к атмосферному давлению, %.

Исходные массивы данных можно получить при конечно-разностном решении системы дифференциальных уравнений изоэнтропического движения воздуха в трюме танкера. В тензорной форме записи она имеет такой вид:

$$\rho\frac{dV_i}{dt} = g\left(\frac{\partial\rho}{\partial C_i}\right)\left(C_i - C_i^{'}\right) - \nabla P + \mu\nabla^2 V_i, \quad (2)$$

где V_i – текущая проекция скорости, м/с; P – давление, Па; C_i, C_i'– концентрация воздуха в трюме и в окружающей среде, кг/м^3; μ – динамическая вязкость воздуха, *Па·с*.

При заданных начальных и граничных условиях эти уравнения решаются совместно с таким уравнением неразрывности:

$$\frac{\partial\rho}{\partial t} + \frac{\partial\rho V_x}{\partial x} + \frac{\partial\rho V_y}{\partial y} + \frac{\partial\rho V_z}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

Исходный физический объем грузового трюма танкера моделируется при помощи неравномерной прямоугольной сетки. Она показана на рисунке 2.

Использование численного подхода для построения визуализации при работе танкера хорошо согласуется с результатами, получаемыми в ходе непосредственных измерений распределения концентрации в трюме.

Сравнение результатов измерения и расчетных данных, которые составляют основу массива, обрабатываемого при визуализации, показано на рисунке 3.

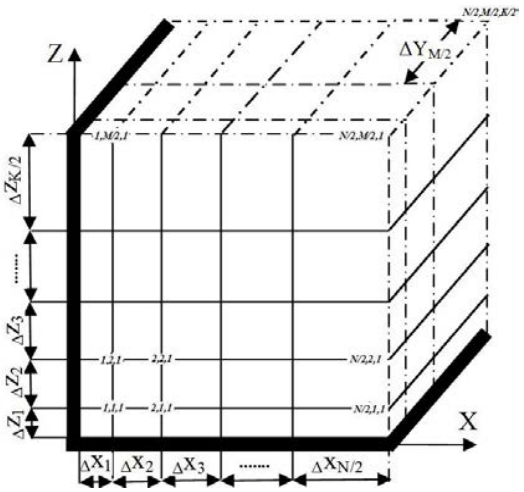


Рис. 2. Дискретное представление грузового трюма танкера

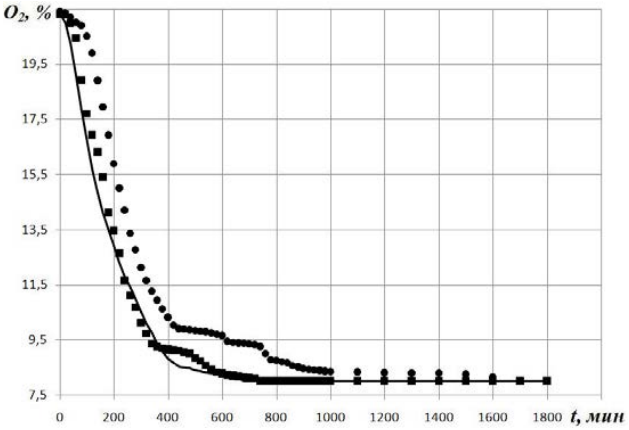
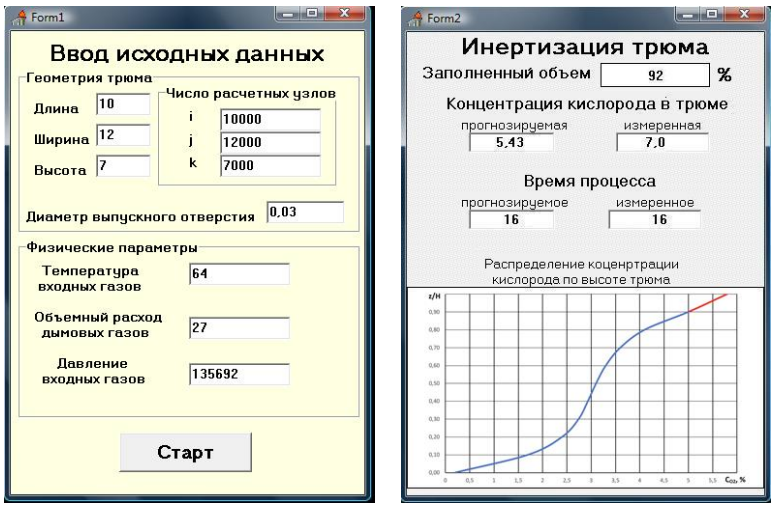


Рис. 3. Сравнение результатов расчета и измерений: ● – естественная вентиляция трюма; ■ – принудительная вентиляция трюма; сплошная линия – результаты моделирования

В конечном итоге для практического использования на танкерах результатов выполненных исследований на основе разработанного метода визуализации был разработан программный комплекс. Исходные параметры для визуализации процесса вентиляции трюма необходимо вводить в ручном режиме. Как показано на рисунке 4 (а), где отображено окно ввода данных, к ним относятся линейные размеры грузового трюма, начальная температура инертных газов и воз-

духа в трюме, количество расчетных узлов. С учетом разработанного алгоритма в окне вывода, показанном на рисунке 4 (б), пользователь может получать данные об объемном наполнении грузового трюма и контролировать параметры концентрации воздуха по его высоте.



а б

Рис. 4. Программный комплекс: а – окно ввода данных; б – окно пользователя

Использование информационных технологий в комбинации со стандартным измерительным оборудованием для контроля процесса вентиляции грузовых трюмов танкера позволяет контролировать качество самого процесса в целом. Характерным примером являются данные, отображенные на рисунке 5. На нем показано распределение концентрации кислорода в самом верхнем поперечном сечении трюма. Как видно в момент времени, соответствующий полному заполнению трюма инертными газами, средства измерительной аппаратуры показывали, что концентрация кислорода превышает допустимые 5% и составляет 5,4%. Однако интегрирование кривой, соответствующей всему расчетному сечению, показывает, что процесс завершен, поскольку концентрация кислорода составляет 4,08%. Сравнение аналогичных данных, полученных при установке датчиков концентрации не вблизи стенок трюма, а в его центральной части, приводит к практически полному совпадению.

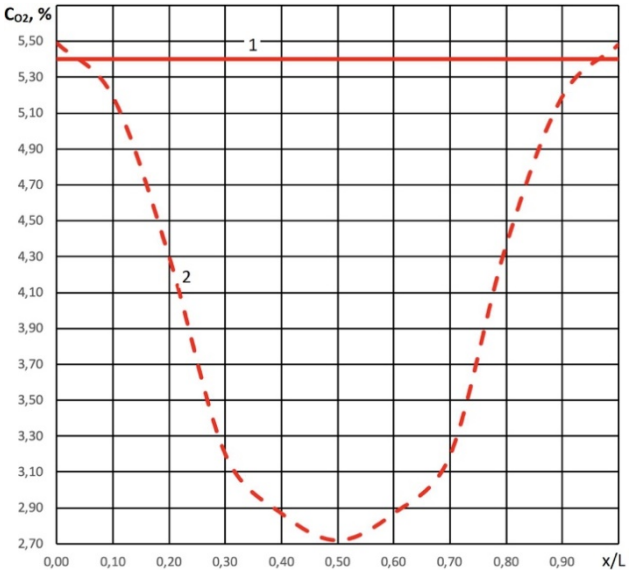


Рис. 5. Сравнение значений концентрации кислорода в трюме: 1 – результат использования информационных технологий; 2 – показания газоанализатора на выходе из трюма

В ходе исследований была использована информационная обработка текущих результатов процесса заполнения грузового трюма танкера инертными газами. Установлено, что наиболее качественные результаты измерительное оборудование дает при расположении створов для отбора газовых проб на расстоянии, превышающем 10% ширины или глубины трюма (в зависимости от конструкции танкера). В этом случае числовые значения остаточной концентрации кислорода, получаемые при помощи разработанного программного комплекса и за счет измерений, совпадают полностью.

Выводы и перспективы дальнейших исследований.

1. Разработанный метод визуализации потоковых численных данных, отображающих процесс вентиляции грузовых трюмов танкера, позволяет контролировать любую стадию заполнения трюма инертными газами. За счет использования предлагаемой информационной технологии отпадает необходимость выполнения такого контроля силами экипажа судна.

2. В соответствии с результатами визуализации при эксплуатации танкера измерительные створы для контроля величины концентрации кислорода в грузовом трюме необходимо удалять от стенок танкера на расстояние не менее 10% от текущего характерного размера (длины или ширины). Получаемые значения в этом случае будут характеризовать общую картину вытеснения воздуха из его рабочего объема.

3. Основная направленность дальнейших исследований должна быть связана с совершен-

ствованием программного продукта в области универсального подхода к конструктивным особенностям танкеров. Не все танкеры характеризуются прямоугольной формой грузового трюма, поэтому специфика поведения подаваемых инертных газов должна учитываться на уровне применяемых в этом случае информационных технологий.

Список литературы:

1. Павлов И.Н., Ринкевичюс Б.С., Толкачев А.В., Ведяшкина А.В. Возможности метода поверхностного плазмонного резонанса для визуализации физических процессов в наноразмерных пограничных слоях жидкости. *Научная визуализация.* 2017. Квартал 1, Том 9, № 1. С. 41–49.

2. Волков К.Н. Методы визуализации вихревых течений в вычислительной газовой динамике и их применение при решении прикладных задач. *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*. 2014. № 3 (91). С. 1–10.

3. Бондарев А.Е. Анализ многомерных данных в задачах вычислительной газовой динамики. *Научная визуализация.* 2014. Квартал 4, Том 6, № 5. С. 61–68.

4. Afendikov A.L., Khankhasaeva Ya.V., Lusky A.E., Menshov I.S., Merkulov K.D. Computation and visualization of flows past bodies in mutual motion. *Scientific Visualization*. 2016. Quarter 4, Vol 8, № 4. P. 128–138.

5. Знаменская И. Взаимодействие численной и экспериментальной визуализации потоков. *Научная визуализация*. 2013. Квартал 3, Том 5, № 3. С. 1–16.

6. Malakhov O., Kolegaev M., Malakhova D., Maslov I., Brazhnik I., Gudilko R. Improvement of working parameters of ships with the use of water-fuel emulsions. *Technology audit and production reserves*. 2018. Vol .6, N 3 (44). Chemical engineering. P. 14–20.

7. Малахов А.В., Колегаев М.А., Бражник И.Д. Совершенствование эксплуатационных показателей системы инертных газов на танкерах. *Вісник ХНТУ*. № 2 (65), 2018 р. С. 27–34.

Malakhova D.O. INFORMATION TECHNOLOGIES FOR CONTROLLING THE VENTILATION PROCESS OF TANKER HOLDS

The article devoted to the problem of introduction of new information technology and information support for the process of ventilation of cargo holds on tankers. Such a problem remains almost unconsidered so far and needs comprehensive consideration both from the technical approach and from the software point of view. The introduction of information technology to reflect the parameters of the ventilation process is very important, because up to date there are no qualitative and reliable methods for processing the data of the process of inertization with the flue gases of the cargo rooms of the tanker. The methods used to date are characterized by a lack of informativeness in the submission of data and involve significant costs from the calculation point of view.

When operating the inert gas system of the tanker the main practical task is to reduce the oxygen concentration in the hold to normative values. To cut the process time may be introduced forced ventilation technology. Up to date, information technology has not been used in such a workshop on ships, but through its implementation it is possible to significantly reduce ventilation time and reduce the fuel consumption of the inert gas system of the tanker.

The article formulates a condition for constructing a two-dimensional visualization of the isolines distribution during the processing of a four-dimensional data massive. Such isolines comprehensively reflect the distribution of oxygen concentration inside the hold together with the pressure values that affect onto the final removal of air from the working volume.

It is shown that the initial data massives can be obtained in the finite-difference solution of the system of differential equations of isoentropic air movement in the tank hold together with the continuity equation.

For practical use on tankers based on the developed visualization method, a software complex was created.

Key words: *visualization, data processing, software, tanker, inert gases, oxygen concentration, ventilation.*

УДК 004.054
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-1/20

Медушевський С.В.
Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

ІНТЕРПРЕТАЦІЯ МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ІНТЕГРАЛЬНОЇ ОЦІНКИ РІВНЯ ЯКОСТІ ВАЛІДАЦІЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

Проведено аналіз публікацій динаміки розвитку складних технічних систем та визначено необхідність розробки теоретичних і методичних положень, прикладних рекомендацій щодо формування і впровадження стандартизованого і уніфікованого методу оцінювання якості проєкту валідації АІС на базі виробництв/підприємств фармацевтичної галузі. Розглянуто принцип інтегральної оцінки якості автоматизованої інформаційної системи (АІС). Запропоновано методичні рекомендації оцінки якості АІС та з метою спрощення процесу аналізу результатів тестування кожного функціонального блоку АІС розроблено алгоритм оцінювання рівня якості її складників. У межах окремої підсистеми АІС запропоновано опис показників, який складається з назви показника, формули розрахунку, одиниці виміру, порівняльних показників. Виконано оцінку якості АІС у процесі валідації та при порівняльному аналізі результатів верифікації щодо відповідних специфікацій. Для комплексного оцінювання якості функціональних блоків АІС в умовах невизначеності застосовано методику розрахунку вагових коефіцієнтів функції бажаності. Розглянуто складники процесів оцінки і забезпечення якості. Представлено методику оцінювання обраних показників для отримання висновків про реальну якість як окремо взятих підсистем, так і АІС в цілому. Проведено розрахунок інтегральних показників та вагових показників ключових підсистем. Визначено, що для оцінювання ступеня, за яким певна характеристика якості АІС відповідає встановленим вимогам, необхідно використовувати базові показники якості. Представлено чотири процеси оцінки і забезпечення якості АІС. Охарактеризовано етапи життєвого циклу, розробки і супроводу АІС. Результати верифікації, валідації та тестування розроблених моделей показали їх працездатність і доцільність застосування при аналізі характеристик динамічних АІС.

Ключові слова: *валідація, верифікація, життєвий цикл, інформаційна система,тестування, якість, специфікація, проєкт.*

Постановка проблеми. Проблема полягає в тому, що у проєктах розробки та впровадження автоматизованих інформаційних систем (далі – АІС) на фармацевтичному виробництві спостерігається тенденція до переваги використання класичних методів управління проєктами над актуальними засобами менеджменту якості, які застосовуються тільки на окремих етапах проєкту, таких як валідація системи. Для забезпечення якості проєктів впровадження АІС на фармацевтичному виробництві актуальним є не тільки виділення і пріоритетне забезпечення якості найбільш критичних об'єктів, а й досягнення якості на всіх етапах життєвого циклу АІС [1]. Необхідно інтегрувати цей життєвий цикл ще на етапі планування проєкту. Вирішення поточного завдання вимагає застосування відповідних інформаційно-аналітичних методів, інтегрованих засобів менеджменту якості, передових механізмів управління проєктами, управління ризиками якості [2] та багатоаспектного детального аналізу даних.

Розглядаючи питання якості АІС, не можна обмежуватися рамками окремих процесів життєвого циклу. Якість програмного забезпечення є постійним об'єктом уваги програмної інженерії та обговорюється в багатьох галузях знань.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Динамічний стан будь-якої складної технічної системи на різних етапах життєвого циклу із заданою точністю можна охарактеризувати сукупністю значень, що визначають її поведінку, тобто змінними станами [3]. Згідно із джерелом [4] для ефективного вибору та застосування характеристик (показників) якості програмного забезпечення (далі – ПЗ) кількісні величини повинні вибиратися, фіксуватися та супроводжуватися методикою їх чисельних вимірів при випробуваннях. У роботі [5] наведена стратегія тестування на основі аналізу специфікацій та функціональної структури програмного забезпечення та побудовані методи й алгоритми оцінки одного з визначальних показників якості програмного забезпечення автоматизованих систем – вірогідності виявлення контрольованих подій. Автор публікації

[6] пропонує розроблені методи прогнозування точкової й інтервальної оцінок узагальненого показника якості складних виробів. У роботі [7] запропоновані методичні й практичні рекомендації щодо проведення багаторівневої діагностики якості з використанням поетапного алгоритму визначення якості кожної складової частини та системи в цілому.

Проведений аналіз публікацій, в яких відображені відповідні методи, алгоритми, підходи і стандарти, дозволяє як основне завдання дослідження визначити створення методики багатоаспектного аналізу правильності верифікації проєкту на всіх етапах життєвого циклу.

Постановка завдання. Наша мета полягає у розробленні теоретичних і методичних положень, прикладних рекомендацій щодо формування і впровадження стандартизованого й уніфікованого методу оцінювання якості проєкту валідації АІС на базі виробництв/підприємств фармацевтичної галузі.

Виклад основного матеріалу. Метою процесу валідації АІС є підтвердження того, що об'єкт (опис, проєкт, програмний код і тощо) відповідає висунутим вимогам. Процес верифікації включає різні перевірки (інспекції), тестування коду, аналіз проміжних документів і тощо [8]. Існує багато загальновизнаних методик для проведення валідаційних процесів. Послідовність розгляду валідаційних характеристик відображає процес, за яким може розроблятися і оцінюватися АІС. Інтегральна оцінка якості АІС ґрунтується на запропонованій системі показників залежно від рівня деталізації системи (категорії). Методологічною базою оцінки рівня якості менеджменту у визначених підсистемах є нормативний підхід, експертні та емпіричні оцінки.

При вирішенні завдань верифікації динамічної АІС необхідно отримати уявлення про те, що встановлені математичним описом вимоги були виконані під час реалізації проєкту. Основний метод валідації АІС базується на моделі перевірки в спеціальних та тестових режимах. Однак можна здійснювати перевірку і в робочих режимах, якщо використовуються результати функціонального діагностування.

Вибір критеріїв якості для кожного фактора якості АІС відбувається на підставі вибору базових показників і вагових коефіцієнтів таких критеріїв. Відповідно до алгоритму методу інтегральної оцінки [9] вибираються показники і їх базові значення для АІС. У базову модель якості входить 5 таких показників якості: надійність, зручність застосування, ефективність, універсальність, функціональність.

Перший рівень формується з факторів якості. Критерії якості для кожної характеристики і конкретної АІС з урахуванням її призначення та вимог площини застосування складають другий рівень моделі. Третій рівень характеризується метриками, які визначаються комбінацією методу вимірювання та шкали вимірювання значень атрибутів. Четвертий рівень – це оцінні елементи метрики для визначення кількісного або якісного значення окремого елемента АІС (Рис. 1).

У процесі оцінки якості на кожному рівні обчислюються абсолютний (P_{ij}) і відносний (K_{ij}) показники якості, де j – порядковий номер показника даного рівня для і-го показника вищого рівня. Відносний показник якості (K_{ij}) є функцією абсолютного показника (P_{ij}) і його базового значення ($K_{базij}$):

$$K_{\text{ij}} = \frac{P_{ij}}{K_{базij}}. \qquad (1)$$

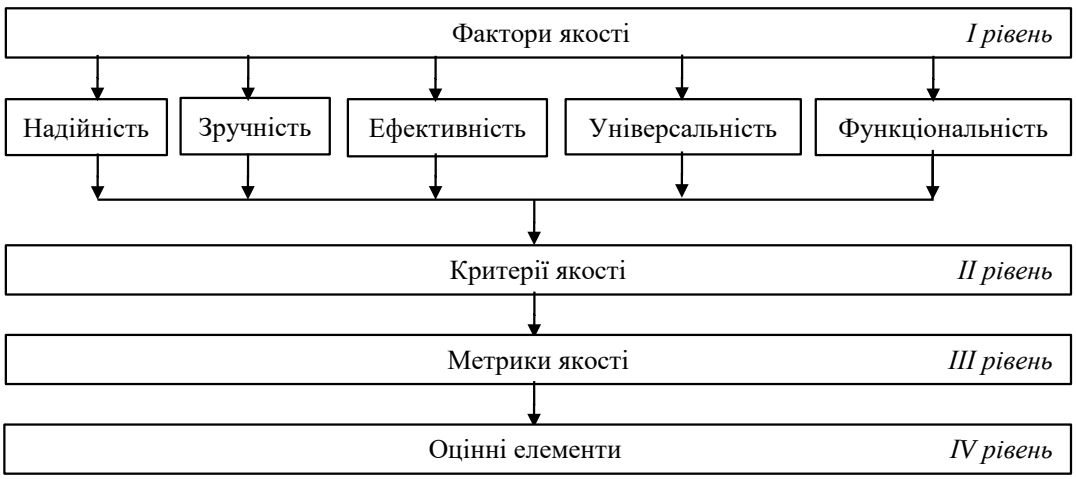


Рис. 1. Ієрархічна модель оцінки якості АІС

Кожен показник якості другого і третього рівнів характеризується двома такими параметрами: кількісним значенням і ваговим коефіцієнтом (V_{ij}). Визначається середнє значення оцінного елемента (M_{kq}) за кількома його значеннями (M_e) за такою формулою (формула для обчислення показників якості четвертого рівня при оцінці показника декількома експертами):

$$M_{kq} = \frac{\sum M}{T}, \qquad (2)$$

де k – порядковий номер метрики;

q – порядковий номер оцінного елемента;

T – число значень оцінного елемента.

Підсумкова оцінка k-ї метрики j-го критерію розраховується за такою формулою (формула для обчислення показників якості третього рівня):

$$PM_{jk} = \frac{\sum M_{kq}}{Q}, \qquad (3)$$

де M_{jk} – ознака метрики;

Q – кількість оцінних елементів в k метриці.

Абсолютні показники j-го критерію i-го фактора визначаються за такою формулою (формула для обчислення показників якості другого рівня):

$$P_{ij} = \frac{\sum P_{mjk} V_{mjk}}{\sum V_{mjk}}, \qquad (4)$$

де V_{mjk} – вагові коефіцієнти метрик ($\Sigma V_{mjk} = 1$);

k – ознака критерію.

Відносні значення j-го критерію i-го фактора по відношенню до базового значення ($K_{базij}$) розраховується за формулою (1).

Фактор якості ($R_{фi}$) обчислюється за такою формулою:

$$R_{фi} = \frac{\sum K_{ij} V_{kij}}{\sum V_{kij}}, \qquad (5)$$

де $ф$ – ознака і-го фактора;

k – ознака критерію.

Загальна оцінка якості формується експертами з набору отриманих значень факторів якості.

Оцінку якості АІС у процесі валідації та під час проведення порівняльного аналізу результатів верифікації щодо відповідних специфікацій рекомендовано здійснювати за формулою середньої арифметичної або середньої геометричної зваженої:

$$I_я = \sum_{i=1}^{n} a_i I_i^к = 0,27 I_{уз}^к + 0,3 I_{уп.}^к + 0,2 I_{пл.}^к + 0,2 I_{вп}^к, \qquad (6)$$

$$I_я = \sum_{i=1}^{n} a_i \sqrt{\prod_{i=1}^{n} I_i^{к a_i}} = I_{уз.}^{к\ 0,27} \cdot I_{уп.}^{к\ 0,3} \cdot I_{пл.}^{к\ 0,2} \cdot I_{вп}^{к\ 0,2}, \qquad (7)$$

де $I_я$ – інтегральний показник якості всієї АІС;

a_i – вагомість i-го показника якості підсистеми/функціонального блоку (одержана шляхом експертного опитування);

$I_i^к$ – i-й комплексний показник якості функціонального блоку;

i=1,…n; n – кількість підсистем/функціональних блоків;

$I_{заб.}^к$ – комплексний показник якості підсистеми управління запасами;

$I_{лн.}^к$ – комплексний показник якості підсистеми управління персоналом;

$I_{фн.}^к$ – комплексний показник якості підсистеми планування виробництва;

$I_{цл.}^к$ – комплексний показник якості підсистеми виробничих процесів.

Залежно від одержаних значень $I_я$ рівень якості АІС рекомендовано оцінювати за шкалою Харінгтона (табл. 1).

У межах окремої підсистеми АІС запропоновано опис показників, який складається з назви показника, формули розрахунку, одиниці виміру, порівняльних показників (вимоги до якості – це норма чи норматив із мінімальним та максимальним зазначенням).

Результати верифікації окремих блоків АІС можуть перебувати в різних цифрових діапазонах. Це потребує розрахунку критеріїв прийнятності для кожного конкретного випадку і позбавляє їх спільності і наочності (наприклад, уявлення прямої лінії в реальних концентраціях і площах піків). Проведення розрахунку за методом нормалізованих координат дозволяє сформулювати

Таблиця 1

Основні площини інтервального оцінювання процесу валідації

Характеристика ефективності	Рівень				
	G_1	G_2	G_3	G_4	G_5
Кількісна	Катастрофічний	Кризовий	Низький	Середній	Високий
Інтегральний показник	0 ÷ 0,2	0,2 ÷ 0,4	0,4 ÷ 0,6	0,6 ÷ 0,8	0,8 ÷ 1,0
Оцінка якості	Недопустимо	Допустимо	Задовільно	Добре	Відмінно

Таблиця 2

Результат розрахунку інтегральних показників та вагових коефіцієнтів

Підсистема	Інтегральний показник	Ваговий коефіцієнт	Підсумкова оцінка
Управління запасами	0,802	0,835	Відмінно
Управління персоналом	0,617	0,796	Задовільно
Планування виробництва	0,683	0,801	Добре
Виробничі процеси	0,751	0,853	Добре

єдині критерії, пов'язані тільки з допусками програмного коду, але не залежить від специфіки конкретних модулів.

Для комплексного оцінювання якості функціональних блоків АІС в умовах невизначеності, що характеризувалася не ймовірнісними характеристиками, а допустимими інтервалами, застосовувалася методика розрахунку вагових коефіцієнтів функції бажаності згідно з такою формулою:

$$\mu(x) = \exp\left[\frac{-(x-m)^2}{2b^2}\right] \qquad (8)$$

де m – середнє значення показника якості;

b – стандартне відхилення.

Проведено розрахунок інтегральних і вагових показників ключових підсистем та за визначенням середнього значення отримано підсумкову оцінку якості кожного функціонального блоку (табл. 2).

Для оцінювання ступеня, за яким певна характеристика якості АІС відповідає встановленим вимогам, використовуються показники якості [*10*]. Показник якості – це змінна або кілька змінних, значення яких характеризує міру якості ПЗ щодо однієї або кількох істотних властивостей. Як запобіжна відмовостійкість системи можуть використовуватися такі показники: ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$; середнє напрацювання на відмову T_o; гамма-відсоткове напрацювання до відмови T_γ; інтенсивність відмов $\lambda(t)$; параметр потоку відмов $\omega(t)$; середня частка безвідмовного напрацювання $I(t)$; щільність розподілу часу безвідмовної роботи $f(t)$.

Оцінка і забезпечення якості (надійності) АІС включають чотири базових процеси тестування:

– статичні перевірки (етап видачі завдання, етап проєктування);

– динамічне тестування (конфігурування та розробка методики тестування);

– в рамках валідації (етап інсталяції та функціонування);

– у процесі експлуатації (етап приймання та впровадження).

Кожен з цих процесів включає низку підпроцесів. Наприклад, процес статичних перевірок включає підпроцеси інспекцій, оглядів, модельної верифікації та статичного аналізу документів, пов'язаних з розробкою ПС. Кожен з цих підпроцесів має свої особливості, що випливають з практики створення великих систем.

Протягом життєвого циклу, розробки і супроводу АІС тестування здійснюється на різних рівнях. Рівень визначає, який об'єкт або елемент тестованого продукту розглядається в ході перевірки.

На етапі видачі завдання на розробку АІС основним завданням процедури верифікації є перевірка відповідності вимог і даних, що містяться в завданні, положенням керівного документа і документації на програмно-апаратні засоби.

На етапі розробки проєкту АІС основним верифікаційним завданням є перевірка проєктної документації, що визначає прикладну конфігурацію АІС відповідно до вимог замовника. На етапі конфігурації завданням верифікації є перевірка правильності згенерованого коду конфігурації.

На етапі розробки програми і методики тестування АІС основним завданням верифікації є перевірка адекватності програми і методики тестування.

На етапі тестування інсталяції АІС основнім завданням є перевірка того, що АІС буде встановлена відповідно до письмових і попередньо затверджених технічних характеристик (специфікацій). На етапі тестування функціонування АІС перевірка функціонування АІС проводиться відповідно до письмових і попередньо затверджених специфікацій у всіх зазначених робочих діапазонах. На етапі тестування експлуатації АІС завданнями валідації є підтвердження правильності її використання в реальному виробничому середовищі і перевірка реалізації всіх вимог користувачів.

На етапі приймання АІС основним завданням валідації є розгляд наявної документації з проєктування, розробки і тестування АІС, а також експлуатаційної документації з метою визначення відповідності АІС вимогам замовника.

Розглянуті вище роботи включені в окрему процедуру, що входить до компетенції керівництва щодо забезпечення якості. Така процедура детально описує процес виконання цих робіт. Завдяки виконанню всіх дій, описаних вище, отримується ретельно перевірена і налагоджена АІС.

Висновки. Аналіз результатів проведених досліджень та розрахунок інтегральних і вагових показників ключових підсистем згідно із запропонованою методикою свідчить, що запропонований метод оцінювання якості проєкту валідації АІС на базі виробництв/підприємств фармацевтичної галузі дозволяє об'єктивно визначити, наскільки було правильно обрано стратегію валідації, оцінено можливі ризики та сформовано і пройдено верифікаційні випробування. Практичне застосування розробленої методики дозволить підвищити ефективність процесу оцінювання якості АІС, визначення і планування рівнів показників якості з урахуванням мети оцінки і категорії АІС, а також методів оцінювання обраних показників для отримання висновків про реальну якість як окремо взятих підсистем, так і АІС в цілому на всіх етапах життєвого циклу.

Список літератури:

1. Медушевський С.В. Аналіз фаз життєвого циклу автоматизованої інформаційної системи в рамках виконання валідаційних робіт. *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки».* 2016. № 3. С. 50–56.

2. Медушевський С.В. Управління ризиками якості автоматизованої інформаційної системи. *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки».* 2017. № 1. С. 118–123.

3. Скопа О.О. Показники якості та життєві цикли захищених інформаційно-вимірювальних систем. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.* 2013. № 15. С. 192–198.

4. Безменов М.І. Метрики як оцінка моделей якості медичного програмного забезпечення. *Вісник Нац. техн. ун-ту «ХПІ» :* зб. наук. пр. Темат. вип. *: Системний аналіз, управління та інформаційні технології.* 2010. № 9. С. 188–196.

5. Райчев І. Е. Технологія оцінювання характеристик якості програмного забезпечення автоматизованих систем контролю при сертифікаційних випробуваннях : дис. … канд. техн. наук : 05.13.06 ; Національний авіаційний ун-т. Київ, 2005. 187 с.

6. Лісун Я.В. Методичне забезпечення оцінки якості менеджменту промислового підприємства. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. 2007. № 2. С. 94–98.

7. Федін С.С. Розвиток наукових основ забезпечення якості складних виробів в умовах невизначеності : автореф. дис. … докт. техн. наук : 05.01.02 ; Київ. нац. ун-т технологій та дизайну. Київ, 2010. 35 с.

8. Бедеринова О.И. Интегральная оценка качества программных средств. *Arctic Evironmental Research*. 2016. С. 99–106.

9. Марковский А.С. Организация автоматизированного контроля качества в жизненном цикле программных средств критически важных систем. *Интеллектуальные технологии на транспорте. Автоматика. Вычислительная техника.* 2016. № 1. С. 9–15.

Medushevskyi S.V. INTERPRETATION OF METHODS OF TESTING PROCESSES AND INTEGRAL EVALUATION OF THE QUALITY LEVEL OF THE AUTOMATIC INFORMATION SYSTEM VALIDATION

The analysis of the publications of the dynamics of the development of complex technical systems is carried out, and the necessity of development of theoretical and methodical provisions, applied recommendations for the formation and implementation of a standardized and unified method of quality assessment of the AIS validation project on the basis of pharmaceutical industries / enterprises is determined. The principle of integrated quality assessment of automated information system (AIS) is considered. The methodological recommendations of the AIS quality assessment are offered and the algorithm of estimation of the quality level of its components is developed in order to simplify the process of analysis of the test results of each AIS functional block. Within the framework of a separate subsystem of AIS, a description of the indicators is proposed, which consists of the name of the indicator, the formula of calculation, the unit of measure, comparative indicators. AIS quality assessment was performed during the validation process and during the comparative analysis of the verification results against the relevant specifications. For the complex evaluation of the quality of AIS functional blocks under uncertainty, the technique of calculating the weights of the desirability function is applied. The components of the quality assessment and quality assurance processes are considered. Methods of estimating selected indicators are presented to obtain conclusions about the real quality of both individual subsystems and AIS as a whole. The integral indicators and the weighting of the key subsystems have been calculated. It is determined that baseline quality indicators should be used to evaluate the degree to which a specific AIS quality characteristic meets the set requirements. Four AIS quality assessment and quality assurance processes are presented. The stages of life cycle of development and maintenance of AIS testing on different are characterized. The results of verification, validation and testing of the developed models have shown their efficiency and expediency of application in the analysis of dynamic AIS characteristics.

Key words: *validation, verification, lifecycle, information system, testing, quality, specification, project.*

УДК 007.5
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-1/21

Оксанич И.Г.
Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского

СИНТЕЗ АРХИТЕКТУРЫ УПРАВЛЯЕМОЙ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АГЕНТНОГО ПОДХОДА

У роботі запропонований синтез кібернетичної структури керованої системи з порційною подачею технологічного продукту, яка забезпечує можливість виробництва готового продукту із заданими споживчими якостями і в необхідній кількості. Як базовий технологічний процес розглянемо процес перетворення і буферизації деякого вхідного продукту. У керованій системі базовий комплектний механізм і допоміжні технологічні механізми забезпечують можливість перетворення вхідних продуктів на вихідні продукти. Однак, щоб це перетворення було реалізоване, необхідно забезпечити подачу вихідних продуктів на вхід комплектного механізму і реалізувати багато інших функцій, безпосередньо не пов'язаних з функцією перетворення, але без яких операційний процес перетворення не буде реалізований. Це функції управління, які реалізують комплектні механізми управління.

Процес синтезу заснований на використанні у розроблюваній архітектурі простих функціональних механізмів. Для синтезу внутрішньої структури керованої системи використовується модель комплектного механізму перетворювального класу (механізму буферизації), а всі інші технологічні функції та функції управління реалізуються з використанням агентного підходу. Розроблений підхід до синтезу архітектури керованої системи відрізняється тим, що функції забезпечення заданої якості споживчого продукту і функції забезпечення видачі споживчого продукту необхідного обсягу розподілені між спеціалізованими системами (зокрема, системою перетворення та системою буферизації). Подібну структуру можна реалізувати у рамках підприємства й на організаційному рівні, зберігаючи ідеологію буферизації, перетворення, регулювання та контролю. Для цього необхідно, щоб ті функції, які потрібно здійснювати в рамках керованої системи, були явно визначені та регламентовані. Потім ці функції повинні бути розподілені між співробітниками підприємства, що грають роль агентів.

Показано, що у процесі виконання своєї технологічної функції система забезпечує інтерактивну взаємодію процесів перетворення і процесів буферизації з системним оточенням. Обґрунтовано, що така структура є кібернетичною, оскільки заміна базового технологічного механізму на інший технологічний механізм у межах свого класу не призведе до змін у структурі системи управління.

Ключові слова: *система, синтез, архітектура, продукт, механізм.*

Постановка проблемы. Одной из задач кибернетики [1] как науки о системах и системных взаимодействиях является возможность создания общих моделей функциональных систем, поэтому задача синтеза состоит в выявлении архитектуры системы.

Поскольку в любой производственной системе [2] всегда можно установить объекты, которые отвечают как за технологическую часть преобразовательного процесса, так и за управление, то создание системно обоснованной структуры системы сопряжено с рядом трудностей, что свидетельствует о сложности решения этой проблемы.

Например, если рассматривать предприятие, то существующая архитектура его достаточно сложна, поэтому, чтобы упорядочить его деятельность, используют методологии управления MRP, ERP и CRM [3]. Они фактически являются стандартами управления бизнесом и поэтому позволяют планировать производственные ресурсы, логистику предприятия, взаимоотношения с клиентами и тем самым налаживать работу предприятия в целом. Но вопросы синтеза функциональных систем, из которых состоит предприятие, все равно нужно решать.

Система не может быть создана произвольным образом. Она, как и любой биологический организм [4], должна иметь вполне определенную архитектуру, которая определяется естественными законами и законами кибернетики. И хотя сегодня немало сделано в области синтеза различных функциональных систем, но практика показывает [5], что существующие решения все еще далеки от совершенства, поскольку не являются универсальными и не позволяют выйти на синтез единой архитектуры. Это и обусловливает актуальность данного исследования.

Анализ последних исследований и публикаций. Уже давно была замечена общность принципов управления у технических и биологических

объектов. Аналогии между ними обсуждались на страницах научной литературы в рамках кибернетики. В своей книге «Кибернетика» Норберт Винер определяет ее как науку об управлении и связи живых существ и машин.

С появлением понятия «система» стали появляться рассуждения о создании модели функциональной системы, а также концепции синтеза таких систем. Так, в работах П.К. Анохина, А.Д. Цвиркуна и других под синтезом понимали процесс создания новой системы. А в большинстве работ [6–8], посвященных синтезу систем управления, отмечалось, что в общем виде задачи синтеза заключаются в определении структуры и параметров системы, исходя из заданных требований к значениям показателей эффективности ее функционирования.

Несмотря на правильные подходы к синтезу систем, понятийная неопределенность, связанная с исследованием системных объектов, привела к тому, что продолжаются попытки создания общих подходов в методологиях синтеза систем.

В работе [9] для решения задач структурного синтеза применяется метод, учитывающий только комбинаторный характер формирования вариантов синтеза. Полный перебор предполагает предварительный синтез всех возможных вариантов, генерация множества которых осуществляется на основе имеющихся аналогов. Затем для каждого варианта рассчитываются значения параметров, производится выбор, по мнению авторов, наилучшего варианта структуры. В действительности же невозможно синтезировать систему перебором вариантов. В лучшем случае мы сможем получить вариант работоспособной структуры.

Предлагаемый в работе [10] способ синтеза структуры технологического цикла для управляемых производственных систем основан на конечном множестве математических моделей. В качестве инструмента реализации предлагаемого подхода используются динамические имитационные модели. Приводится теоретическое обоснование применения динамической имитации для класса управляемых производственных систем с вероятностными характеристиками их функционирования. На самом деле автором описывается технология применения динамической имитации как способа анализа систем, но сама модель функциональной системы синтезирована не была.

В статье [11] выделены общие методологические подходы к синтезу систем, рассмотрены условия применения и обоснован выбор комбинаторных методов синтеза для решения поставленной задачи. Рассмотрена морфологическая группа методов синтеза. Предложено использование инструментария теории графов для сокращения анализируемых вариантов и учета ограничений на сочетаемость элементов системы.

Как показывает анализ источников [12–14], системный подход в задачах синтеза структуры функциональных систем сводится к моделированию физических процессов преобразования входных продуктов в выходные и построению математической модели таких процессов.

Интерес к вопросам синтеза систем проявляют специалисты экономического профиля [15–17], которые считают, что синтез экономических систем должен включать два таких компонента: обеспечение гибкости при первоначальном синтезе структуры системы, обеспечение последующего поддержания соответствия структуры системы постоянно изменяющимся условиям внешней среды. Но следует заметить, что обратная связь сама по себе не обеспечивает гибкости в условиях изменения внешней среды. Требуются изменения в структуре и архитектуре.

Интересным представляется подход к решению задачи синтеза описания архитектуры информационной системы [18]. Автор предлагает использовать теоретико-игровую модель для решения этой задачи. Им разработаны модели, которые позволяют формализовано описать задачу синтеза одновременно как задачу планирования ИТ-проекта создания информационной системы и как задачу определения рациональной совокупности ИТ-услуг, соответствующих требованиям к создаваемой системе. Предложенное решение позволяет проследить этапы методологии синтеза.

Большой проблемой теории оптимальных систем является излишняя специализация и дифференциация знаний. Эти знания распадаются на узкие дисциплины и, в конце концов, превращаются в огромный свод теоретических сведений, понятных лишь узкому кругу специалистов, их невозможно применить для синтеза структуры любой функциональной системы, поскольку они решают частные задачи. Следовательно, задача определения принципов синтеза управляемых систем является актуальной научной задачей.

Постановка задания. Целью данной работы является синтез кибернетической структуры управляемой системы с порционной подачей технологического продукта, которая обеспечивает возможность производства готового продукта с заданными потребительскими качествами и в необходимом количестве.

Для достижения поставленной цели исследования следует решить такие задачи:

определить объект исследования;

синтезировать структуру управляемой системы с использованием агентного подхода;

показать, что разработанная структура является структурой кибернетического уровня.

Изложение основного материала исследования. Структурный синтез проводится с целью обоснования множества элементов структуры, отношений и связей между ними, характеристик элементов и связей, обеспечивающих в совокупности максимальную степень соответствия заданным требованиям. Процесс синтеза основан на использовании в разрабатываемой архитектуре простых функциональных механизмов.

В качестве базового технологического процесса рассмотрим процесс преобразования и буферизации некоторого исходного продукта. В управляемой системе базовый комплектный механизм и вспомогательные технологические механизмы обеспечивают возможность преобразования входных продуктов в выходные продукты. Однако, чтобы это преобразование было реализовано, необходимо обеспечить подачу исходных продуктов на вход комплектного механизма и реализовать множество других функций, непосредственно не связанных с функцией преобразования, но без которых операционный процесс преобразования не будет реализован. Это функции управления, которые реализуют комплектные механизмы управления.

В работе [19] установлено, что производственный объект будет иметь максимальное количество степеней свободы (возможность достижения максимальной эффективности) в том случае, если его структура представлена в виде комплектной функциональной системы. При этом технологическая часть комплектной системы состоит из механизма преобразовательного класса, выполняющего простую базовую функцию, и механизма буферизации.

Совокупность комплектных технологических механизмов и комплектных механизмов управления образует структуру, которую определим понятием «управляемая система».

Чтобы синтезировать внутреннюю структуру управляемой системы, воспользуемся моделью комплектного механизма преобразовательного класса (механизма буферизации) и реализуем все остальные технологические функции и функции управления с использованием агентного подхода.

Синтезированная структура, реализующая процесс интерактивного взаимодействия технологических механизмов преобразовательного класса и буферизации обрабатываемого (исходного) продукта, представлена на рис. 1.

Агент – это комплектный механизм, который выполняет одну простую технологическую функцию или функцию управления.

При получении от объекта инициализации ON сигнала высокого уровня агент A8, выполняющий функцию ИЛИ, передает это сообщение агенту A9. С другой стороны, источник ZD непрерывно передает агенту A9 информацию, определяющую объем порции исходного продукта (ПНВ), необходимой объекту 1.

Поскольку агент 9, выполняющий функцию координации, получил сигнал разрешения от агента A8, он передает сигнал управления о необходимости подачи порции исходного продукта заданного объема объекту 1. Объект 1, получив сигнал задания, передает МПК требуемую порцию исходного продукта. Агент 1 контролирует процесс подачи и сообщает агенту A2 его результаты. Задача агента 2 – определение момента завершения подачи исходного продукта в МПК. О завершении подачи агент 2 сообщает агенту A3.

Агент 3 непрерывно получает информацию о требуемой интенсивности подачи энергетического продукта от внешнего объекта ZE. Получив сигнал о завершении подачи исходного продукта от агента 2, агент 3 передает информацию объекту 2 о необходимости подачи энергетического продукта с заданной объектом ZE интенсивностью.

Объект 2 начинает подавать энергетический продукт $ЭП_1$ с требуемой интенсивностью в МПК, обеспечивающий преобразование исходного продукта. Начинается процесс преобразования. За изменением параметров энергетического продукта наблюдает агент A4, который передает текущую информацию агенту A5. Агент A5 получает информацию от внешнего источника ET (задание относительно конечного значения параметров энергетического продукта).

Как только текущее значение параметров преобразования исходного продукта достигает заданного значения, агент A5 подает сигнал объектам подачи энергетических продуктов 2 и 3. При этом объект подачи энергетического продукта $ЭП_1$ прекращает подачу энергетического продукта, а объект подачи энергетического продукта $ЭП_2$ начинает подачу энергетического продукта, который поступает в механизм выдачи преобразованного исходного продукта.

Агент A6 контролирует ход процесса выдачи обработанного исходного продукта и сообщает о

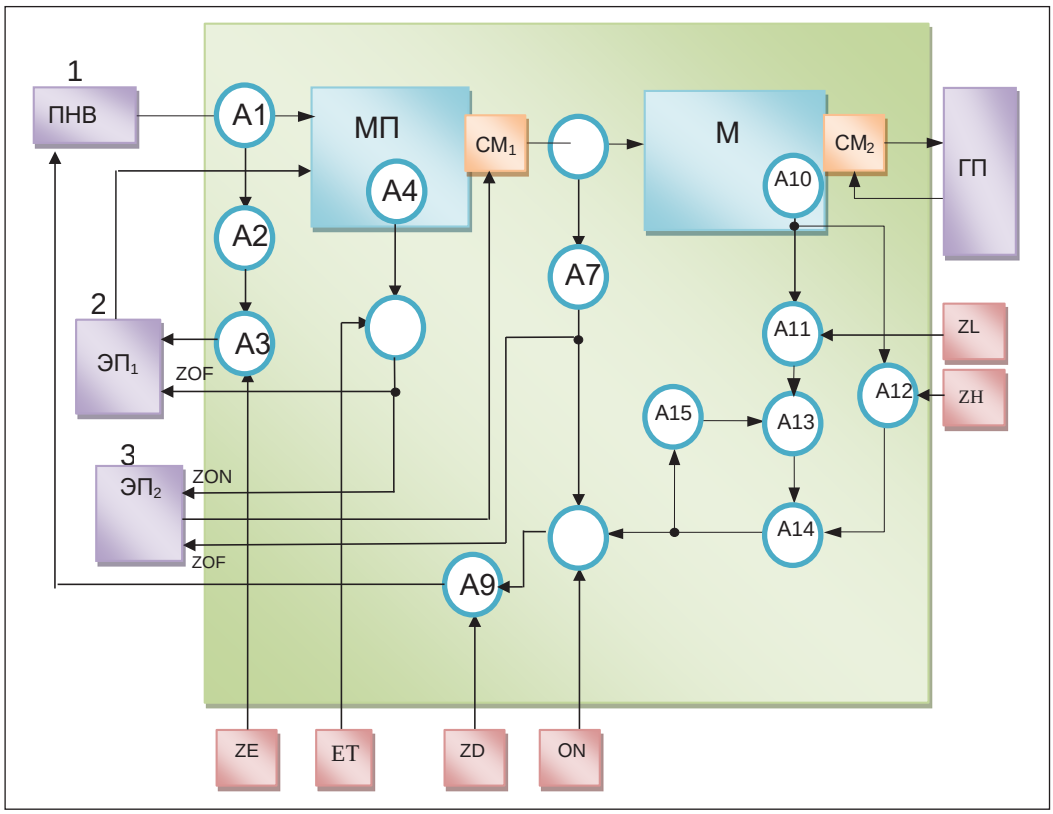


Рис. 1. Модель управляемой системы порционного преобразования исходного продукта: МПК – механизм преобразовательного класса (технологический механизм преобразования исходного продукта); МБ – механизм буферизации (технологический механизм буферизации преобразованного продукта); CM_1 – сервисный механизм выдачи основного продукта; CM_2 – сервисный механизм выдачи готового продукта; A1–A9 – агенты, выполняющие функции управления; ET – объект, который подаёт сигнал задания параметров энергетического продукта; ZE – объект, устанавливающий интенсивность подачи энергетического продукта; ON – объект, формирующий сигнал первого запуска процесса преобразования продукта; ZD – объект, устанавливающий объём порции исходного продукта; ZL – объект, устанавливающий значение нижнего уровня преобразованного продукта; ZH – объект, устанавливающий значение верхнего уровня преобразованного продукта; ZON – сигнал для начала подачи энергетического продукта заданной интенсивности; ZOF – сигнал для прекращения подачи энергетического продукта

его ходе агенту A7, который определяет момент завершения процесса выдачи преобразованного исходного продукта и подает сигнал агенту A8 и объекту 3 подачи энергетического продукта $ЭП_2$. Объект подачи энергетического продукта прекращает подачу электроэнергии в механизм выдачи, а агент A8 передает информацию о завершении операции агенту A9.

В исходном состоянии на выходах агентов A11 и A12 установлены сигналы низкого уровня. Сигнал низкого уровня установлен на входе и выходе агента A14, выполняющего функцию ячейки памяти, а следовательно, на входах агента A8 и агента A15, выполняющего функцию НЕ.

Агент A10 контролирует текущий уровень преобразованного продукта в механизме буферизации и сообщает о его уровне агентам A11 и A12, которые сравнивают его с эталонным значением нижнего уровня ZL и эталонным значением верхнего уровня ZH. Если текущий уровень запасов меньше нижнего уровня ZL, то агент A11 подает сигнал высокого уровня агенту A13. Поскольку на выходе агента A15 установлен сигнал высокого уровня, то через агента A13 сигнал поступает агенту A14 и агенту A8, выполняющему функцию ИЛИ, на выходах которых устанавливаются сигналы высокого уровня.

Как только уровень преобразованного продукта достигает верхнего уровня ZH, на выходе агента A12 формируется сигнал высокого уровня, который поступает агенту A14 и обнуляет ячейку памяти. В результате низкий уровень выходного сигнала агента A14 блокирует прохождение сигналов агента A8.

Поскольку пополнение запасов прекращается, уровень основного продукта снижается и в определенный момент времени достигает нижнего уровня. С другой стороны, на входе агента А13 устанавливается сигнал высокого уровня. На выходе агента А11 формируется сигнал высокого уровня, и процесс начинается сначала.

Рассмотрим, как изменится управление преобразовательным процессом такой системы в зависимости от уровня запасов системы буферизации.

Системы буферизации (далее – СБ) выполняют несколько важных функций. На выходе такой системы потребитель с высокой степенью вероятности может получить продукт без задержки и с требуемыми количественными параметрами.

Выбор верхнего уровня запасов в такой системе связан с последствиями потерь первого пуска систем преобразовательного класса (далее – СПК) и связыванием запасов готового продукта. Чем выше верхний уровень запасов, тем меньше приведенные потери первого пуска, но больше объем балластных запасов готовой продукции, поэтому при повышении верхнего уровня запасов эффективность системы вначале повышается, а затем достигает максимума и начинает снижаться.

При определенном уровне запасов связывание большого количества ценностей в системе буферизации оказывает большее отрицательное влияние на эффективность системы, чем снижение издержек первого пуска СПК.

Таким образом, в ситуации, когда производительные возможности СПК превышают средний уровень спроса, а уровень запасов СБ близок к верхнему уровню, оптимизация операционных процессов системы должна осуществляться по критерию максимума добавленной стоимости.

При этом режим пониженной производительности СПК приводит к отрицательным последствиям тогда, когда уровень запасов в СБ достигает нижней отметки. В этот момент система буферизации формирует сигнал для СПК на пополнение запасов.

Однако на интервале времени, пока СПК осуществляет первую, самую продолжительную операцию цикла пополнения запасов, уровень запасов СБ продолжает снижаться. Следовательно, чем ниже производительность системы преобразовательного класса, тем выше должен быть нижний уровень запасов системы буферизации.

Другими словами, при достижении нижнего уровня запасов системы буферизации система преобразовательного класса функционирует в режиме максимальной производительности.

Система преобразования с порционной подачей/выдачей сырьевых продуктов в комплексе с системой буферизации технологического продукта обеспечивает возможность независимого изменения подачи энергетического продукта при независимой установке в системе буферизации страхового запаса и верхнего уровня запасов. При этом обеспечивается возможность передачи готового продукта с заданными потребительскими качествами и в необходимом количестве системе потребления.

В рамках предложенной управляемой системы возможно независимое изменение таких переменных:

– объема подаваемого исходного продукта на вход системы преобразования;

– интенсивности подачи энергетического ресурса;

– нижней и верхней границы уровня продукта в системе буферизации. Границы регулируются независимо.

Предлагаемая структура относится к классу обобщенных кибернетических систем с четырьмя степенями свободы. Это обеспечивает повышение оптимизационных возможностей управления [20].

Подобную структуру можно реализовать в рамках предприятия и на организационном уровне, сохраняя идеологию буферизации, преобразования, регулирования и контроля. Для этого необходимо, чтобы те функции, которые требуется осуществлять в рамках управляемой системы, были явно определены и регламентированы. Затем эти функции должны быть распределены между сотрудниками предприятия, играющими роль агентов.

Выводы. Синтезирована архитектура управляемой системы, отличающаяся тем, что функции обеспечения заданного качества потребительского продукта и функции обеспечения выдачи потребительского продукта требуемого объема разделены между специализированными системами (системой преобразования и системой буферизации).

Показано, что в процессе выполнения своей технологической функции система обеспечивает интерактивное взаимодействие процессов преобразования и процессов буферизации с системным окружением.

Обосновано, что такая структура является кибернетической, поскольку замена базового технологического механизма на другой технологический механизм в рамках своего класса не приведет к изменениям в структуре системы управления.

Список литературы:

1. Gershenson C., Csermely P., Érdi P., Knyazeva H., Laszlo A. The Past, Present and Future of Cybernetics and Systems Research. *Systems connecting matter, life, culture and technology.* 2013. Vol. 1, Iss. 3. P. 4–13.
2. Фатхутдинов Р.А. Организация производства. Москва : ИНФФРА-М, 2004. 344 с.
3. Елашкин М. SAP Business One. Строим эффективный бизнес. Москва : КУДИЦ-ПРЕСС, 2007. 236 с.
4. Анохин П.К. Кибернетика функциональных систем Москва : Медицина, 1998. 400 с.
5. Питерс Т., Уотермен Р. В поисках совершенства. Уроки самых успешных компаний Америки. Москва : Альпина Паблишерз, 2010. 528 с.
6. Дивеев А.И., Пупков К.А., Софронова Е.А. Синтез системы управления – задача тысячелетия. *Вестник РУДН. Серия «Инженерные исследования»*. 2011. № 2. С. 113–124.
7. Ободовський Ю.В. Синтез структур управління. *Науковий вісник Ужгородського національного університету.* 2016. Вип. 7, ч. 2. С. 142–144.
8. Lutsenko I. Systems engineering of optimal control. Synthesis of the structure of the technological product conversion system (part1). *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2014. Vol. 6, Iss. 2 (72). P. 29–37.
9. Шахова Н.Д. Методика параметрического синтеза замкнутой системы управления. *Труды Братского государственного университета. Серия «Естественные и инженерные науки»*. 2008. Т. 1. С. 93–96.
10. Смородин В.С. Синтез структуры технологического цикла управляемых производственных систем. *Проблемы физики, математики и техники.* 2012. № 2 (11). С. 108–111.
11. Минц А.Ю. Методы синтеза структуры интеллектуальных систем принятия решений. *Проблеми системного підходу в економіці.* 2017. Вип. 2. С. 158–163.
12. Родионов И.Б. Теория систем и системный анализ. Москва : Наука. 2007. 229 с.
13. Коптев В.Ю. Структурная оптимизация транспортных систем. *Наука, техника и образование.* 2015. № 4 (10). С. 108–110.
14. Fenghui W., Ming Y., Ruqing Y. Simulation of Multi-Agent based Cybernetic Transportation System. *Simulation Modelling Practice and Theory*. 2008. Vol. 16, Iss. 10. P. 1606–1614.
15. Щепетова С.Е. Синтез гибких экономических систем. *Стратегии бизнеса.* 2014. № 1(3). С. 9–12.
16. Игнатьева А.В., Максимцов М.М. Исследование систем управления. Москва : ЮНИТИ-ДАНА, 2010. 157 с.
17. Васин С.М. Структура экономической системы: от традиционной промышленности к виртуальному производству. *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион.* 2013. № 3 (27). С. 208–216.
18. Evlanov M. Development of the model and method of selecting the descripting of rational architecture of information systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2016. Vol. 1, Iss. 2 (79). P. 4–12.
19. Оксанич И.Г.Обоснование использования системного подхода в задачах синтеза структуры функциональных систем. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського.* 2018. № 5 (112). С. 52–58.
20. Lutsenko I. Optimal control of systems engineering. Development of a general structure of the technological conversion subsystem (part 2). *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2015. Vol. 1. Iss. 2 (73). P. 43–50.

Oksanych I.G. SYNTHESIS OF CONTROL SYSTEM ARCHITECTURE USING AN AGENT APPROACH

The paper proposes the synthesis of the cybernetic structure of a controlled system with a batch supply of a technological product. The process of rebuilding and buffering an active product is discerned as basic technological process. At a controlled system basic complete and additional technological mechanisms are ensure possibility of conversion of input products to output products. For conversion assurance we need to secure the products flow to the input of complete mechanism and to realize set of function unconnected to conversation function, but needed to ensure conversation process. This set of function is control functions of complete control mechanisms.

The cybernetic structure provides the possibility of producing a finished product with the given consumer qualities and in the required quantity. The synthesis process is based on using simple functional mechanisms in the developed architecture. The complete conversion class mechanism model, the buffering mechanism is used to synthesize the internal structure of the controlled system. Other technological and control functions are implemented using the agent approach. The synthesis approach of control system architecture is proposed. Developed approach is characterized by dividing the functions of specified consumer product quality ensuring and the functions of consumer product delivery in required volume ensuring between specialized systems (conversion system and buffering system). The similar structure can be realized in organization framework and in organizational level keeping ideology of buffering, conversation, regulation and control. For providing of the similar structure the function set of control system must be determined and regulated. The determined function set need to distribute between company staff. In this case company staff is used as agents.

The system provides an interactive interaction of conversion processes and buffering processes with the system environment under ones technological function processing. The cybernetic character of developed system is proved by constant control system structure under replacement of a basic technological mechanism with another technological mechanism.

Key words: *system, synthesis, architecture, product, mechanism.*

УДК 001.891:65.011.56
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-1/22

Повхан І.Ф.
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

ОСОБЛИВОСТІ ВИПАДКОВИХ ЛОГІЧНИХ ДЕРЕВ КЛАСИФІКАЦІЇ В ЗАДАЧАХ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ

Робота піднімає важливе питання теорії розпізнавання образів – застосування методів та алгоритмів побудови випадкових логічних дерев класифікації. Розглядаються принципові особливості випадкових дерев класифікації, тобто логічних дерев, у яких вибір (генерація) вершин на довільному етапі побудови дерева відбувається випадково. Алгоритм, запропонований в роботі, дозволяє як будувати випадкові логічні дерева, так і генерувати цілі набори (множини) логічних дерев різної структури (складності), серед яких можна вибирати найбільш оптимальне для даної задачі. Підкреслюється важливість застосування випадкових логічних дерев для розв'язання задач розпізнавання образів, відбору (та можливої перебудови) найбільш ефективного дерева серед множини побудованих випадкових логічних дерев.

У роботі фіксується, що випадкові логічні дерева мають як свої суттєві переваги (програмна простота побудови дерева класифікації, зменшення часу загальної генерації логічного дерева, можливість оцінки та вибору найбільш підходящого дерева класифікації з множини побудованих), так і недоліки (неоптимальність структури, апаратні витрати на генерацію неоптимального дерева класифікації, гарантована складність структури та велика інформаційна місткість, необхідність додаткового етапу оцінки та відбору). Простий, ефективний та економний метод побудови випадкового логічного дерева класифікації навчальної вибірки дозволяє забезпечити необхідну швидкодію, рівень складності схеми розпізнавання, що гарантує проведення простого та повного розпізнавання дискретних об'єктів.

У роботі розглядаються деревоподібні схеми розпізнавання.

Ключові слова: *розпізнавання дискретних об'єктів, логічні дерева класифікації, функція розпізнавання, навчальна вибірка, алгоритм випадкового дерева.*

Постановка проблеми. Задачі, які об'єднуються тематикою розпізнавання образів, дуже різноманітні. Зараз не існує універсального підходу до їх розв'язання, але запропоновано декілька досить загальних теорій, що дозволяють вирішувати багато типів задач, проте їх прикладні застосування відрізняються досить великою чутливістю до специфіки самої задачі. Важливим та перспективним напрямом розв'язання задач розпізнавання є методи та алгоритми, які будуються на основі моделей логічних дерев класифікації (далі – ЛДК) [1; 2; 3]. Багато теоретичних результатів отримано для спеціальних випадків та підзадач, але слід зазначити, що вузьким місцем вдалих реальних систем розпізнавання залишається необхідність виконання величезного об'єму обчислень. Так, станом на сьогодні відомі різні алгоритми побудови логічних дерев класифікації, які зводяться до побудови одного дерева класифікації за даними фіксованої навчальної вибірки (далі – НВ) [4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Інтерес до методів розпізнавання, які використовують під час побудови ЛДК, викликаний низкою корисних властивостей, якими вони володіють. Так, функції розпізнавання ЛДК дозволяють виділити у процесі класифікації як причинно-наслідкові зв'язки (та врахувати їх), так і фактори випадковості або невизначеності, тобто врахувати водночас і функціональні, і стохастичні відношення між властивостями і поведінкою системи. Було встановлено, що процес класифікації нових, тобто таких, що досі не траплялися, об'єктів світу тварин і людей (за винятком об'єктів, інформація про які передається генетичним шляхом (спадково), а також в деяких інших випадках), відбувається саме за так званим логічним деревом. Відзначимо також основний недолік в питанні побудови ЛДК – відсутність алгоритмів та методів, котрі би дозволили одноманітно описувати різні алгоритми розпізнавання образів у вигляді ЛДК.

Представлення функції розпізнавання (правила класифікації) у вигляді логічного дерева має великі переваги порівняно з іншим представленням схем класифікації [5]. Зауважимо, що запропонований алгоритм генерації випадкових дерев класифікації за даними навчальної вибірки доповнює методологію підходу розгалуженого вибору ознак та дозволяє будувати прості та ефективні

правила класифікації дискретних об'єктів [6]. У роботі зупинимось саме на описі особливостей та алгоритму побудови випадкових ЛДК для масиву даних НВ.

Постановка завдання. Метою статті є вивчення особливостей випадкових логічних дерев класифікації в задачах розпізнавання образів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Нехай є задана множина M об'єктів w, а на ній існує розбиття R на кінцеве число підмножин (класів, образів) $|_i$, $(i = 1,\dots m)$, $M = \cup_{i=1}^{m} \Omega_i$. Припустимо, що розбиття M визначене неповністю. Задана тільки деяка інформація I про класи $|_i$. Об'єкти w задаються значеннями ознак x_j, $j = 1,\dots, n$ (цей набір такий самий для всіх об'єктів, тобто існує однакова розмірність об'єктів). Функція $f_R(w)$, яка задає розбиття R, задана на множині об'єктів M та дає на виході номер класу i, яку ми будемо називати функцією розпізнавання (далі – ФР). Зауважимо, що кожний образ (клас) характеризується певною спільністю деяких властивостей його елементів (об'єктів), а елементи з різних образів не мають цієї спільності. Загальна задача розпізнавання полягає в тому, щоб для довільного об'єкта w встановити його належність до певного класу (образу). Множини $|_i$ також називаються компонентами розбиття множини M.

Сукупність значень ознак x_j визначає опис (інформацію) $I(w)$ об'єкта w. Кожна з ознак може приймати значення з різних множин допустимих значень ознак. Задача розпізнавання стандартної інформації полягає в тому, що для фіксованого об'єкта w та набору класів $\Omega_1,\dots,\Omega_m$ за допомогою навчальної інформації $I(\Omega_1,\dots,\Omega_m)$ та опису $I(w)$ необхідно розрахувати значення деяких предикатів $P_i(w),(w \in \Omega_i; i = 1,\dots,m)$.

Нехай є розбиття R та деяка система розпізнавання Q. Система Q може бути представлена людиною або програмно-апаратною системою (системою операцій або логічних елементів). Задача розпізнавання образів буде зводитися до навчання системи Q обчислювати функцію $f_R(x)$, тобто система має реагувати під час подачі на вхід деякого сигналу (об'єкту) x сигналом $f_R(x)$ (фактичним номером класу належності). Основною інформацією під час навчання системи Q є значення функції $f_R(x)$ в деяких точках n-мірного простору (розмірність складає кількість ознак об'єктів множини M). Останнє означає, що при навчанні системи Q їй подаються пари сигналів $(x_i, f_R(x_i))$. На основі даної інформації (апріорної інформації) система Q будує схему обчислення $f_R(x)$.

У роботі ставиться задача дослідження особливостей таких методів розпізнавання, які би давали можливість у процесі навчання побудувати просту деревоподібну схему розпізнавання (схему у вигляді випадкового ЛДК), яка забезпечує необхідну ефективність та складність системи Q.

Питання особливостей випадкових логічних дерев класифікації. У даному дослідженні пропонується підхід, що дозволяє за допомогою єдиної методики одноманітно описувати та автоматично створювати (забезпечувати програмну генерацію) достатньо широкі класи алгоритмів розпізнавання дискретних об'єктів на основі ЛДК. Розглянемо особливості випадкових дерев класифікації, тобто ЛДК, в яких вибір (генерація) вершин на довільному етапі побудови дерева відбувається випадково.

Нехай є задані набори об'єктів НВ, ТВ, якісна оцінка кожної ознаки (ціна, якість), мінімальний час, необхідний для проведення класифікації, максимально допустима складність правил класифікації. У цих умовах потрібно знайти (синтезувати) таке правило класифікації (декілька правил класифікації) у вигляді ЛДК, побудоване за даними НВ, котре дає мінімальну кількість помилок на НВ в умовах дії зовнішнього середовища та здатне швидко адаптуватися до цих умов. Відзначимо, що в даній задачі ніякі обмеження на НВ та ТВ не накладаються, тобто ознаки можуть мати довільну природу (бути різнотипними), об'єм НВ та ТВ також довільний.

Далі залежно від природи (типу) ознак розглядаються два шляхи розв'язку даної задачі:

1) випадок, коли ознаки приймають бінарні значення;

2) випадок, коли ознаки мають різнотипну природу.

Зазначимо, що другий випадок можна звести до першого, застосувавши спеціальний алгоритм кодування. Зауважимо, що при цьому часто виникають досить великі втрати інформації. Це негативно впливає на якість розпізнавання, і взагалі якісне та правильне кодування початкової НВ є нетривіальною задачею, від якої напряму залежать наступні етапи побудови ЛДК.

Розглянемо новий тип алгоритмів кодування початкової інформації $I(l)$, що дозволяють закодувати НВ у такий спосіб, що якщо класи у вихідному описі не перетинаються, то і після кодування вони перетинатися не будуть (умова несуперечливості при кодуванні). Крім того, при цьому відбувається часткове виявлення певних властивостей (логічних закономірностей) об'єктів початкової вибірки.

Запропонований тип алгоритмів кодування базується на такій ідеї: оскільки об'єкти НВ становлять деякі точки n-вимірного простору, то завжди за умови вихідної відмінності між класами ми можемо ввести n-вимірний простір, обмежений можливими значеннями ознак, площинами, у n-вимірні гіперпаралелепіпеди (гіперкуби) так, щоби точки (об'єкти) з різних класів не потрапляли в той самий гіперпаралелепіпед (тобто провести геометричне розділення класів) [7]. На наступному етапі кожному гіперпаралелепіпеду в n-вимірному просторі можна поставити у відповідність певний двозначний код. Ці двозначні коди залежно від того, куди потрапляють об'єкти НВ та ТВ, визначають набір бінарних ознак задачі розпізнавання образів. Замість гіперпаралелепіпедів можна взяти гіпереліпси або гіперсфери, а відповідні ефективні алгоритмічні реалізації можна взяти з роботи [8], де вони пройшли необхідну прикладну апробацію.

Розглянемо загальну методику побудови різних випадкових ЛДК та їхні переваги перед відомими алгоритмами класифікації у вигляді ЛДК.

Під час побудови правил класифікації (схем) у вигляді ЛДК за допомогою відомих алгоритмів, як правило, буде отримано одне фіксоване ЛДК. Вибір ознак в ту або іншу вершину ЛДК відбувається цілеспрямовано, використовуються ті або інші критерії (функціональні оцінки) важливості ознак [9]. Проте найважливіші ознаки, визначені за даними НВ, можуть виявитися не такими важливими в реальному процесі.

Так, у роботі [4] були розглянуті дві алгоритмічні реалізації побудови ЛДК на основі методу розгалуженого вибору ознак. Вибір ознак здійснювався в першому випадку на основі функціональної оцінки якості ознак на кожному кроці, а в другому випаду для економії ресурсів та зменшення часу генерації ЛДК – лише на початку роботи алгоритму з відбором ознак від найбільш до найменш інформативних. Ми пропонуємо алгоритм (схему) побудови випадкового ЛДК, тобто дерева, ознаки в вершинах якого у процесі його побудови відбираються у випадковий спосіб (випадковим програмним генератором PRG). Запропонуємо одну з можливих алгоритмічних реалізацій побудови випадкового ЛДК.

Загальна схема алгоритму побудови випадкового ЛДК. *Крок 1.* Нехай є задана НВ об'ємом m об'єктів розмірності n відомої класифікації. Необхідно за даної початкової інформації та за допомогою деякого випадкового програмного генератора PRG побувати ЛДК, яке дозволяє однозначно класифікувати об'єкти НВ. На першому етапі з використанням PRG вибирається початкова вершина ЛДК та будуються відповідні стрілки (дуги), які виходять з вершини даного дерева. У лічильник об'єктів НВ записується одинця. В ідентифікатор ЛДК, що будується, записується перша згенерована вершина.

Крок 2. За допомогою лічильника НВ аналізується поточний об'єкт, тобто проставляються відповідні значення ознак в гілках дерева за умови, що кількість ярусів не більша від кількості ознак об'єкта, а в іншому разі в кінцевій вершині проставляється значення функції розпізнавання для поточного об'єкта. Перевіряються значення лічильника НВ на m: якщо значення збігаються, то робота алгоритму передається на *Крок 4*.

Крок 3. За допомогою PRG генерується наступна вершина ЛДК за умови, що кількість ярусів не більша від кількості ознак об'єкта, яка також записується в ідентифікатор дерева. Керування передається на *Крок 2*. Якщо кількість ярусів ЛДК дорівнює n, то проводимо інкремент лічильника НВ, потім керування передається на *Крок 2*.

Крок 4. Роботу алгоритму завершено, ЛДК побудовано, а в ідентифікаторі дерева зберігається послідовність вершин, які характеризують дане дерево.

Цей алгоритм досить легко реалізується програмним шляхом. За його допомогою для кожної конкретної задачі розпізнавання ми можемо побудувати деяку множину ЛДК та серед них вибрати саме те дерево (декілька ЛДК), котре задовольнить поставлені вимоги.

Зауважимо, що в пам'яті комп'ютера ми не зберігаємо побудовані випадкові ЛДК, а тільки деякий вектор-характеристику (ідентифікатор) цього ЛДК, наприклад, число, знаючи яке, ми знов можемо побудувати це ЛДК та деякі важливі його характеристики (ефективність на ТВ, складність, максимальний час прийняття рішень у процесі експлуатації тощо). Отже, побудувавши програмно деяку фіксовану множину випадкових ЛДК та сформувавши їх ідентифікатори, ми маємо деяку передісторію. На основі цієї передісторії ми можемо застосовувати ідею цілеспрямованого пошуку для наступної побудови ЛДК та знаходження таких, які задовольняють поставлені вимоги.

Зауважимо, що даний підхід можна застосувати для побудови випадкових k – значних ЛДК. Крім того, можна розглядати випадкові ЛДК, у вершинах яких розміщені не окремі ознаки, а

довільні алгоритми розпізнавання (алгоритмічне дерево класифікації), але у такому разі для успішного програмного моделювання необхідно мати модулі цих алгоритмів [4]. Створюється новий спосіб практичного використання вже відомих алгоритмів (методів) розпізнавання з автоматичним визначенням площин їх компетентності, що є важливою умовою використання правил класифікації [5].

Подібне застосування алгоритмів розпізнавання використовується в програмній системі ОРИОН ІІІ, де алгоритми розпізнавання в вершинах АДК обиралися за деякими критеріями, визначеними на основі початкових даних НВ [10].

Висновки. Випадкові ЛДК мають як суттєві переваги (програмна простота побудови дерева, зменшення часу загальної генерації ЛДК, можливість оцінки та вибору найбільш задовільного ЛДК з множини побудованих), так і недоліки (неоптимальність структури, апаратні витрати на генерацію неоптимального ЛДК, гарантована складність структури та велика інформаційна місткість, наявність додаткового етапу оцінки та відбору).

Алгоритм побудови випадкового ЛДК дозволяє генерувати цілі набори (множини) дерев класифікації різної структури (складності), серед яких можна обирати найбільш оптимальне для даної задачі.

Зауважимо, що важливим питанням в застосуванні випадкових ЛДК є питання вибору (та можливої перебудови) найбільш ефективного дерева серед множини побудованих випадкових ЛДК.

Алгоритм побудови випадкового логічного дерева, який був описаний вище, разом з алгоритмом з покроковою оцінкою важливості дискретних ознак та алгоритмом одноразової оцінки важливості дискретних ознак утворює основну трійку алгоритмів розпізнавання методу розгалуженого вибору ознак під час побудови логічних дерев класифікації [1].

Відзначимо також, що для зберігання фактичної структури побудованого випадкового ЛДК використовується лише програмний ідентифікатор (паспорт) логічного дерева, який містить лише фактичну послідовність вершин (змінних) в даному дереві, що є ресурсно-економним способом представлення таких складних структур даних. Даний алгоритм генерації випадкових ЛДК реалізований у бібліотеці алгоритмів та класифікаторів РО програмного комплексу системи ОРИОН ІІІ.

Список літератури:

1. Повхан І.Ф. Метод розгалуженого вибору ознак в математичному конструюванні багаторівневих систем розпізнавання образів. *Штучний інтелект :* науково-технічний журнал. 2003, № 7. С. 246–249.

2. Quinlan J.R. Induction of Decision Trees. *Machine Learning*. 2008, № 1, P. 1−81. 22.

3. Василенко Ю.А., Повхан І.Ф., Ващук Ф.Г. Проблема оцінки складності логічних дерев розпізнавання та загальний метод їх оптимізації. *European Journal of Enterprise Technologies* : науково-технічний журнал. 2011, 6/4 (54). С. 24–28.

4. Повхан І.Ф., Василенко Ю.А., Василенко Е.Ю. Концептуальна основа систем розпізнавання образів на основі методу розгалуженого вибору ознак. European Journal of Enterprise Technologies : науково-технічний журнал. 2004. № 7 (1). С. 13–15.

5. Povhan I. Designing of recognition system of discrete objects. *IEEE First International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP)*, Lviv. 2016, Ukraine, P. 226–231.

6. Povhan I. General scheme for constructing the most complex logical tree of classification in pattern recognition discrete objects. *Електроніка та інформаційні технології :* збірник наукових праць. Львів. 2019. Випуск 11. С. 112–117.

7. Vasilenko E.Yu., Kuhayivsky A.I., Papp I.O., Vasilenko Yu. Construction and optimization of recongnizing systems. *Інформаційні технології і системи* : науково-технічний журнал. Львів. 1999. № 1 (Т. 1). С. 122–125.

8. Василенко Ю.А., Повхан И.Ф. Апроксимация обучающей выборки гиперпараллелепипедами. *Науковий вісник УжДПЕП.* 1998. № 2. С. 9–17.

9. Повхан І.Ф., Василенко Ю.А. Групова та індивідуальна оцінка важливості бульових аргументів. *Вісник національного технічного університету «ХПІ»*. 2011. № 53. С. 57–64.

10. Повхан І.Ф. Проблема функціональної оцінки навчальної вибірки в задачах розпізнавання дискретних об’єктів. *Вчені записки Таврійського національного університету. Серія «Технічні науки».* 2018. Том 29 (68). № 6. С. 217–222.

Povkhan I.F. FEATURES OF RANDOM LOGICAL CLASSIFICATION TREES IN PATTERN RECOGNITION PROBLEMS

The work raises an important question of pattern recognition theory – the use of methods and algorithms for constructing random logical classification trees. The principal features of random classification trees are considered, i.e. logical trees in which the selection (generation) of vertices at an arbitrary stage of tree construction occurs randomly. The algorithm proposed in this paper allows the construction of a random logical tree, and generate whole sets of logical trees of different structures (complexity), among which you can choose the most optimal for this problem. Emphasizes the importance of the issue in the application of random Boolean trees for the solution of pattern recognition problems – the question of selection (and possible adjustment) is the most efficient tree among the many built of random logical trees.

The work is recorded that random logical tree has its significant advantages (software, the ease of construction of a classification tree, reducing the time of the generation of the logical tree, the ability to evaluate and select the most appropriate classification tree from the set was built) and significant drawbacks (not the optimal structure, the hardware cost of generation is not the optimal classification tree, guaranteed by the complicated structure and large information capacity, the need for additional evaluation phase and selection). A simple, efficient, cost-effective method of constructing a random logical classification tree training sample allows you to provide the necessary speed, the level of complexity of the recognition scheme, which guarantees a simple and complete recognition of discrete objects.

The paper deals with tree-like recognition schemes.

Key words: *recognition of discrete objects, logical classification trees, recognition function, training sample, algorithm is a random tree.*

УДК 621.039.534
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-1/23

Полушкін Є.М.
Одеський національний політехнічний університет

Беглов К.В.
Одеський національний політехнічний університет

МОДЕЛЮВАННЯ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ЕНЕРГОБЛОКУ АТОМНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ІЗ ВВЕР-1000 В РЕЖИМІ «К»

У енергосистемі України існує невідповідність між виробленням і споживанням електричної енергії протягом добового циклу, а сумарна частка установок, призначених для регулювання навантаження енергосистеми, дуже мала, тому актуальною є адаптація діючих енергоблоків атомних електростанцій до нових специфічних умов шляхом створення автоматизованої системи управління потужністю енергоблоку в маневрених режимах. Усі українські атомні електростанції з ВВЕР-1000 експлуатуються в режимі стабілізації потужності енергоблоку на заданому рівні, хоча обладнання першого контуру допускає експлуатацію в режимах маневрування потужністю.

Висока надійність і безпека енергоблоку – це основні вимоги, які пред'являються під час експлуатації енергоблоку в маневреному режимі. Запорукою надійної і безпечної експлуатації енергоблоку є стійкість реактора при збуреннях як під час роботи на постійному рівні навантаження, так і в маневреному режимі.

Під час роботи енергоблоку на постійному рівні потужності програма регулювання не грає важливої ролі. Однак в маневрених режимах вибір програми регулювання може мати вагомий вплив на експлуатаційні характеристики енергоблоку і роботу його обладнання.

Автоматичний регулятор потужності є невід'ємною частиною системи управління потужністю енергоблоку і призначений для підтримки потужності реактора відповідно до навантаження турбінного генератора.

Сьогодні регулювання потужності енергоблоку з реакторами ВВЕР здійснюється саме за допомогою автоматичного регулятора потужності реактора (АРП) і регулятора турбіни (РТ). Регулятор потужності реактора забезпечує такі режими роботи:

– режим астатичної підтримки теплотехнічного параметра (тиску пари перед турбіною) впливом на реактор («Т»);

– режим астатичної підтримки нейтронної потужності («Н»);

– режим підтримки теплотехнічного параметра за компромісною програмою впливу на реактор («К»);

– режим очікування підтримки теплотехнічного параметра впливом на реактор («С»).

Комбінована (компромісна) програма регулювання енергоблоків ВВЕР-1000 призначена для використання переваг інших програм. Програма регулювання з постійною середньою температурою теплоносія в першому контурі найбільш сприятлива для обладнання першого контуру, а програма регулювання з постійним початковим тиском пари в другому контурі – для парогенераторного обладнання та паропроводів другого контуру. Прагнення найбільшою мірою використовувати переваги кожної з цих програм регулювання, послабивши за можливості їх недоліки, призвело до того, що в деяких випадках використовують як компромісне рішення комбіновані програми регулювання.

Отже, стаття присвячена вивченню властивостей регулятора потужності.

Ключові слова: *атомна електростанція (АЕС), енергія, автоматичний регулятор потужності, режим роботи, комбінована програма регулювання.*

Постановка проблеми. У енергоблоці, що працює на електричну мережу, відбувається перетворення теплової енергії, що виробляється в ядерному реакторі, в механічну енергію вала турбіни і потім в електричну енергію в генераторі. Це показано на рис. 1.

Енергосистема України має невідповідність між виробленням і споживанням електроенергії, що видно на рис. 2.

Це пояснюється тим, що протягом доби споживання і вироблення електроенергії не відповідають одне одному. Отже, стає актуальною задача

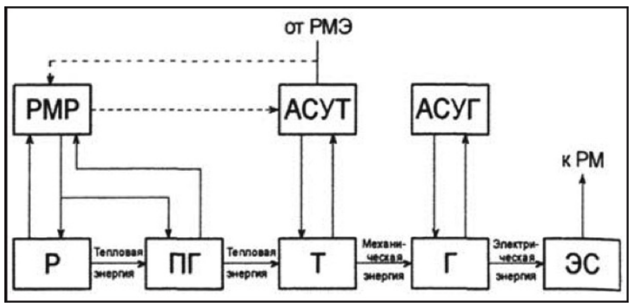


Рис. 1. Схема перетворення енергії та регулювання енергоблоку

підтримки балансу між споживанням і виробленням електроенергії протягом доби. Єдиним джерелом інформації про величину невідповідності вироблення електроенергії її споживанню є відхилення частоти в енергосистемі від її номінального значення. Завдання регулювання частоти і потужності в енергосистемі вирішують регулятори частоти і потужності турбіни і регулятор потужності енергосистеми. За незмінної частоти мережі потужність турбіни цілком певна, а для її зміни необхідно змінювати завдання регулятора частоти обертання. Для цього турбіни оснащені механізмом керування турбіною. Система автоматизованого управління потужністю енергоблоку включає регулятори тиску пари, частоти і потужності реактора і турбіни.

Сьогодні в енергосистемі України енергоблоки АЕС використовують для покриття базового навантаження в добовому графіку навантаження енергосистеми. Для покриття напівпікових і пікових навантажень енергосистеми використовують гідроакумулюючі електростанції, однак нині цього недостатньо, тому необхідно або будувати більшу кількість гідроакумулюючих електростанцій, але це неможливо, або використовувати енергоблоки АЕС в маневреному режимі для часткового регулювання електроенергії. Наприклад, розвантаження на 20% АЕС, на якій встановлено 6 блоків по 1000 МВт, дає такий самий ефект, що і повна зупинка блоку теплової електростанції 1200 МВт. Отже, маневруючи потужністю енергоблоку АЕС, можна буде підтримувати баланс потужності в енергосистемі України.

Режим маневрування реалізується за статичними програмами регулювання. Статичні програми регулювання – це залежності технологічних параметрів енергоблоку від потужності в усталених режимах.

Під час експлуатації АЕС застосовують 4 основні статичні програми регулювання енергоблоків з ВВЕР-1000:

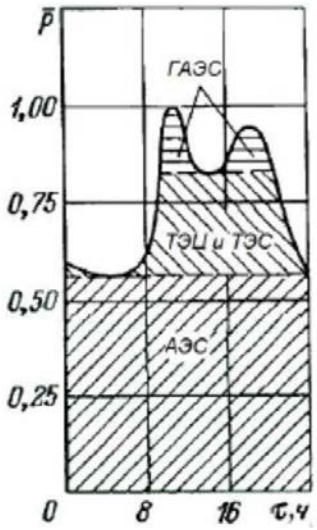


Рис. 2. Графік навантаження енергосистеми: τ – години доби, Р – споживана потужність

1) програма регулювання потужності енергоблоку з постійною середньою температурою теплоносія в 1-му контурі;

2) програма регулювання потужності енергоблоку з постійним тиском у 2-му контурі;

3) компромісна (комбінована) програма регулювання потужності енергоблоку;

4) програма регулювання потужності енергоблоку за ковзним тиском у 2-му контурі.

Основне завдання регулювання паросилової установки – це підтримання рівності між кількістю виробленої і спожитої енергії. Невідповідність між вироблюваною енергією в реакторі і спожитою в турбіні проявляється (для двоконтурної АЕС) в зміні тиску і температури теплоносія в 1-му контурі і тиску (температури) насиченої пари в 2-му контурі. Зазначена невідповідність має усуватися регулятором потужності реактора (РПР), який керує або реактором, або турбіною залежно від режиму роботи енергоблоку. Таким чином, стаття присвячена дослідженню автоматичної системи регулювання (далі – АСР) потужності реактора.

Постановка завдання. Мета статті – моделювання АСР потужності енергоблоку АЕС з ВВЕР-1000 в режимі «К» для забезпечення надійності і безпеки енергоблоку. Для досягнення мети потрібно дослідити та порівняти ефективність кожного режиму регулювання потужності, а також створити структурну схему АСР потужності енергоблоку АЕС з ВВЕР-1000 за компромісною (комбінованою) програмою регулювання в середовищі Simulink.

Виклад основного матеріалу дослідження. Коли існує потреба вибору статичних програм

регулювання, враховують техніко-економічні показники, а також тривалість роботи енергоблоку на знижених рівнях потужності. Найбільшого поширення набули програми з постійним тиском пари в 2 контурі (Ps = const), а також з постійною середньою температурою теплоносія в 1 контурі (theorist) і компромісні програми.

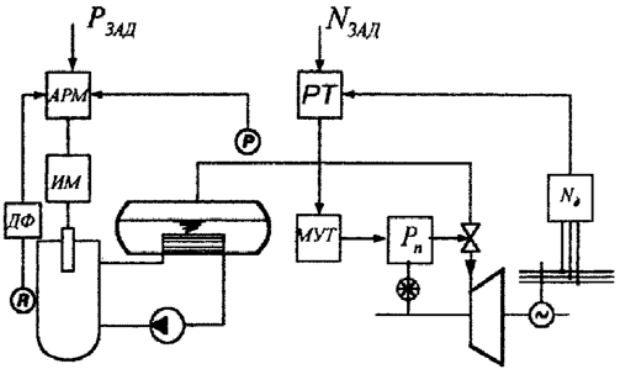


Рис. 3. Принципова схема регулювання потужності енергоблоку в режимі «Т»

Якщо енергоблок працює в базовому режимі, то потужність задається оператором регулятору турбіни (далі – РТ), який при відхиленні дійсної потужності від заданої впливає на механізм управління турбіною (далі – МУТ) і за допомогою регулятора частоти обертання турбіни Рп і регулюючого клапана змінює витрати пари на турбіну. Приведення у відповідність потужностей турбогенератора і реактора здійснюється регулятором реактора АРМ, який отримує сигнал тиску пари перед турбіною, порівнює його з сигналом заданого значення тиску і в разі їх невідповідності переміщує за допомогою виконавчого механізму (далі – ВМ) регулюючі стрижні реактора до відновлення заданого тиску. Для зміни потужності енергоблоку необхідно змінити задану потужність, при цьому потужність блоку змінюється зі швидкістю 10 МВт / хв. Можливі внутрішні перешкоди в реакторі нейтронного потоку сприймаються іонізаційними камерами, сигнал яких надходить на диференціатор ДФ, звідки сигнал швидкості надходить на АРМ. У статичному режимі сигнал на виході ДФ дорівнює нулю і АРМ підтримує задане значення тиску. Статична точність підтримки тиску становить ± 0,05 МПа. Для забезпечення роботи енергоблоку в регулюючому режимі необхідно задану потужність блоку змінювати від регулятора частоти системи (на схемі не показано). Розглянемо роботу системи при збільшенні заданої потужності блоку. При цьому регулятор турбіни (РТ) впливає на МУТ, який через регулятор частоти обертання Рп відкриває регулюючий клапан турбіни. Витрата пари при цьому зростає, статична характеристика турбіни зміщується вправо і турбогенератор за незмінної частоти мережі приймає нове навантаження. Збільшення витрати пари призводить до зменшення тиску перед турбіною, що сприймається регулятором АРМ, який через виконавчий механізм (ВМ) піднімає регулюючі стрижні. Це призводить до збільшення середньої температури теплоносія 1-го контуру, генерації пари в ПГ та відновлення тиску пари перед турбіною. Стабілізація тиску свідчить про відновлення енергетичного балансу між парогенеруючою установкою і турбогенератором.

Схема автоматичного регулювання енергоблоку в режимі «Н» зображена на рис. 4. Регулятор потужності реактора АРМ стабілізує нейтронну потужність впливом на керуючі стрижні. Тиск пари перед турбіною стабілізується регулятором турбіни (РТ) та впливом на МУТ регулятора частоти обертання Рп. Передбачено автоматичний перехід АРМ з режиму «Н» в режим «Т» у разі перевищення тиску пари в головному паровому колекторі заданого рівня для організації розвантаження реактора при різкому скиданні навантаження турбогенератора. Описана схема реалізує базовий режим роботи енергоблоку. Задана потужність енергоблоку підтримується з точністю ± 2%.

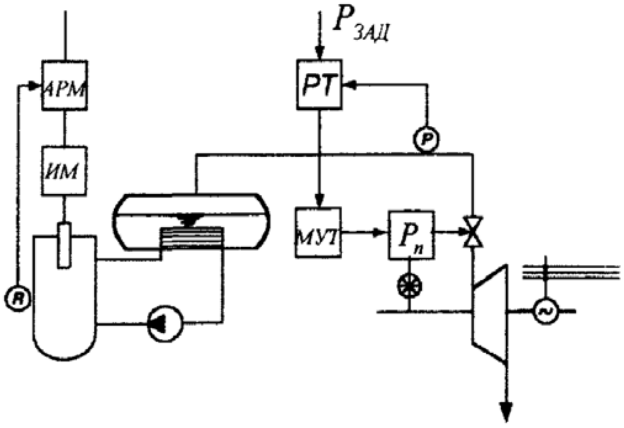


Рис. 4. Принципова схема регулювання потужності в режимі «Н»

Розглянемо роботу цієї системи при стрибкоподібному зменшенні частоти мережі. Це зменшення сприймається регулятором частоти обертання генератора Рп, який практично миттєво відкриває регулюючий клапан турбіни. Збільшення витрати пари при колишній паропродуктивності ПГ призводить до зменшення тиску пари. Це зменшення тиску сприймається регулятором турбіни (РТ),

який через МУТ зміщує статичну характеристику турбіни вправо, і за зниженої частоти обертання клапан займає попереднє положення, а тиск і потужність повертаються до первинних значень. Якщо регулятор частоти мережі відновить необхідну частоту в системі, то процеси регулювання в даній АСР пройдуть у зворотному порядку. Тимчасові відхилення тиску в ГПК можуть призвести до невеликої зміни середньої температури теплоносія 1-го контуру і через температурний ефект реактивності до зміни нейтронної потужності реактора. У такому разі протягом деякого часу працюватиме регулятор нейтронної потужності реактора.

Схема автоматичного регулювання енергоблоку в режимі «К» зображена на рис. 5. Вона реалізує компромісну програму. Регулятор реактора АРМ вимірює і стабілізує середню температуру теплоносія 1-го контуру впливом на приводи регулюючих стрижнів. Зміна тиску пари в 2-му контурі сприймається коригуючим регулятором тиску Рр, який через нелінійний елемент (обмежувач) змінює завдання регулятора середньої температури теплоносія. Зі зміною tcp відновлюється тиск 2-го контуру.

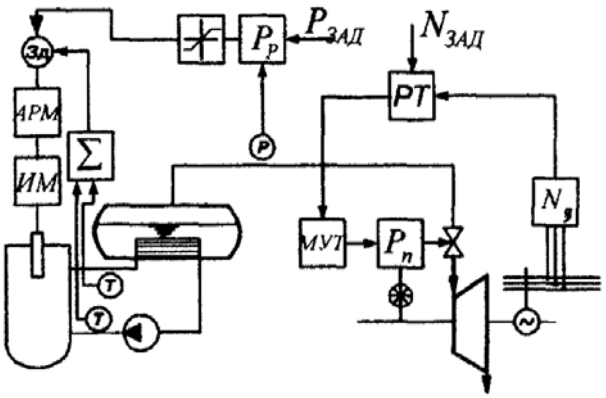


Рис. 5. Принципова схема регулювання потужності енергоблоку в режимі «К»

Отже, зі збільшенням потужності енергоблоку (через регулятор потужності турбіни) до певного її значення тиск пари перед турбіною залишається постійним і заданим, а середня температура теплоносія 1-го контуру зростає. Подальше підвищення потужності енергоблоку, що приводить до зниження тиску пари, не приводить через наявність обмеження до зміни завдання і середньої температури 1-го контуру. У такий спосіб реалізується 2-га ланка про-

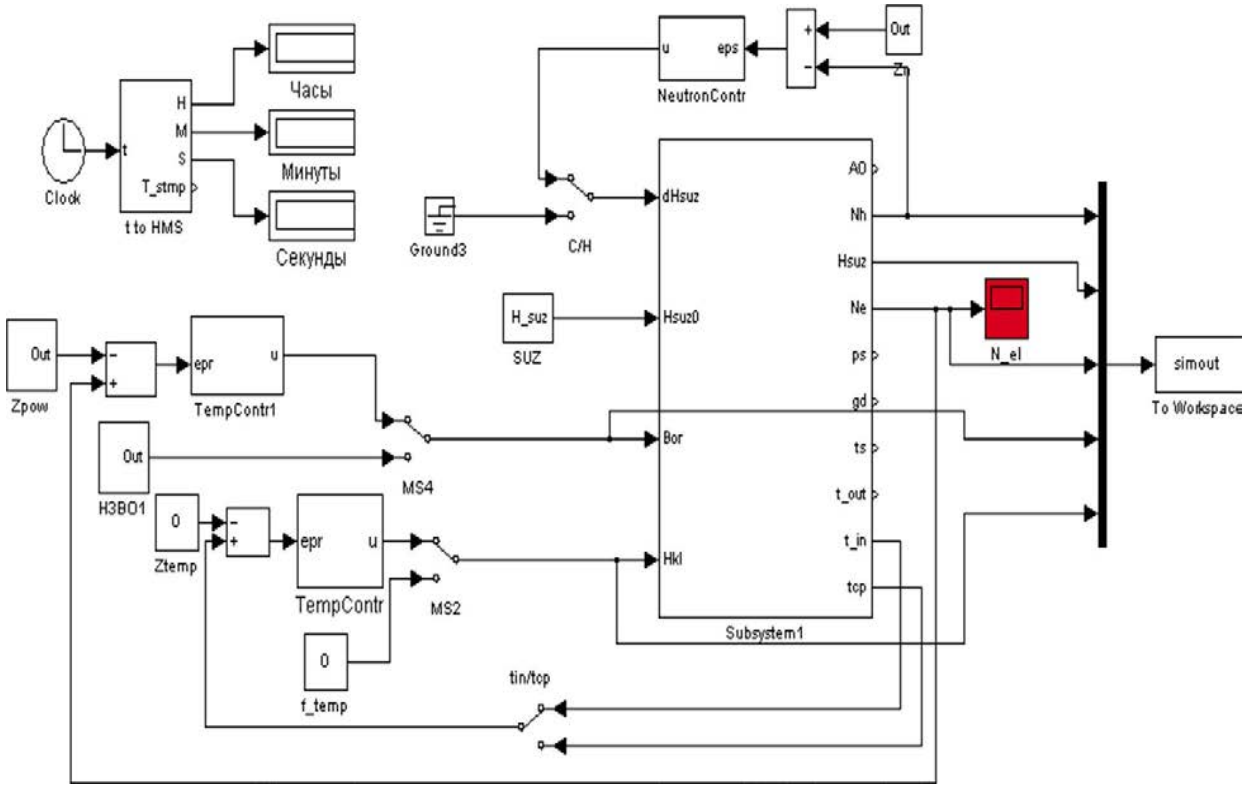


Рис. 6. Структурна схема АСР потужності енергоблоку АЕС з ВВЕР-1000 за компромісною (комбінованою) програмою регулювання в середовищі Simulink

грами регулювання, на якій тиск перед турбіною зменшується.

Беручи до уваги всі недоліки та переваги основних режимів роботи регулювання потужності реактора ВВР-1000, в середовищі Simulink ми змоделювали схему автоматичної системи регулювання потужності енергоблоку АЕС з ВВЕР-1000 за компромісною (комбінованою) програмою регулювання, яка представлена на рисунку 6.

Висновки. У роботі була розглянута проблема невідповідності між виробленням і споживанням електричної енергії протягом добового циклу. Сумарна частка установок, призначених для регулювання навантаження енергосистеми, дуже мала. Також було зазначено, що нині актуальною є адаптація діючих енергоблоків атомних електростанцій до нових специфічних умов шляхом створення автоматизованої системи управління потужністю енергоблоку в маневрених режимах.

Було досліджено та порівняно ефективність кожного режиму регулювання потужності енергоблоку. Також у процесі роботи створено структурну схему АСР потужності енергоблоку АЕС з ВВЕР-1000 за компромісною (комбінованою) програмою регулювання в середовищі Simulink.

Список літератури:

1. Беркович В.М., Горохов В.Ф., Татарніков В.П. Про можливість регулювання потужності енергосистеми за допомогою атомних електростанцій. *Теплоенергетика.* 1974. Вип. 6. 19 с.
2. Максимов М.В. Метод оцінки ефективності алгоритму маневру потужністю енергоблоку з реакторами ВВЕР-1000. *Ядерна енергетика*. 2008. Вип. 4. С. 128–139.
3. Баскаков В.Є. Алгоритм експлуатації енергоблоку з ВВЕР у підтримці добового балансу потужності енергосистеми. *Праці Одеського політехнічного університету*. 2007. Вип. 2 (28). С. 56–59 с.
4. Сучасні технології управління : монографія : в 2 т. / під заг. ред. С.В. Купрієнко. Одеса, 2012. 179 с.
5. Медведєв Р.Б., Сангінова О.В. Оптимальне керування процесом зміни концентрації борної кислоти в теплоносії першого контуру АЕС з ВВЕР-1000. *Наукові вісті Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»*. 2002. Вип. 2 (22). С. 29–56.
6. Волошкіна О.О., Беглов К.В., Плахотнюк О.А. Дослідження регулятора концентрації рідкого поглинача енергоблоку АЕС. *Автоматизація технологічних і бізнес-процесів*. 2015. Т. 7. Вип. 4. С. 18–24.
7. Кисельова Н.І., Погрібний Я.С., Беглов К.В. Дослідження регулятора потужності з рідким поглиначем для енергоблоку АЕС з ВВЕР-1000 / *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки»*, 2018. Вип. 29 (68). Ч. 1. № 3. С. 134–140.

Polushkin Ye.M., Beglov K.V. SIMULATION ASR OF POWER OF THE POWER UNIT OF THE NPP WITH VVER-1000 IN MODE "K"

There is a mismatch between the Generation and Consumption of Electricity during the Daily Cycle in Ukraine's Power System, and the total Share of installations intended to regulate the loading of the grid is very small, so it is important to adapt the existing units of nuclear power plants to the New Specific Control Systems maneuver modes. All Ukrainian VVER-1000 Nuclear Power Plants are operated in power unit stabilization mode at a given Level, although the equipment of the first circuit allows operation in power maneuvering modes.

High reliability and safety of the power unit are the basic requirements that are achieved when maneuvering the power unit. Protected reliable and safe unit technology is an effective reactor when creating, both at the appropriate level and in maneuver mode.

When operating the unit at a constant power level, the control program does not play an important role. However, in maneuverable modes, the choice of the control program can have a significant impact on the performance of the unit and the operation of its equipment in the future.

The automatic power controller is an integral part of the power unit's power management system and is designed to maintain the reactor power according to the load of the turbine generator.

Currently, the control of the power of the unit with reactors VVER is carried out precisely with the help of an automatic reactor power regulator (ARP) and a turbine controller (RT). The reactor power controller provides the following operating modes:

– mode of asthatic support of thermal parameter (steam pressure in front of turbine) influence on reactor ("T");
– astatic Neutron Power ("H") mode;
– mode of maintenance of the thermal parameter in the compromise program impact on the reactor ("K");
– conservative mode of maintaining the thermal parameter by influencing the reactor ("C").

The combined (compromise) control program of the VVER-1000 units is designed to take advantage of other programs. The control program with a constant average coolant temperature in the first circuit is most favorable for the equipment of the first circuit, and the control program with a constant initial steam pressure in the second circuit for the steam generating equipment and steam pipelines of the second circuit. The desire to make the most of the benefits of each of these regulatory programs, mitigating their weaknesses whenever possible, has led to the use in some cases of combined regulation as a compromise solution.

Thus, the article is devoted to the study of the properties of the power regulator.

Key words: *NPP, energy, automatic power controller, operating modes, combined adjustment program.*

УДК 004.932
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-1/24

Поляченко А.І.
Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ПРОСТОРОВА АВТОКОРЕЛЯЦІЯ ТА МЕТОД ОЦІНКИ ЯКОСТІ МРТ-ЗНІМКІВ

У роботі запропоновано метод оцінки якості білого шуму на МРТ-знімках при визначенні просторової автокореляції. Досліджувана проблема полягає в тому, що існує шум на МРТ-знімках, що впливає на якість їх контрастності і різкості. Водночас кластерні пікселі на МРТ-знімках в сірій градації дозволяють дослідникам і штучним пристроям розрізняти патологічні структури, а ступінь кластеризації визначає рівень якісних ознак зображення. Шум на знімках МРТ є випадковим, він викликає руйнування кластеризованих пікселів і розмивання країв. Розмивання країв знижує контраст між різними структурами, що ускладнює використання МРТ-знімків для діагностики захворювань. Глобальна міра просторової автокореляції не може надати інформацію про зміни локально сприймаючої видимості шуму, оскільки вона передбачає однорідні кластерні структури на всьому зображенні. Саме тому кількісна оцінка локальної просторової автокореляції є корисним параметром для оцінки якості на основі шуму. Розроблений метод включає чотири етапи. Величина локальної статистики Морана в кожному місці МРТ-знімка розглядається як міра порогу контрастної чутливості. Просторова вага, яка визначає просторову взаємодію в локальному середовищі, враховує видимість локально сприймаючого шуму. Усереднення локальної статистики Морана для отримання глобальної статистики Морана еквівалентне інтегруванню сприймаючого зваженого локального шуму. Вага сприйняття, що виражена як функція глобальної статистики Морана I, присвоюється атрибутам якості контрастності і різкості при розрахунку загального показника якості МРТ-знімка. Запропонований метод оцінки перетворює рівень шуму в просту для інтерпретації і стандартизовану метрику якості з нижніми і верхніми межами 0 і 1. Зміни в профілях показників якості показують, що пропонований метод оцінки якості може забезпечити досить високу оцінку якості сприйняття для різних типів МРТ-знімків.

Ключові слова: *МРТ-знімки, білий шум, просторова автокореляція, кластеризація, пікселі.*

Постановка проблеми. У світі сьогодні існує значна кількість алгоритмів для кластеризації медичних зображень, які можна розділити на структурні та статистичні [1; 2]. Структурні методи базуються на просторових властивостях зображень і є чутливими до артефактів та шуму, що негативно відображається на їх застосовності. Також вони є залежними від чіткості меж між ділянками на зображенні та обраного початкового наближення. З іншого боку, статистичні методи розглядають зображення як деякий розподіл випадкової величини інтенсивності кольору пікселів. Проблема полягає у тому, що основною характеристикою ураженої тканини є її внутрішня структура. Іншими словами, густина ураженої та неураженої тканини може бути дуже схожою. Унаслідок цього відповідні ділянки на МРТ-знімку будуть досить подібними і аналіз значень інтенсивності не зможе надати потрібної інформації. Наявні алгоритми концентруються на виявленні контрастних переходів у зображенні як основному засобі кластеризації.

На медичних зображеннях кластерні пікселі в градаціях сірого дозволяють спостерігачам і штучним пристроям розрізняти різні анатомічні структури, а також розрізняти нормальні і аномальні структури при різних патологічних станах. Ступінь кластеризації визначає рівень контрастності і різкості якісних ознак зображення. Наявний шум впливає на якість контрастності і різкості томографічних і рентгенівських зображень. Шум на знімках МРТ є випадковим (називається Рікським шумом), він викликає руйнування кластеризованих пікселів і розмивання країв. Ерозія країв знижує контраст між різними структурами, що ускладнює використання зображень для діагностики захворювань. Глобальна міра просторової автокореляції не може надати інформацію про зміни локально сприймаючої видимості шуму, оскільки вона передбачає однорідні кластерні структури на всьому зображенні. Саме тому кількісна оцінка локальної просторової автокореляції буде корисним параметром для оцінки якості на основі шуму.

Для кластерних пікселів характерною є класифікація у вигляді кластерів з високими рівнями інтенсивності пікселів НН і кластерів з низькими

рівнями інтенсивності пікселів LL. Викиди можуть бути класифіковані як пікселі з високими значеннями інтенсивності, оточені переважно пікселями з низькими значеннями інтенсивності HL, і пікселі з низькими значеннями інтенсивності, оточені переважно пікселями з високими значеннями інтенсивності LH [3]. Тому виникає необхідність у розробці методу для оцінки якості білого шуму на МРТ-знімках.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сьогодні просторовий статистичний аналіз ґрунтується на наявності просторових взаємозв'язків між досліджуваними об'єктами (зображеннями) [4; 5]. Для визначення таких зв'язків задаються матриці просторових ваг, що формалізують допущення, що даний об'єкт (зображення) має зв'язок з найближчими сусідніми об'єктами (зображеннями) [6; 7].

Просторова автокореляція має подібність до коефіцієнту автокореляції, що використовується при аналізі часових рядів [4; 5].

На відміну від часових рядів, де спостерігаються показники, впорядковані в часі, просторова автокореляція проводить оцінку ступеня взаємозв'язку між досліджуваними показниками, які впорядковані в просторі [4; 6]. Позитивній просторовій автокореляції відповідає утворення кластерів у просторі спостережень з близькими показниками. У разі негативної просторової автокореляції поруч будуть групуватися об'єкти, що володіють несхожими характеристиками.

Існує безліч тестів для перевірки просторової автокореляції [3; 8]. Однак більшість з них не надає повноти інформації про характер структурованості деякої ознаки, а лише служить для перевірки гіпотези, що близько розташовані частини зображення більш схожі за певною ознакою, а більш віддалені – менш схожі. У разі складної структури, коли переходи між сусідніми ділянками зображення мають нелінійний характер (знов утворена пухлина), більш точну картину можна отримати, використовуючи такі показники просторової автокореляції (Spatial autocorrelation), як коефіцієнт I Морана або коефіцієнт *C* Джири [5; 9].

Постановка завдання. У даній роботі необхідно розробити метод оцінки якості білого шуму на МРТ-знімках при визначенні просторової автокореляції.

Виклад основного матеріалу дослідження. У роботі [3] для визначення просторової автокореляції запропоноване використання згорткової нейронної мережі (далі – ЗНМ) на ресурсах хмарних технологій, архітектура ЗНМ також приведена в цій роботі. Навчання ЗНМ для розпізнавання патології на МРТ-знімках запропоновано проводити для залежностей значень просторового фактора *Wz* від стандартизованих *z*-значень із наступним розрахунком коефіцієнту загальної просторової автокореляції. Міру розташування відповідної частини медичного зображення будемо задавати значеннями атрибутів елементів вагової матриці в ЗНМ. Після того, як шар ЗНМ виконає визначення областей на томографічних чи рентгенівських знімках, інший шар виконає підрахунок статистики Морана *I* або статистики Джири *C* з перевіркою гіпотези про існування просторової автокореляції. Потім наступний згортковий шар ЗНМ виконає нанесення на зображення результату просторової автокореляції у вигляді, показаному на рис. 1.

В результаті навчання ЗНМ буде готовою до обробки нових томографічних чи рентгенівських знімків.

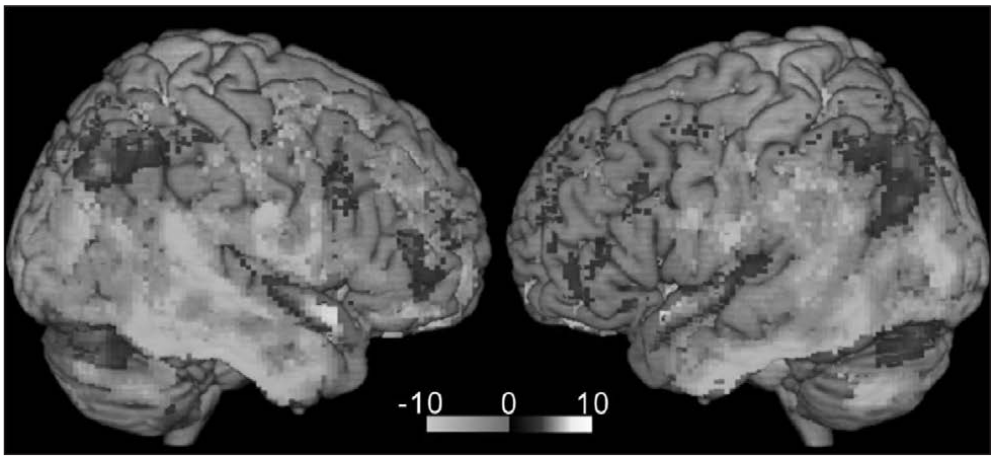


Рис. 1. Приклад результату роботи ЗНМ при існуванні просторової автокореляції на МРТ-знімку

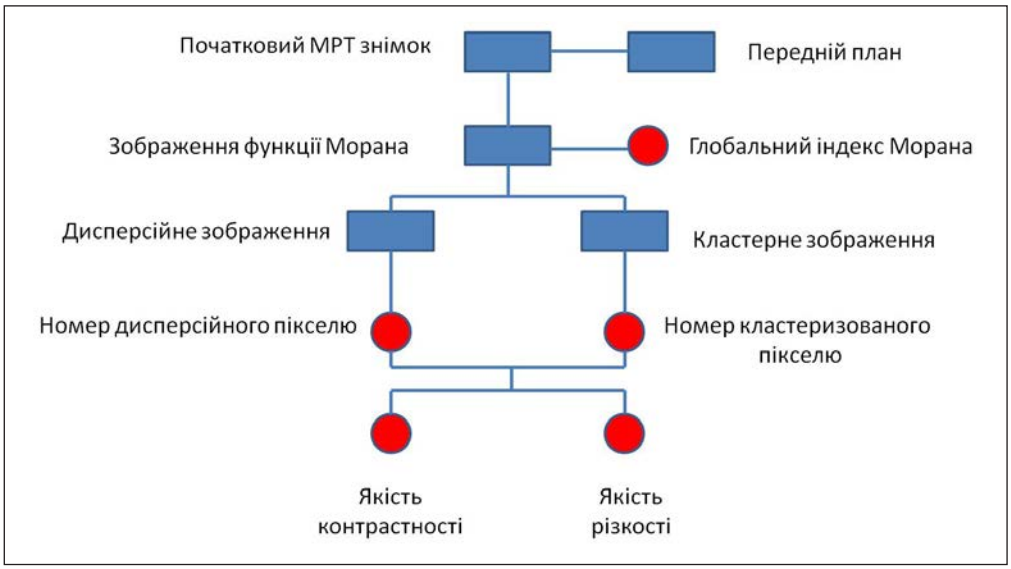


Рис. 2. Блок-схема запропонованого методу оцінки якості білого шуму на МРТ-знімках

Однак, як зазначено раніше, існує проблема шуму, який впливає на якість контрастності і різкості МРТ-зображень. Реалізувати метод оцінки якості білого шуму на МРТ-знімках можна на основі блок-схеми, що наведена на рис. 2.

Рис. 3. це фрагмент даних МРТ-знімків. Послідовність кроків з реалізації пропонованого алгоритму опишемо далі

На першому етапі відбувається вилучення переднього плану, яке полягає в витяганні ділянок, що нас цікавлять, з фонової ділянки на тестовому зображенні.

Наприклад, медичне зображення переднього плану I_f оброблене з використанням порогового методу. Ділянка переднього плану, показана на рис. 3 є, дозволяє визначити індекси пікселів, а також загальну кількість просторових розташувань у передньому плані. Кількість просторових розташувань потрібна на наступних етапах реалізації.

На другому етапі відбувається вилучення функцій. Медичне зображення локальної ознаки Морана отримують шляхом обчислення локальної статистики Морана тестового зображення відповідно до виразу (10) [3]. Просторова вага w_{ij}, яка визначає взаємодію пікселів, визначається розміром ядра. Просторова вага може бути реалізована за допомогою використання ядра 3x3. Локальна статистика Морана усереднюється відповідно до виразу (11) [3] для отримання глобальної статистики Морана.

На третьому етапі необхідно виконати класифікацію об'єктів. Використовуючи глобальне порогове значення, місцеве зображення об'єкта I_L класифікується на два класи.

Для першого класу характерна наявність випадкових і розсіяних пікселів I_{LA}; для другого класу I_{LB} – кластерні пікселі:

$$I_L = \begin{cases} I_{LA}, \ I_i \le 0; \\ I_{LB}, \ I_i > 0. \end{cases} \quad (1)$$

Далі необхідно виконати розрахунок двох класів пікселів за ділянкою переднього плану. На рис. 3 а, б показані МРТ-знімки, отримані в результаті додавання 8 і 16% рівнів Рікського шуму до зображення рис. 3 а.

На рис. 3 наведені випадкові і розсіяні зображення об'єктів, що відповідають рівню шуму 0 відсотків (рис. 3 а), 8 відсотків (рис. 3 б) і 16 відсотків (рис. 3 в).

На четвертому етапі відбувається прогноз отриманої якості, який будується на двох принципах. По-перше, глобальна статистика Морана I вважається вагою сприйняття, яку модулює локальна статистика Морана. По-друге, тестове зображення – це реальне зображення в градаціях сірого, що має неоднорідні ознаки, тобто зображення, на якому пікселі можуть бути принаймні двох різних класів. Навпаки, показники різкості і загальної якості, показані на рис. 4, прогнозуються на основі зваженої за сприйняттям суми кластеризованих і розсіяних пікселів на зображенні в градаціях сірого.

Значення показника якості контрасту Q_1 може бути визначене за такою формулою:

$$Q_1 = I\left(1 - \frac{N_{CA}}{N_{If}}\right) + (1 - I)\frac{N_{CB}}{N_{If}}, \quad (2)$$

де N_{CA}, N_{CB}, N_{If} – кількість розсіяних, кластери-

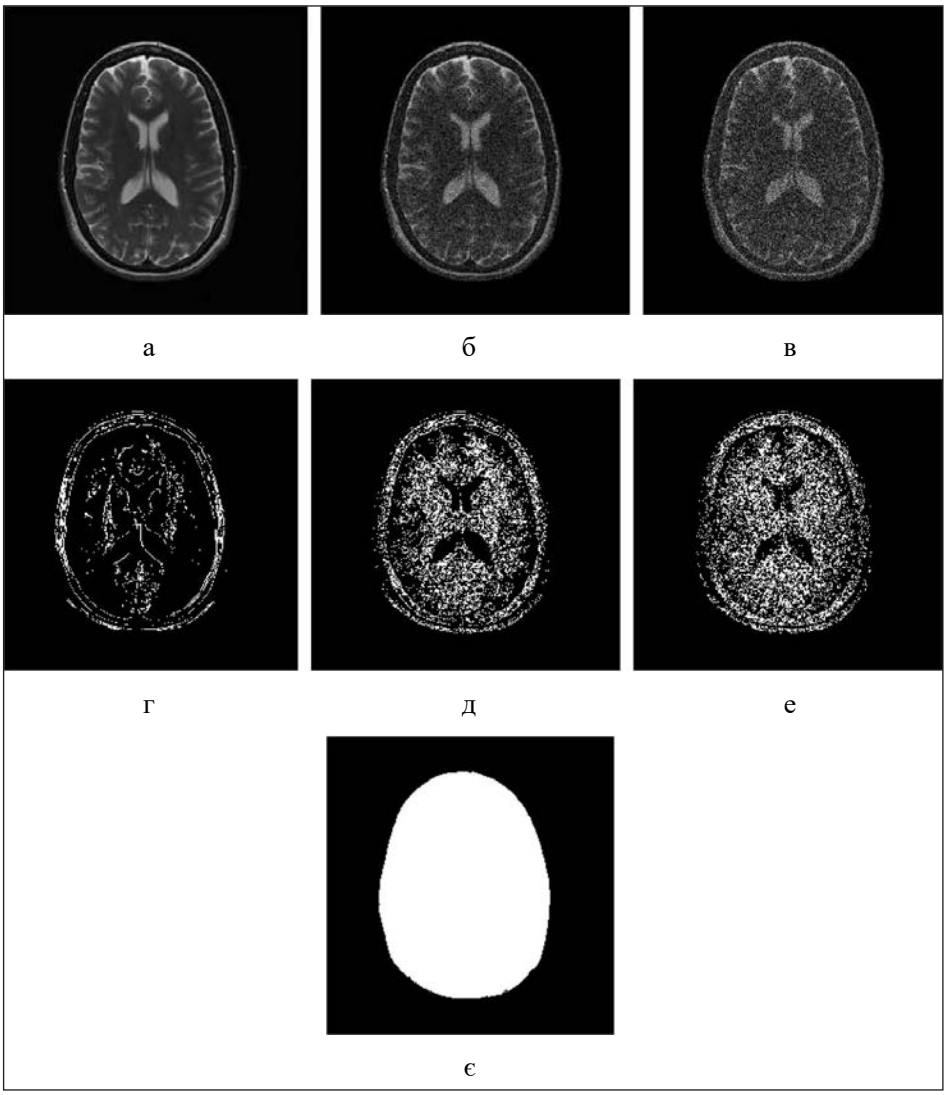


Рис. 3. Оцінка якості на основі білого шуму в МРТ-знімках: а – початковий МРТ-знімок; б – погіршена версія початкового МРТ-знімка з 8% Рікського шуму; в – погіршена версія початкового МРТ-знімка з 16% Рікського шуму; г – випадкові і розсіяні пікселі в початковому знімку за відсутності спотворення і шуму; д – випадкові і розсіяні пікселі в початковому знімку з Рікським шумом 8%; е – випадкові і розсіяні пікселі в тестовому знімку з Рікським шумом 16%; є – передній план, витягнутий з початкового знімка зображення

зованих і передніх пікселів відповідно до МРТ-знімка.

Значення показника якості різкості Q_2 може бути визначене за такою формулою:

$$Q_2 = 1 - \text{◆◆}\frac{N_{CA}}{N_{If}} + (1 - \text{◆◆}I)\frac{N_{CB}}{N_{If}}. \quad (3)$$

Значення загального показника якості може бути представлене як середнє значення показників якості контрастності Q_1 і різкості Q_2, яке запишемо у такий спосіб:

$$Q_з = \frac{Q_1 + Q_2}{2}. \quad (4)$$

Далі покажемо, як показники якості, визначені в рівняннях (2) і (3), можуть передбачити показники якості контрастності і різкості ідеальних, надзвичайно погіршених і реальних МРТ-знімків.

У разі ідеального МРТ-знімка пікселі будуть прагнути до максимального ступеня кластеризації. Тому, використовуючи таку залежність:

$$I = \begin{cases} 1, & \text{високий ступінь кластеризації} \\ 0, & \text{випадковість} \\ -1, & \text{найвищий ступінь випадковості і дисперсії} \end{cases}, \quad (5)$$

будемо мати такий показник:

$$I \approx 1. \quad (6)$$

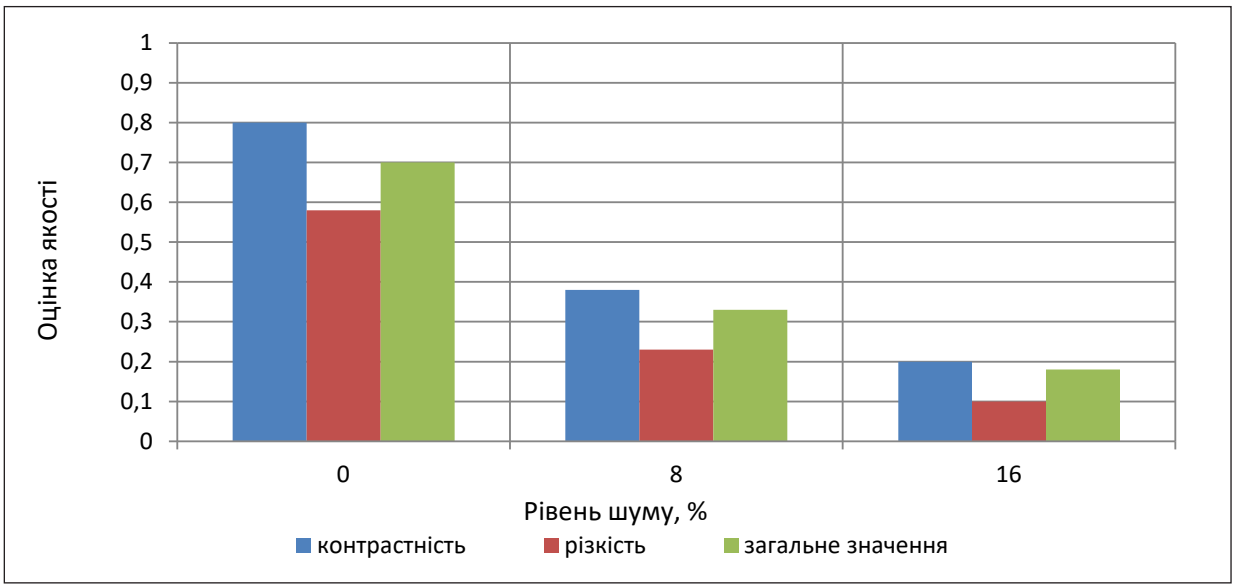


Рис. 4. Оцінка якості у разі зміни показників контрастності, різкості і загальної якості за рівня Рікського шуму 0,8 і 16%

Оскільки для випадкових і розсіяних пікселів характерна рідкість в ідеальному МРТ-знімку, то використаємо таку рівність:

$$N_{CA} \approx 0. \quad (7)$$

Якщо підставити рівняння (6) і (7) в рівняння (2) і (3), то показники якості, контрастності і різкості зображення будуть рівні і оптимізовані до значення 1:

$$Q_1 = Q_2 \approx 1. \quad (8)$$

У разі екстремально погіршеного МРТ-знімка пікселі будуть прагнути до максимального ступеня випадковості і дисперсії. Згідно з приведеною залежністю (5) матимемо таку рівність:

$$I \approx -1. \quad (9)$$

Оскільки випадкові і розсіяні пікселі є домінантними і містяться в ділянці переднього плану, то існує така рівність:

$$N_{CA} \approx N_{If}. \quad (10)$$

Розрідження кластерних пікселів може бути записане в у такий спосіб:

$$N_{CB} \approx 0. \quad (11)$$

Якщо підставимо вирази (9) – (11) в рівняння (2) і (3), то показники якості, контрастності і різкості зображення будуть рівні і зведені до мінімуму (до значення 0):

$$Q_1 = Q_2 \approx 0. \quad (12)$$

У разі реального МРТ-знімка показники контрастності, різкості і загальної якості, приведені на рис. 4, визначені в діапазоні значень між ідеальними і надзвичайно погіршеними МРТ-знімками, можна відобразити так:

$$\{Q_2 : 0 \le Q_2 \le 1\}; \quad (13)$$

Зміни в профілях показників якості, відображені на рис. 4, свідчать, що пропонований метод може забезпечити досить високу оцінку якості сприйняття для різних типів МРТ-знімків.

Висновки. У роботі запропоновано метод оцінки якості білого шуму на МРТ-знімках під час визначення просторової автокореляції. Розроблений метод включає чотири етапи. Величина локальної статистики Морана в кожному місці МРТ-знімка розглядається як міра порога контрастної чутливості. Просторова вага, яка визначає просторову взаємодію в локальному середовищі, враховує видимість локально сприймаючого шуму. Усереднення локальної статистики Морана для отримання глобальної статистики Морана еквівалентне інтегруванню сприймаючого зваженого локального шуму. Вага сприйняття, що виражена у вигляді функції глобальної статистики Морана *I*, присвоюється атрибутам якості контрастності і різкості під час розрахунку загального показника якості МРТ-знімка. Запропонований метод оцінки перетворює рівень шуму в просту для інтерпретації і стандартизовану метрику якості з нижніми і верхніми межами 0 і 1.

Список літератури:

1. Cai J., Zhang Z., Cui L., Zheng Y., and Yang L. Towards cross-modal organ translation and segmentation: A cycle-and shape-consistent generative adversarial network. *Medical image analysis.* 2019. Vol. 52. P. 174–184.
2. Chen Y., Li W., Van Gool L. Road: Reality oriented adaptation for semantic segmentation of urban scenes. *In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition.* 2018. P. 7892–7901.
3. Поляченко А.І. Пошук контурів областей із певною патологічною структурою на МРТ-знімках. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво.* Луцьк. 2019. Вип. № 34. С. 96–106.
4. Видмант О.С. Прогнозирование финансовых временных рядов с использованием рекуррентных нейронных сетей LSTM. *Общество: политика, экономика, право.* 2018. № 5. С. 63–66.
5. Getis A., Mur J., Zoller H. (ed.) Spatial Econometrics and Spatial Statistics, Palgrave, London. 2004.
6. Chen Y. New approaches for calculating Moran's index of spatial autocorrelation. PloS one. 2013. Vol. 8. No. 7. P. 329–336.
7. Fingleton B., Lopez-Bazo E. Empirical growth models with spatial effects, Papers in Regional Science, Blackwell Publishing. 2006. Vol. 85 (2). P. 177–198.
8. Local Measures of Spatial Autocorrelation. Briggs Henan University. 2010. URL: http://www.utdallas.edu/~rbriggs/henan/11SAlocal.ppt (Last accessed: 15.07.2019).
9. Woolrich M.W., Ripley B.D., Brady M., & Smith S.M. Temporal autocorrelation in univariate linear modeling of FMRI data. *Neuroimage.* 2001. Vol. 14. No. 6. P. 1370–1386.

Poliachenko A.I. SPATIAL AUTOCORRELATION AND THE METHOD OF ASSESSING THE QUALITY OF MRI-IMAGES

The paper proposes a method for assessing the quality of white noise on MRI-images when determining spatial autocorrelation. The investigated problem is that there is noise in the MRI-images, which ultimately affects the quality of their contrast and sharpness. At the same time, cluster pixels in MRI-images, in gray gradation, allow researchers and artificial devices to distinguish pathological structures, and the degree of clustering determines the level of image quality features. The noise in the MRI-images is random, which causes the destruction of clustered pixels and blurring of edges. Blurring the edges reduces the contrast between the various structures, making it difficult to use MRI-scans to diagnose diseases. The global measure of spatial autocorrelation cannot provide information about changes in locally perceiving noise visibility, since it provides for homogeneous cluster structures throughout the image. Therefore, a quantitative estimate of local spatial autocorrelation is a useful parameter for assessing noise-based quality. The developed method includes four stages. The value of Moran's local statistics at each site of the MRI-scan was considered as a measure of the threshold of contrast sensitivity. The spatial weight, which determines the spatial interaction in the local environment, takes into account the visibility of locally perceived noise. Averaging Moran's local statistics to obtain Moran's global statistics is equivalent to integrating perceived weighted local noise. The perceptual weight, expressed as the Moran I global statistics function, is assigned to the attributes of contrast quality and sharpness when calculating the overall quality indicator of an MRI-scan. The proposed evaluation method turns the noise level into an easy-to-interpret and standardized quality metric, with lower and upper limits 0 and 1, respectively. Changes in the profiles of quality indicators show that the proposed method of quality assessment can provide a fairly high assessment of the quality of perception for various types of MRI-images.

Key words: *MRI-images, white noise, spatial autocorrelation, clustering, pixels.*

УДК 004.412:519.237.5
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-1/25

Приходько С.Б.
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Приходько Н.В.
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Книрік К.О.
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

ТРИФАКТОРНЕ НЕЛІНІЙНЕ РЕГРЕСІЙНЕ РІВНЯННЯ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ТРУДОМІСТКОСТІ РОЗРОБКИ МОБІЛЬНИХ ЗАСТОСУНКІВ У ФАЗІ ПЛАНУВАННЯ

Метою роботи є створення множинного нелінійного рівняння регресії для оцінювання трудомісткості розробки мобільних застосунків на основі багатовимірного нормалізуючого перетворення у фазі планування за змінними, що беруться, наприклад, з такого документу, як RAD (Requirement Analysis Document). Трифакторне нелінійне регресійне рівняння для оцінювання трудомісткості розробки мобільних застосунків у фазі планування побудоване на основі нормалізації чотиривимірного негаусівського набору даних (фактична трудомісткість розробки у людино-годинах, кількості екранів, функцій та файлів мобільного застосунку) із 30 застосунків. Нормалізація цього набору даних здійснена за допомогою чотиривимірного перетворення Джонсона для сімейства S_B. Використання чотиривимірного перетворення у порівнянні з одновимірними дозволяє врахувати кореляцію між змінними, що призводить до покращення нормалізації даних, яка пов'язана з виконанням статистичної гіпотези щодо відповідності їх розподілу чотиривимірному розподілу Гауса, з подальшим підвищенням достовірності відповідного оцінювання. Виконано порівняння побудованого нелінійного рівняння з лінійним регресійним рівнянням і нелінійними регресійними рівняннями на основі десяткового логарифму і одновимірного перетворення Джонсона. Порівняно з іншими регресійними рівняннями (як лінійними, так і нелінійними) побудоване нелінійне рівняння має більше значення множинного коефіцієнту детермінації, більший відсоток передбачення, менше значення середньої величини відносної похибки та менші ширини довірчого інтервалу нелінійної регресії. Цей результат може бути пояснений найкращою багатовимірною нормалізацією і тим, що немає підстав відкидати нульову гіпотезу про те, що чотиривимірний розподіл для нормалізованих даних, який нормалізується за допомогою чотиривимірного перетворення Джонсона для сімейства S_B, є таким самим, як і чотиривимірний нормальний розподіл.

Ключові слова: *нелінійне регресійне рівняння, довірчий інтервал, інтервал передбачення, оцінювання трудомісткості, мобільний застосунок, нормалізуюче перетворення, негаусівські дані.*

Постановка проблеми. Оцінювання трудомісткості розробки застосунків є однією з важливих задач у фазі планування, яка є першою з п'яти етапів життєвого циклу розробки програмного забезпечення (далі – ПЗ) [1]. Сьогодні однією з найбільш відомих моделей для оцінювання трудомісткості є COCOMO II (COststructive COst MOdel) [2]. COCOMO II – це нелінійне рівняння регресії з параметрами, які отримані за даними метрик проєктів ПЗ. Одним із основних факторів для зазначеного рівняння є розмір ПЗ, який у фазі планування ще невідомий. Крім того, це рівняння побудоване на основі одновимірного нормалізуючого перетворення у формі десяткового логарифму, а таке перетворення не завжди дозволяє добре виконати нормалізацію даних. Все це призводить до низької достовірності оцінювання трудомісткості розробки мобільних застосунків у фазі планування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Хоча розробка мобільних застосунків схожа на розробку вебзастосунків і має свої корені в більш традиційній розробці ПЗ, однак однією з критичних різниць є те, що відповідні програми часто написані спеціально для того, щоб можна було скористатися унікальними функціями, які пропонує конкретний мобільний пристрій [3]. Тому протягом останнього десятиріччя було опубліковано багато різних моделей прогнозування трудомісткості, включаючи як лінійні, так і нелінійні регресійні рівняння [4; 5].

Як відомо, є чотири основні припущення, які обґрунтовують використання рівнянь лінійної регресії, одним з яких є нормальність розподілу похибок [6]. Проте це припущення справедливе лише в окремих випадках. Отже, для прогнозування трудомісткості розробки мобільних застосунків як вибіркового середнього числа залежної випадкової величини виникає необхідність розробки відповідних нелінійних регресійних рівнянь. Застосування одновимірних нормалізуючих перетворень для побудови рівнянь і моделей нелінійної регресії не завжди призводить до задовільних результатів прогнозування (зокрема, за такими стандартними оцінками, як середня величина відносної похибки, ширина довірчого інтервалу та інтервалу передбачення [7; 8]). Це призводить до необхідності використання багатовимірних нормалізуючих перетворень.

Постановка завдання. Метою статті є побудова трифакторного рівняння нелінійної регресії та рівнянь нижньої і верхньої границь її довірчих інтервалів для оцінювання трудомісткості розробки мобільних застосунків у фазі планування залежно від кількості екранів, функцій та файлів мобільного застосунку на основі чотиривимірного нормалізуючого перетворення, що дозволить підвищити достовірність оцінювання вибіркового середнього числа залежної змінної нелінійної регресії порівняно з використанням одновимірних нормалізуючих перетворень.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для досягнення мети статті, що сформульована вище, ми скористалися методами, наведеними в джерелі [8]. Згідно з цим джерелом спочатку виконується нормалізація багатовимірних негаусових даних за багатовимірним нормалізуючим перетворенням. У якості таких даних використані дані, що наведені у табл. 1. Ці дані отримані шляхом доповнення чотиривимірного набору даних про фактичну трудомісткість розробки Y у людино-годинах, кількості екранів X_1, функцій X_2 і файлів X_3 для 17 застосунків з джерела [9] даними для 21 мобільного застосунку (рядки з 18 до 38).

Для виявлення викидів у даних табл. 1 використовувався метод, заснований на багатовимірних нормалізуючих перетвореннях і квадраті відстані Махаланобіса MD^2 [10]. Було визначено, що немає викидів в даних табл. 1 для рівня значимості 0,005 та багатовимірного перетворення Джонсона для сімейства S_B, адже всі значення MD^2 менші, ніж величина квантиля розподілу χ^2, яка становить 14,86 для рівня значимості 0,005. Зазначимо, що оцінки параметрів багатовимірного перетворення Джонсона для сімейства S_B були знайдені за методом максимальної правдоподібності: $\hat{\gamma}_Y = 5{,}69898$, $\hat{\gamma}_1 = 0{,}524119$, $\hat{\gamma}_2 = 0{,}776179$, $\hat{\gamma}_3 = 0{,}540973$, $\hat{\eta}_Y = 2{,}40219$, $\hat{\eta}_1 = 0{,}743879$, $\hat{\eta}_2 = 0{,}79545$, $\hat{\eta}_3 = 0{,}534447$, $\hat{\varphi}_Y = -114{,}5452$, $\hat{\varphi}_2 = 1{,}6885$, $\hat{\varphi}_2 = 1{,}6885$, $\hat{\varphi}_3 = 0{,}90$, $\hat{\lambda}_Y = 3328{,}564$, $\hat{\lambda}_1 = 12{,}3743$, $\hat{\lambda}_2 = 12{,}091$ і $\hat{\lambda}_3 = 8{,}30648$. Вибіркова коваріаційна матриця $\mathbf{S}_N$ виглядає так:

$$\mathbf{S}_N = \begin{pmatrix} 1{,}0000 & 0{,}5974 & 0{,}4740 & 0{,}6625 \\ 0{,}5974 & 1{,}0000 & 0{,}8719 & 0{,}7008 \\ 0{,}4740 & 0{,}8719 & 1{,}0000 & 0{,}8166 \\ 0{,}6625 & 0{,}7008 & 0{,}8166 & 1{,}0000 \end{pmatrix}.$$

Далі для нормалізованих за багатовимірним перетворенням Джонсона сімейства S_B даних було побудовано таке лінійне регресійне рівняння:

$$\hat{Z}_Y = \hat{b}_0 + \hat{b}_1 Z_1 + \hat{b}_2 Z_2 + \hat{b}_3 Z_3, \qquad (1)$$

де параметри рівняння (1) оцінювалися методом найменших квадратів, а їх оцінки є такими:

$$\hat{b}_0 = 0;\ \hat{b}_1 = 0{,}808152;\ \hat{b}_2 = -0{,}928296;\ \hat{b}_3 = 0{,}854262$$

Сума квадратів відхилень для рівняння (1) склала 14,867.

Потім було побудовано таке нелінійне регресійне рівняння:

$$\hat{Y} = \hat{\varphi}_Y + \hat{\lambda}_Y \left[1 + e^{-(\hat{Z}_Y - \hat{\gamma}_Y)/\hat{\eta}_Y}\right]^{-1}, \qquad (2)$$

де $Z_j = \gamma_j + \eta_j \operatorname{h} \frac{X_j - \varphi_j}{\varphi_j + \lambda_j - X_j}$; $\varphi_j < X_j < \varphi_j + \lambda_j$; $j = 1,2,3$.

Якість побудованого рівняння (2) була перевірена за множинним коефіцієнтом детермінації R^2, середньою величиною відносної помилки MMRE і відсотком прогнозування PRED(0,25), які використовуються як стандартні оцінки результатів прогнозування за допомогою регресійних моделей. Значення R^2, MMRE і PRED(0,25) дорівнюють 0,579, 0,493 і 0,526 відповідно і вказують на незадовільну якість рівняння (2) з оцінками параметрів, що були отримані згідно з даними з табл. 1 з 38 мобільних застосунків. З огляду на це для побудови нелінійного регресійного рівняння для оцінювання трудомісткості розробки мобільних застосунків у фазі планування далі було застосовано метод покращення нелінійних регресійних моделей на основі багатовимірних нормалізуючих перетворень із застосуванням квадрата відстані

Таблиця 1

Дані та межі інтервалів передбачення нелінійних регресій

№	Y	X_1	X_2	X_3	MD^2	Межі інтервалів передбачення нелінійних регресій					
						LB_1	UB_1	LB_2	UB_2	LB_5	UB_5
1	192	5	4	3	0,4	60,47	377,26	91,85	289,05	123,26	233,66
2	**272**	**5**	**4**	**3**	1,6	60,47	377,26	91,85	289,05	-	-
3	288	3	2	2	12,1	88,63	524,10	153,04	362,13	189,08	322,15
4	116	6	6	4	1,0	51,09	352,88	75,70	268,17	104,97	209,60
5	**372**	**5**	**5**	**4**	5,6	54,51	362,37	-	-	-	-
6	**504**	**9**	**8**	**6**	7,5	90,07	453,34	-	-	-	-
7	28	6	7	2	5,9	-0,71	232,51	20,09	160,96	27,83	86,22
8	**176**	**6**	**7**	**3**	3,0	18,85	277,78	37,91	204,55	-	-
9	364	10	11	9	7,3	157,35	665,23	267,93	404,24	328,16	417,98
10	120	10	10	5	3,9	48,66	363,80	73,41	272,31	97,21	204,26
11	**22**	**6**	**5**	**4**	11,9	70,82	402,23	-	-	-	-
12	224	11	6	2	6,2	73,52	447,01	111,94	322,06	124,28	243,22
13	24	2	2	1	5,7	-23,85	170,88	8,80	123,53	17,41	63,80
14	200	11	7	4	4,0	106,51	511,55	155,93	351,04	189,05	309,67
15	**160**	**6**	**6**	**7**	3,8	100,58	490,02	148,29	343,97	-	-
16	**120**	**2**	**2**	**1**	7,6	-23,85	170,88	8,80	123,53	-	-
17	**96**	**4**	**4**	**1**	9,5	-33,37	149,22	1,90	94,96	-	-
18	202	6	5	4	0,2	70,82	402,23	103,42	301,71	140,78	254,61
19	145	4	3	2	1,3	49,16	353,26	80,77	277,21	105,52	211,99
20	198	6	5	4	0,2	70,82	402,23	103,42	301,71	140,78	254,61
21	146	4	3	2	1,3	49,16	353,26	80,77	277,21	105,52	211,99
22	191	6	6	5	0,5	66,20	392,46	96,35	294,74	137,55	251,39
23	99	3	3	2	1,6	24,68	289,97	51,04	229,36	72,16	162,36
24	382	11	12	9	7,7	140,13	624,93	257,61	400,94	314,54	409,78
25	270	9	10	8	3,2	93,37	477,23	138,38	338,81	203,52	324,21
26	282	12	7	3	7,0	104,63	532,46	163,82	362,10	188,85	315,26
27	213	10	5	2	5,1	78,45	452,66	117,16	324,35	133,62	252,65
28	322	11	7	5	3,3	126,75	560,32	184,64	367,37	230,18	345,95
29	290	10	6	4	2,7	109,14	513,13	157,51	350,67	195,02	314,25
30	223	7	7	6	0,8	78,58	425,22	112,51	312,36	161,26	278,76
31	241	5	5	6	2,1	84,92	449,29	127,21	327,39	188,94	309,00
32	87	5	5	2	1,1	17,06	267,28	37,56	200,04	49,85	124,40
33	36	3	3	1	4,8	-29,04	153,63	5,31	105,65	15,99	58,72
34	216	8	7	5	0,4	77,05	418,56	108,93	307,94	146,95	262,02
35	67	5	6	2	3,0	1,39	233,20	22,41	164,98	31,85	92,77
36	115	7	7	3	1,5	30,98	306,43	50,32	228,90	65,69	152,77
37	36	2	2	1	5,4	-23,85	170,88	8,80	123,53	17,41	63,80
38	98	3	3	2	1,6	24,68	289,97	51,04	229,36	72,16	162,36

Махаланобіса та інтервалів передбачення [11]. Розповімо про суть цього методу [11]. На першому етапі, як це зазвичай робиться, початкові негаусівські дані перевіряються на наявність викидів. Якщо останні знайдено, то такі дані відкидаються. Для цього пропонується використовувати квадрат відстані Махаланобіса для нормалізованих даних. На першому етапі рівень значущості дорівнює 0,005. На другому етапі будується нелінійна регресійна модель із застосуванням відповідного методу на основі багатовимірних нормалізуючих перетворень [8]. Після цього на третьому етапі для рівня значущості, що дорівнює 0,05, визначаються межі інтервалу передбачення нелінійної регресії за методом, наведеним у джерелі [8]. На четвертому (завершальному) етапі перевіряють, чи є серед даних, за якими будувалася нелінійна регресійна модель, такі, що виходять за визначені межі інтервалу передбачення. Якщо останні знайдено, то вони відкидаються. Потім знову повторюються всі етапи для нових даних. Якщо таких викидів не було, то повторення етапів завершу-

ється, відповідна нелінійна регресійна модель побудована.

Для нелінійного регресійного рівняння (2) з оцінками параметрів, що були отримані згідно з даними з табл. 1 з 38 мобільних застосунків, виявилося, що значення Y для трьох застосунків (5, 6 і 11) виходять за визначені межі інтервалу передбачення. У табл. 1 ліва межа інтервалу передбачення, що отриманий на першій ітерації [8], позначена як LB_1, а права – як UB_1. Усього було 5 таких ітерацій, після яких залишилося 30 мобільних застосунків (1, 3, 4, 7, 9, 10, 12–14, 18–38). У табл. 1 ліва межа інтервалу передбачення, що отриманий на п'ятій ітерації [8], позначена як LB_5, а права – як UB_5.

На п'ятій ітерації для даних з 30 мобільних застосунків оцінки параметрів багатовимірного перетворення Джонсона для сімейства S_B такі: $\hat{\gamma}_Y = 0{,}58590$; $\hat{\gamma}_1 = 0{,}316749$; $\hat{\gamma}_2 = 0{,}86299$; $\hat{\gamma}_3 = 0{,}48606$; $\hat{\eta}_Y = 1{,}01714$; $\hat{\eta}_1 = 0{,}63606$; $\hat{\eta}_2 = 0{,}86557$; $\hat{\eta}_3 = 0{,}612856$; $\hat{\varphi}_2 = 1{,}5560$; $\hat{\varphi}_2 = 1{,}5560$; $\hat{\varphi}_2 = 1{,}5560$; $\hat{\varphi}_3 = 0{,}73913$; $\hat{\lambda}_Y = 500{,}266$; $\hat{\lambda}_1 = 11{,}3796$; $\hat{\lambda}_2 = 13{,}2488$; $\hat{\lambda}_3 = 8{,}52637$.

Вибіркова коваріаційна матриця $\mathbf{S}_N$ виглядає так:

$$\mathbf{S}_N = \begin{pmatrix} 1{,}0000 & 0{,}7067 & 0{,}5491 & 0{,}7808 \\ 0{,}7067 & 1{,}0000 & 0{,}8516 & 0{,}6374 \\ 0{,}5491 & 0{,}8516 & 1{,}0000 & 0{,}8161 \\ 0{,}7808 & 0{,}6374 & 0{,}8161 & 1{,}0000 \end{pmatrix}$$

На п'ятій ітерації для даних з 30 мобільних застосунків оцінки параметрів рівняння (1) є такими: $\hat{b}_0 = 0$; $\hat{b}_1 = 0{,}91484$; $\hat{b}_2 = -1{,}17495$; $\hat{b}_3 = 1{,}16023$. Сума квадратів відхилень для рівняння (1) у цьому випадку склала 1,391, що більш ніж у 10 разів менше за відповідну суму на першій ітерації.

Значення R^2, MMRE і PRED (0,25) дорівнюють 0,953, 0,133 і 0,867 відповідно і вказують на гарну якість рівняння (2) з оцінками параметрів, що були отримані згідно даними з табл. 1 з 30 мобільних застосунків.

Також за даними з табл. 1 з 30 мобільних застосунків були побудовані такі рівняння: лінійне регресійне рівняння і нелінійні регресійні рівняння за одновимірними перетвореннями у вигляді десяткового логарифму (Log10) та одновимірним перетворенням Джонсона для сімейства S_B.

Лінійне регресійне рівняння таке:

$$\hat{Y} = 40{,}250 + 28{,}973X_1 - 41{,}798X_2 + 50{,}665X_3. \quad (3)$$

Нелінійне регресійне рівняння за одновимірним перетворенням у вигляді десяткового логарифму є таким:

$$\hat{Y} = 10^{\hat{b}_0} X_1^{\hat{b}_1} X_2^{\hat{b}_2} X_3^{\hat{b}_3}, \quad (4)$$

де $\hat{b}_0 = 1{,}73898$; $\hat{b}_1 = 1{,}6687$; $\hat{b}_2 = -2{,}1116$; $\hat{b}_3 = 1{,}30125$.

Нелінійне регресійне рівняння за одновимірним перетворенням Джонсона для сімейства S_B має вигляд (2), але з такими параметрами: $\hat{\gamma}_Y = 0{,}25204$; $\hat{\gamma}_1 = 0{,}10255$; $\hat{\gamma}_2 = 0{,}49345$; $\hat{\gamma}_3 = 0{,}61963$; $\hat{\eta}_Y = 0{,}58192$; $\hat{\eta}_2 = 0{,}63352$; $\hat{\eta}_2 = 0{,}63352$; $\hat{\eta}_3 = 0{,}58967$; $\hat{\varphi}_Y = 19{,}9286$; $\hat{\varphi}_1 = 1{,}90$; $\hat{\varphi}_2 = 1{,}81688$; $\hat{\varphi}_3 = 0{,}90$; $\hat{\lambda}_Y = 370{,}175$; $\hat{\lambda}_1 = 10{,}20$; $\hat{\lambda}_2 = 10{,}6468$; $\hat{\lambda}_3 = 8{,}6277$; $\hat{b}_0 = 0$; $\hat{b}_1 = 0{,}60292$; $\hat{b}_3 = 1{,}1148$; $\hat{b}_3 = 1{,}1148$. Значення R^2, MMRE і PRED (0,25), які дорівнюють 0,953, 0,133 і 0,867 відповідно, кращі для рівняння (2) з параметрами для багатовимірного перетворення Джонсона порівняно з одновимірним, для якого ці значення складають відповідно 0,878, 0,190 і 0,767, та з цими ж показниками для рівняння (3) – 0,838, 0,237 і 0,733, а також для рівняння (4) – 0,789, 0,206 і 0,733.

Були також визначені нижні (LB) і верхні (UB) межі довірчих інтервалів лінійної регресії та нелінійних регресій за методом, описаним у джерелі [8], на основі відповідно одновимірного і багатовимірного перетворень Джонсона та одновимірного перетворення у вигляді десяткового логарифму для рівня значущості 0,05. Ці межі наведені у таблиці 2. Для визначення нижньої і верхньої меж довірчих інтервалів побудоване відповідне рівняння:

$$\hat{Y}_{CI} = \psi_Y^{-1}\left(\hat{Z}_Y \pm t_{\alpha/2,\nu} S_{Z_Y}\left\{\frac{1}{N} + \left(\mathbf{z}_X^+\right)^T \left[\left(\mathbf{Z}_X^+\right)^T \mathbf{Z}_X^+\right]^{-1} \left(\mathbf{z}_X^+\right)\right\}^{1/2}\right), \quad (5)$$

де ψ_Y^{-1} – зворотне до нормалізуючого перетворення ψ_Y для залежної змінної Y; $\hat{Z}_Y$ – результат передбачення лінійного регресійного рівняння для значень компонентів вектора $\mathbf{z}_X = \{Z_1, Z_2, \ldots, Z_k\}$, що отриманий за нормалізованими даними; $\mathbf{Z}_X^+$ – матриця центрованих регресорів, яка містить значення $Z_{1_i} - \bar{Z}_1$, $Z_{2_i} - \bar{Z}_2$, ..., $Z_{k_i} - \bar{Z}_k$; $t_{\alpha/2,\nu}$ – квантиль t-розподілу Стьюдента залежно від рівня значимості $\alpha/2$ та кількості ступенів вільності ν; $S^2_{Z_Y} = \frac{1}{\nu}\sum_{i=1}^{N}\left(Z_{Y_i} - \hat{Z}_{Y_i}\right)^2$, $\nu = N - k - 1$; $\left(\mathbf{Z}_X^+\right)^T \mathbf{Z}_X^+ - k \times k$ – матриця:

$$\left(\mathbf{Z}_X^+\right)^T \mathbf{Z}_X^+ = \begin{pmatrix} S_{Z_1Z_1} & S_{Z_1Z_2} & \ldots & S_{Z_1Z_k} \\ S_{Z_1Z_2} & S_{Z_2Z_2} & \ldots & S_{Z_2Z_k} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ S_{Z_1Z_k} & S_{Z_2Z_k} & \ldots & S_{Z_kZ_k} \end{pmatrix},$$

де $S_{Z_qZ_r} = \sum_{i=1}^{N}\left[Z_{q_i} - \bar{Z}_q\right]\left[Z_{r_i} - \bar{Z}_r\right]$, $q, r = 1, 2, \ldots, k$.

У рівнянні (5) знаки «–» та «+» відповідають рівнянням нижньої та верхньої меж довірчих інтервалів нелінійних регресій, що побудовані на

основі нормалізуючих перетварень (як одновимірних, так і багатовимірних).

Зверніть увагу, що ширина довірчого інтервалу нелінійної регресії на основі багатовимірного перетворення Джонсона менша, ніж після одновимірного перетворення Джонсона для 26 з 30 рядків даних (1, 3, 4, 7, 10, 12, 14, 18–32, 34–36, 38) та менша, ніж після одновимірного перетворення у вигляді десяткового логарифму для 25 рядків даних (1, 3, 4, 7, 10, 12, 14, 18–32, 34, 36, 38). Так само і порівняно з шириною довірчого інтервалу лінійної регресії для 30 рядків даних.

Кращі показники рівняння нелінійної регресії на основі чотиривимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сім'ї S_B для оцінювання трудомісткості розробки мобільних застосунків у фазі планування можна пояснити кращою нормалізацією, яка перевіряється за відомими критеріями [12].

Так, якщо за критерієм на основі квадрата відстані Махаланобіса гіпотеза про нормальність багатовимірного закону розподілу нормалізованих за допомогою чотиривимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сім'ї S_B даних для 30 застосунків з табл. 1 приймається для рівня значущості 0,005, то у разі застосування одновимірного перетворення та без нього – відкидається.

Висновки. Нами удосконалено трифакторне рівняння нелінійної регресії та рівняння нижньої і верхньої меж її довірчих інтервалів для оцінювання трудомісткості розробки мобільних застосунків у фазі планування залежно від кількості екранів,

Таблиця 2

Оцінки $\hat{Y}$ та межі довірчих інтервалів нелінійних регресій

№	Y	Одновимірне перетворення Log10			Одновимірне перетворення Джонсона			Чотиривимірне перетворення Джонсона		
		$\hat{Y}$	LB	UB	$\hat{Y}$	LB	UB	$\hat{Y}$	LB	UB
1	192	179,8	158,2	204,5	172,1	144,6	201,3	175,2	163,8	187,0
3	288	195,5	149,4	255,8	242,9	157,4	314,2	257,0	221,2	292,0
4	116	150,6	133,8	169,5	177,0	150,1	205,3	153,2	142,4	164,3
7	28	44,1	34,0	57,3	58,3	42,1	84,0	51,6	40,5	64,5
9	364	282,1	228,2	348,7	358,8	331,7	373,9	379,7	356,8	399,6
10	120	160,6	134,5	191,6	181,0	136,6	228,3	145,9	127,3	165,9
12	224	168,0	129,0	218,7	160,7	111,8	217,2	180,4	156,6	205,3
13	24	40,3	32,0	50,8	28,3	24,1	36,5	35,9	26,9	46,6
14	200	299,0	251,1	356,1	267,1	225,6	302,5	250,1	230,4	269,6
18	202	221,3	195,0	251,1	210,5	181,2	239,5	195,5	184,4	206,7
19	145	134,2	115,0	156,6	127,3	101,6	157,2	154,6	140,7	169,0
20	198	221,3	195,0	251,1	210,5	181,2	239,5	195,5	184,4	206,7
21	146	134,2	115,0	156,6	127,3	101,6	157,2	154,6	140,7	169,0
22	191	201,3	174,1	232,7	226,8	194,0	258,3	192,0	179,6	204,7
23	99	83,1	70,6	97,7	99,1	77,4	126,2	111,9	100,4	124,1
24	382	275,2	221,9	341,4	332,6	282,9	361,7	368,6	345,0	389,4
25	270	248,2	203,4	303,0	311,4	273,5	339,4	265,5	244,0	286,6
26	282	237,8	190,9	296,1	316,9	242,3	359,1	253,1	225,0	280,7
27	213	210,6	162,1	273,7	157,1	116,8	202,9	190,4	168,5	213,0
28	322	399,7	333,1	479,8	306,9	271,5	334,1	291,1	271,8	309,7
29	290	353,2	293,1	425,5	261,1	225,9	292,3	255,7	237,9	273,3
30	223	238,4	203,6	279,1	262,5	228,3	292,9	219,0	204,8	233,3
31	241	276,7	222,3	344,4	283,1	238,9	318,6	249,7	231,0	268,2
32	87	66,2	56,5	77,7	77,6	61,0	99,3	81,6	71,9	92,1
33	36	33,7	26,9	42,3	25,7	22,6	32,2	33,1	25,9	41,4
34	216	235,0	207,5	266,0	234,9	206,1	262,3	202,6	190,7	214,7
35	67	45,1	35,7	56,9	62,0	46,4	85,2	56,9	46,6	68,7
36	115	96,7	82,7	113,1	115,5	90,3	146,1	103,7	91,3	117,0
37	36	40,3	32,0	50,8	28,3	24,1	36,5	35,9	26,9	46,6
38	98	83,1	70,6	97,7	99,1	77,4	126,2	111,9	100,4	124,1

функцій та файлів мобільного застосунку на основі чотиривимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сім'ї S_B, що дозволяє підвищити достовірність оцінювання вибіркового середнього числа залежної змінної нелінійної регресії порівняно з використанням одновимірних нормалізуючих перетворень. Порівняно з іншими регресійними рівняннями (як лінійними, так і нелінійними) побудоване рівняння має більші значення множинного коефіцієнту детермінації і відсотку передбачень та менші середні величини відносної похибки та ширини довірчого інтервалу нелінійної регресії. На прикладі удосконалення трифакторного нелінійного регресійного рівняння підтверджено працездатність методу покращення нелінійних регресійних моделей на основі багатовимірних нормалізуючих перетворень із застосуванням квадрата відстані Махаланобіса та інтервалів передбачення. Надалі планується використання інших наборів даних та нормалізуючих перетворень для побудови нелінійного регресійного рівняння для оцінювання трудомісткості розробки мобільних застосунків.

Список літератури:

1. Zhu H. Software Design Methodology: From Principles to Architectural Styles. 1st Edition. Butterworth-Heinemann : Elsevier, 2005. 368 p.

2. Boehm B.W., Abts C., Brown A.W., Chulani S., Clark B.K., Horowitz E., Madachy R., Reifer D.J., Steece B. Software Cost Estimation with COCOMO II. Upper Saddle River. NJ : Prentice Hall PTR, 2000. 544 p.

3. Rouse M. Mobile application development. URL: https://searchmicroservices.techtarget.com/definition/mobile-application-development (дата звернення: 19.07.2019).

4. Francese R., Gravino C., Risi M., Scanniello G., Tortora G. On the use of requirements measures to predict software project and product measures in the context of Android mobile apps: A preliminary study. *Proceedings of the 41st Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications (SEAA 2015).* (August 26-28, 2015, Funchal, Portugal). Funchal, 2015. P. 357–364. DOI: 10.1109/SEAA.2015.22.

5. Shahwaiz S.A., Malik A.A., Sabahat N.A parametric effort estimation model for mobile apps. *Proceedings of the 19th International Multi-Topic Conference (INMIC 2016).* (December 5–6, 2016, Islamabad, Pakistan). Islamabad, 2016. P. 1–6. DOI: 10.1109/INMIC.2016.7840114.

6. Ryan T.P. Modern regression methods. 2nd Edition. New York : John Wiley & Sons, 2008. 672 p.

7. Prykhodko S., Prykhodko N., Makarova L. Building the Non-Linear Regression Equations on the Basis of Multivariate Normalizing Transformations. *Proceedings of the 2018 IEEE First International Conference on SYSTEM ANALYSIS & INTELLIGENT COMPUTING (SAIC).* (08–12 October, 2018, Kyiv, Ukraine). Kyiv, 2018. P. 48–52. DOI: 10.1109/SAIC.2018.8516742.

8. Prykhodko N.V., Prykhodko S.B. Constructing the non-linear regression models on the basis of multivariate normalizing transformations. Electronic modeling. 2018. Vol. 40. No. 6. P. 101–110. DOI: 10.15407/emodel.40.06.101.

9. Arnuphaptrairong T., Suksawasd W. An Empirical Validation of Mobile Application Effort Estimation Models. *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists (IMECS 2017).* (March 15–17, 2017, Hong Kong, China). Hong Kong, 2017. P. 697–701.

10. Prykhodko S., Prykhodko N., Makarova L., Pugachenko K. Detecting Outliers in Multivariate Non-Gaussian Data on the basis of Normalizing Transformations. *Proceedings of the 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON) «Celebrating 25 Years of IEEE Ukraine Section».* (May 29 – June 2, 2017, Kyiv, Ukraine). Kyiv, 2017. P. 846–849. DOI: 10.1109/UKRCON.2017.8100366

11. Приходько С.Б., Приходько Н.В. Метод покращення нелінійних регресійних моделей на основі багатовимірних нормалізуючих перетворень. *Прикладні науково-технічні дослідження* : матеріали III міжнар. наук.-практ. конф. м. Івано-Франківськ, 3–5 квітня 2019 р. Івано-Франківськ : Сімфоня Форте, 2019. С. 20.

12. Mardia K.V. Measures of multivariate skewness and kurtosis with applications. *Biometrika.* 1970. Vol. 57. P. 519–530. DOI: 10.1093/biomet/57.3.519.

Prykhodko S.B., Prykhodko N.V., Knyrik K.O. THREE-FACTOR NON-LINEAR REGRESSION EQUATION TO ESTIMATE THE EFFORTS OF DEVELOPMENT OF MOBILE APPLICATIONS IN A PLANNING PHASE

The goal of the work is the creation of the multiple non-linear regression equation for estimating the efforts of developing mobile applications on the basis of the multivariate normalizing transformation. A three-factor non-linear regression equation to estimate the efforts (in man-hours) of developing mobile applications is constructed on the basis of the Johnson fourvariate normalizing transformation for S_B family. This equation is built around the Requirement Analysis Document (RAD) variables (number of screens, number of functions

and number of files). Comparison of the constructed equation with the linear model and non-linear regression models based on the decimal logarithm and the Johnson univariate transformation has been performed. In comparison with other linear regression equations and non-linear regression equations based on the univariate normalizing transformations, constructed equation has a larger multiple coefficient of determination, a smaller value of the mean magnitude of relative error, a larger value of percentage of prediction and smaller widths of the confidence and prediction intervals of non-linear regression. This may be explained best multivariate normalization and the fact that there is no reason to reject the null hypothesis that the fourvariate distribution for normalized data, which normalized by the Johnson fourvariate transformation for S_B family, is the same as the fourvariate normal distribution. The practical significance of obtained results is that the software realizing the constructed equation is developed in the sci-language for Scilab. The experimental results allow to recommend the constructed model for use in practice. Prospects for further research may include the application of other multivariate normalizing transformations and data sets to construct the multiple non-linear regression equation for estimating the efforts of developing mobile applications.

Key words: *nonlinear regression equation, confidence interval, prediction interval, effort estimation, mobile application, normalizing transformation, non-Gaussian data.*

УДК 004.94 + 004.031.43 + 004.415.2
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-1/26

Святний В.А.
ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Мірошкін О.М.
Університет Ульма (Німеччина)

Мінаков М.А.
ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Маргієв Г.Е.
ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

ВИКОРИСТАННЯ РОЗПОДІЛЕНОГО ПАРАЛЕЛЬНОГО МОДЕЛЮЮЧОГО СЕРЕДОВИЩА ПІД ЧАС РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

Для вирішення певних прикладних задач комп'ютерні системи повинні приймати рішення в обмежені інтервали часу. Прикладом таких систем є системи реального часу, або вбудовані системи. Розробка вбудованих систем ускладнюється постійним зростанням кількості та складності вимог і системних функцій та ускладненням систем в цілому. У цій статті розглянуто підходи до розробки вбудованого програмного забезпечення як найважливішої частини вбудованої системи, зокрема використання V-моделі як методики розробки вбудованого програмного забезпечення. Описано її переваги та недоліки. Розглянуто модельну підтримку процесу розробки вбудованих систем та використання документо-базованого підходу, їх переваги та недоліки. Наведено модельно-базований підхід до розробки. Розглянуто особливості використання SPES-фреймворка як комплексної методики розробки вбудованих систем. Приділено особливу увагу опису кожної з чотирьох позицій, які визначаються SPES-фреймворком. Розглянуто використання підходу Design Space Exploration, що може бути застосований на останніх етапах моделювання вбудованої системи. Описано переваги використання модельно-базованого підходу та SPES-фреймворку. Наведено основний засіб для проведення верифікації та валідації моделі вбудованої системи. Розглянуто парадигми валідації та верифікації, такі як Model/Software/Hardware -in-the-loop simulation. Описано проблему використання послідовних симуляторів. Запропоновано використання високопродуктивного розподіленого паралельного моделюючого середовища, що може бути використане під час розробки, валідації та верифікації моделі вбудованої системи. Визначено подальшу роботу з використання розподіленого паралельного моделюючого середовища в процесах розробки та тестування вбудованих систем і вбудованого програмного забезпечення.

Ключові слова: *вбудована система, модельно-базована розробка, SPES-фреймворк, V-модель, Model-in-the-loop, розподілене паралельне моделююче середовище.*

Постановка проблеми. Більшість вбудованих систем належить до систем реального часу – класу комп'ютерних систем, які мають вирішувати спеціалізовані задачі за певні часові інтервали [1, с. 3]. При цьому характеристики часових інтервалів визначаються галуззю застосування вбудованої системи та можуть мати істотні відмінності для різних випадків застосування.

Постійні ускладнення систем, збільшення кількості виконуваних функцій, посилення вимог безпеки, скорочення витрат на розробку та доведення розробки до ринку призводять до того, що розробка сучасних вбудованих систем стає все більш складною задачею. Нагальною проблемою є запровадження сучасних методик розробки надійних систем реального часу з одночасним зниженням кількості використаних для проєктування часових та інших ресурсів.

Вбудовані системи складаються з програмного та апаратного забезпечення. Обчислювач найчастіше реалізується за допомогою мікроконтролерів, що приєднуються до різноманітної апаратури комунікаційних приладів, сенсорів, виконавчих механізмів (actuators) та панелі оператора чи користувача. Програмне забезпечення, що виконується на подібних мікроконтролерах, називається

вбудованим програмним забезпеченням [2] і є найважливішою частиною всієї системи, тому що реалізує бізнес-логіку, тобто функціонал системи. Отже, якість вбудованого програмного забезпечення визначає і якість всієї вбудованої системи взагалі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Життєвий цикл програмного забезпечення *(Systems development life cycle)* – це проміжок часу з моменту прийняття рішення про необхідність створення програмного забезпечення до моменту проведення приймальних тестів (Acceptance testing) та пусконалагоджувальних робіт [3]. Серед моделей, що використовуються під час розробки вбудованого програмного забезпечення, можна виділити такі: водоспадна модель, V-модель, спіральна модель, еволюційна модель, ітеративна модель [4]. Моделлю, що де-факто є стандартом під час розробки вбудованих систем, є V-модель XT 2005, яка також рекомендована для використання під час роботи над військовими та аерокосмічними проєктами [5]. Розглянемо її основні положення, переваги та недоліки.

V-модель визначає результати, які будуть досягнуті в проєкті, і описує конкретні процедури. Крім того, вона визначає обов'язки окремих учасників проєкту. На рисунку 1 схематично зображено процес розробки.

Переваги V-моделі:

– мінімізація проєктних ризиків;

– обмеження загальної вартості протягом всього проєкту і життєвого циклу системи;

– покращення комунікації між усіма зацікавленими сторонами;

– створення прототипів у процесі розробки.

Недоліки V-моделі:

– перевірка, яка спрямована на демонстрацію того, що специфікація вимог чи продукт відповідають первинному наміру, проводиться після імплементації;

– надмірна різноманітність артефактів (наприклад, документів, ролей) і бюрократія;

– без відповідної інструментальної підтримки V-модель практично неможливо використовувати.

Серед недоліків V-моделі основним є те, що тести, верифікація та валідація проводяться після імплементації програмного забезпечення, що ускладнює виправлення помилок. Найбільш негативним сценарієм є наявність помилки в специфікації вимог. Тоді виправлення цієї помилки коштує дуже дорого, особливо на пізніх стадіях розробки.

Постановка завдання. Основною метою публікації є опис методів імплементації розподіленого паралельного моделюючого середовища в наявну методологію розробки вбудованих систем.

Виклад основного матеріалу дослідження. Можливим рішенням мінімізації помилок є використання модельно-базованого підходу для опису вимог та системи, а також використання уніфікованої мови для опису системи (наприклад, UML та SysML). Методика використання подібного підходу описана в фреймворку SPES Modeling Framework (Software Platform for Embedded Systems) [6].

SPES Modeling Framework був розроблений групою німецьких фахівців для підтримки безперервного моделювання вбудованих систем для

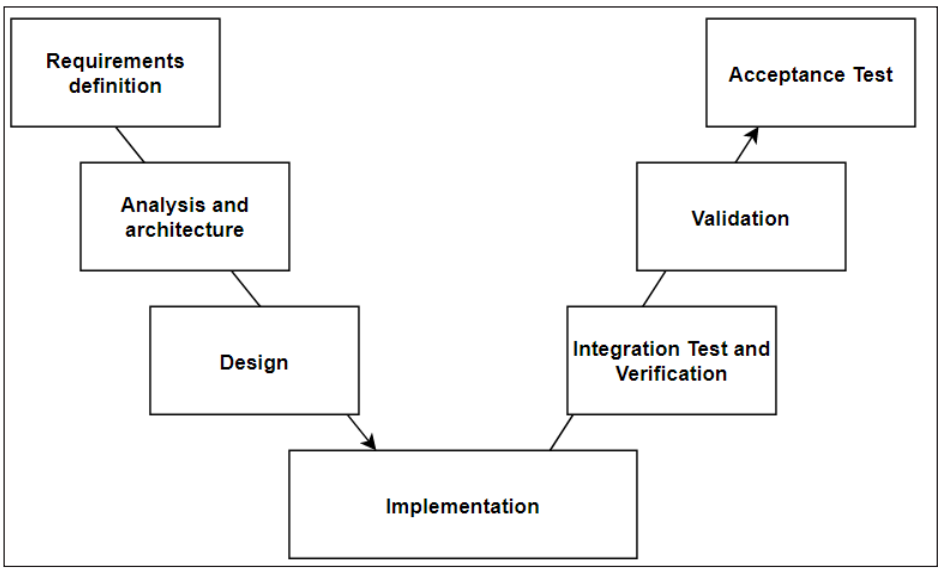


Рис. 1. Схематичне зображення V-моделі розробки вбудованого ПЗ

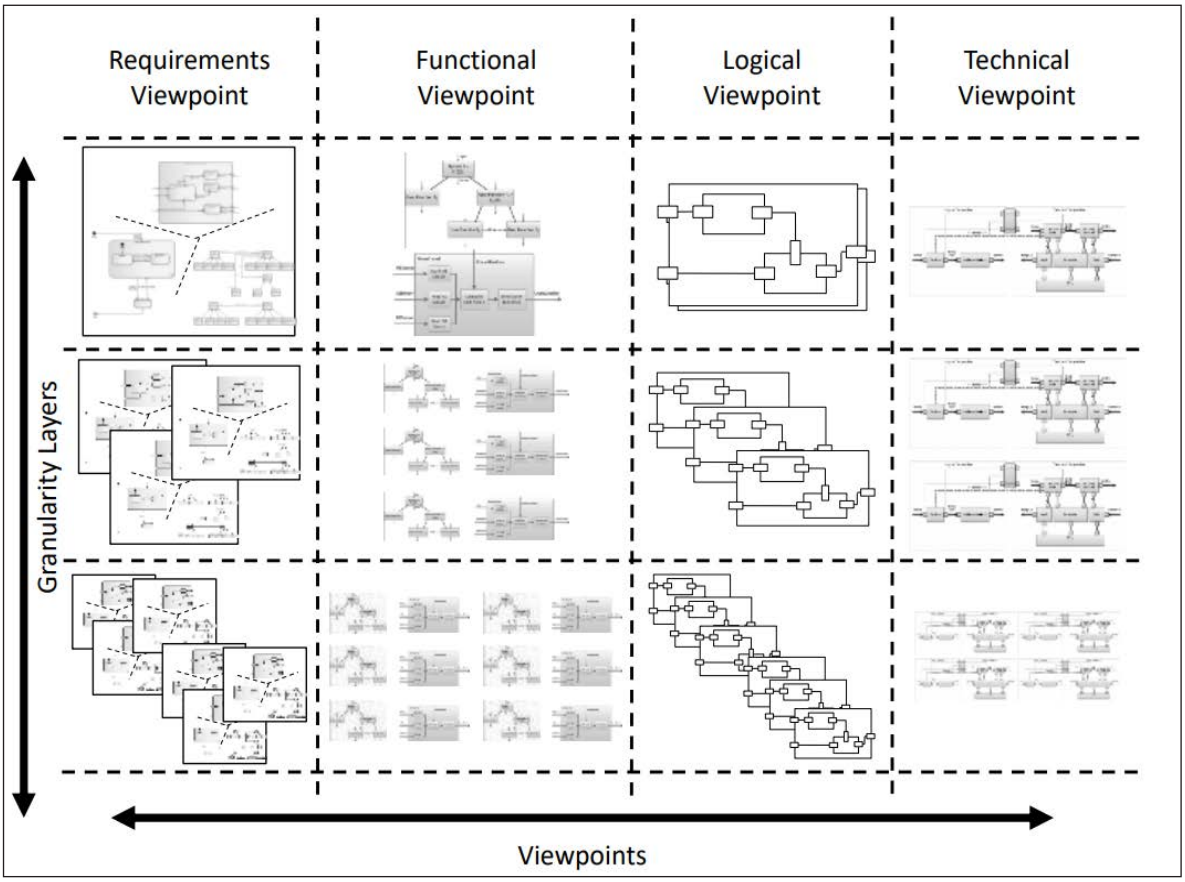


Рис. 2. Позиції з приводу розроблюваної системи за SPES Modeling Framework

різних галузей застосування [7]. Артефактно орієнтований характер дозволяє створювати моделі залежно від індивідуальних потреб без визначення процесу їх створення, що робить цей підхід більш адаптивним. Для цього фреймворк визначає чотири позиції:

– позицію вимог (Requirements Viewpoint);
– функціональну позицію (Functional Viewpoint);
– логічну позицію (Logical Viewpoint);
– технічну позицію (Technical Viewpoint).

Кожна позиція описує систему зі свого боку та має різні рівні деталізації (Granularity Layers) [8, с. 23–25].

Позиція вимог (Requirements Viewpoint) – це набір моделей, що описують фундаментальну поведінку майбутньої системи (System under Development) (далі – SUD), її взаємодію с середовищем, де буде функціонувати система (контекст). Це можуть бути інші вбудовані системи (наприклад, якщо SUD є частиною іншої системи чи так званої екосистеми вбудованих систем (Internet of Things)), кіберпростір, користувач, технічний чи фізичний процес. Моделі цієї позиції вимог описують цілі (goals), межі, а також сценарії SUD, що є основою для моделей з інших позицій [9, с. 30–56].

Функціональна позиція описує функціональність SUD, при цьому розробляються моделі для опису окремих функцій та зв'язків між ними.

Логічна позиція зосереджена на декомпозиції SUD на логічні компоненти, які будуть функціонувати в межах одного електронного блоку керування. На цьому етапі приймаються найважливіші архітектурні рішення [9, с. 54–80].

Технічна позиція включає апаратні особливості SUD. Ця позиція фокусується на розміщенні логічних компонентів, визначених у логічній позиції, на апаратних компонентах (Deployment). На цьому етапі доступне використання підходу Design Space Exploration(DSE). Можна спрогнозувати, як сильно буде завантажена система, чи можливе доповнення новими функціями після релізу SUD шляхом оновлення програмного забезпечення, споживання ресурсів тощо. SPES Modeling Framework не вимагає використання шляху від позиції вимог до технічної послідовно, а пропонує розробникам обирати свій власний шлях через позиції та рівні деталізації залежно від особливостей системи чи компонентів

системи, контексту, вимог, компанії. Приклади наведені на рисунку 3.

Перевагами використання модельно-базованого підходу та SPES-фреймворку є побудова комплексної моделі вбудованої системи та застосування засобів для валідації та верифікації майбутньої системи вже на ранніх етапах розробки. Одним з таких засобів може бути симуляція.

Під час моделювання і симуляції вбудованої системи можна перевірити те, чи вірно розроблені вимоги до системи, чи вірно працюють алгоритми системи, а головне – чи це та система, яка потрібна замовнику. Етапами валідації та верифікації є проведення тестів за допомогою емуляторів контексту [10].

Розглянемо приклад, коли вбудована система повинна використовуватися для взаємодії з механічною чи фізичною системою за допомогою сенсору та виконавчого механізму (Рисунок 4). Для тестування такої системи необхідна модель механічної системи (імітаційна модель), яка повинна емулювати її поведінку та інтерфейс. Таке тестування – Model-in-the-loop simulation – є найпростішим підходом для верифікації вбудованих систем, що не потребує додаткових ресурсів.

Така модель механічної системи може бути реалізована за допомогою комп'ютерної системи і під'єднаної напряму до моделі вбудованої системи (Рисунок 5). Такий підхід дозволить на ранніх етапах проводити тестування на рівні або за межами діапазону штатних параметрів, а також перевірку системи у разі збою. Пізніше імітаційну модель можна використовувати під час програмно-апаратного моделювання (Hardware-in-the-loop), де замість моделі використовується прототип вбудованої системи.

Для проведення Model-in-the-loop simulation необхідне створення високоточних імітаційних моделей, підвищення якості яких призводить до різкого росту навантаження на комп'ютерну систему. Отже, самого використання послідовних симуляторів може бути недостатньо для проведення подібних тестів. Альтернативою може стати використання паралельних та розподілених сис-

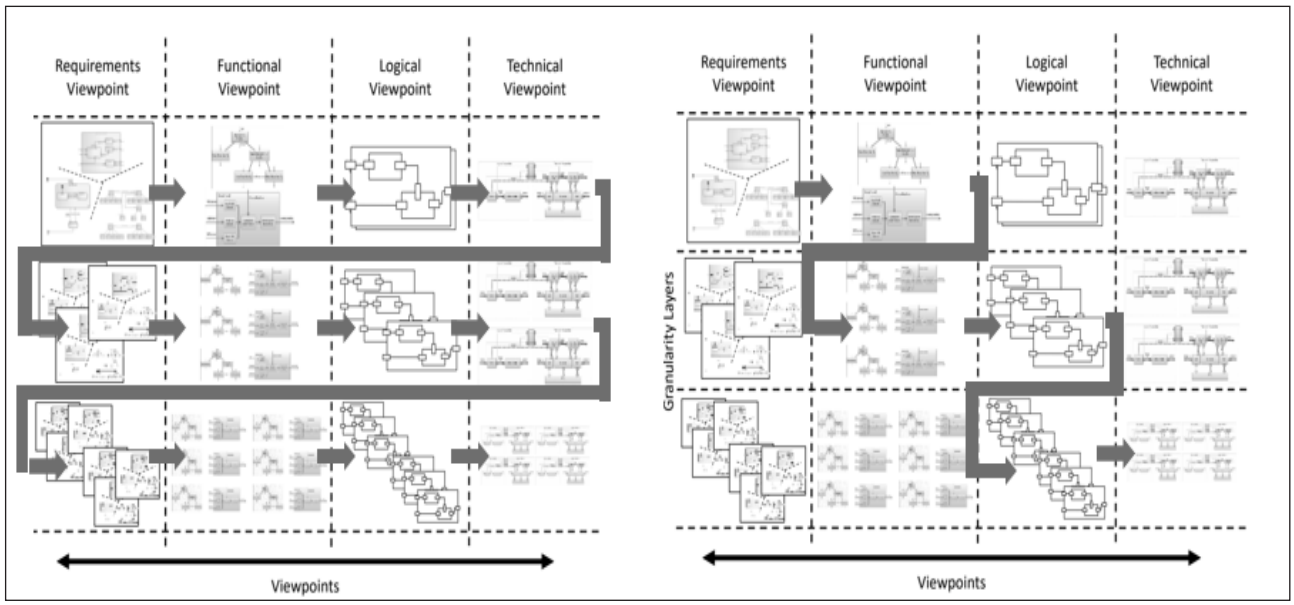


Рис. 3. Шляхи проходу по SPES-матриці

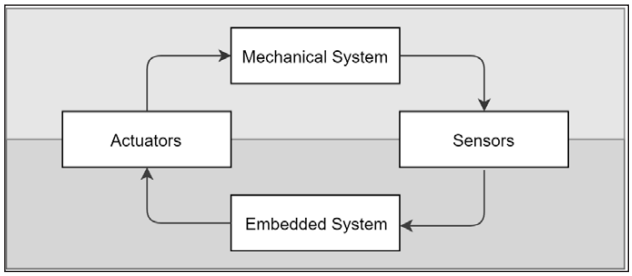


Рис. 4. Схема взаємодії між вбудованою та механічною системами

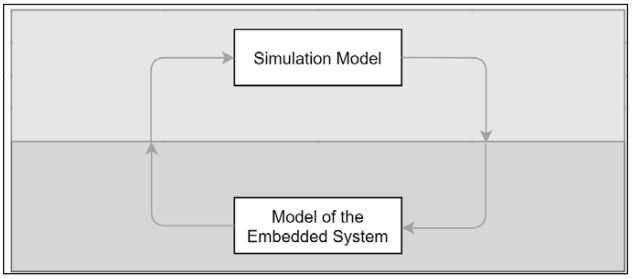


Рис. 5. Схема тестування "Model-in-the-loop simulation"

тем симуляції, таких як розподілене паралельне моделююче середовище (РПМС) [11, с. 83–90].

Використання високопродуктивної РПМС в Model/Software/Hardware-in-the-loop simulation під час проведення тестів має усунути можливі помилки, пов'язані з недостатньою продуктивністю послідовних обчислювальних систем для забезпечення взаємодії в режимі реального часу.

Висновки. Подальша робота з використання РПМС у процесах розробки та тестування вбудованих систем спрямована на вирішення таких питань: яку мову для опису поведінки імітаційної моделі й інтерфейсів необхідно використовувати, як адаптувати емуляційну модель для використання у паралельному середовищі, як налагодити взаємодію з моделлю вбудованої системи.

Список літератури:

1. П.Б. Вовк, А.П. Усійчук. Проблеми проєктування вбудованих систем. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво* : науковий журнал. Випуск № 11. Луцьк : Видавництво ЛНТУ, 2013. С. 82-87.

2. Michael Barr. Embedded Systems Glossary. Netrino Technical Library URL: https://barrgroup.com/Embedded-Systems/Glossary (дата звернення: 27.09.2019).

3. EEE 610.12-1990 – IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology (ДСТУ 2844-94 Програмні засоби ЕОМ. Забезпечення якості. Терміни та визначення).

4. V-Modell XT, FAQ. IT-Beauftragter der Bundesregierung URL: https://www.cio.bund.de/Web/DE/Architekturen-und-Standards/V-Modell-XT/Haeufig-gestellte-Fragen/haeufig_gestellte_fragen_node.html (дата звернення: 27.09.2019).

5. Security, safety & human factors. IABG Safety URL: https://www.iabg.de/en/services/schooling-training/security-safety-human-factors (дата звернення: 27.09.2019).

6. M. Broy. Mission und Vision von SPES 2020. White Paper. 2010.

7. Wolfgang Böhm, Marian Daun, Vasileios Koutsoumpas, Andreas Vogelsang, Thorsten Weyer. Advanced Model-Based Engineering of Embedded Systems: Extensions of the SPES 2020 Methodology, 2016. Print ISBN: 978-3-319-48002-2, Electronic ISBN: 978-3-319-48003-9.

8. Weber R., Reinkemeier P., Henkler S., Stierand I.: Technical Viewpoint. In: K. Pohl, H. Hönninger, R. Achatz, M. Broy: Model-Based Engineering of Embedded Systems: The SPES 2020 Methodology. Springer, Heidelberg/New York, 2012. DOI: 10.1007/978-3-642-34614-9.

9. Andreas Jedlitschka, Ulrich Löwen (2012). Overview of the SPES Evaluation Strategy. In K.Pohl et al. (Eds.) Model-Based Engineering of Embedded Systems: The SPES 2020 Methodology, Spinger Berlin Heidelberg, pp. 131–135.

10. Forsberg, K., Mooz, H. System Engineering for Faster, Cheaper, Better. San Jose, 1998.

11. Святний В.А. Паралельне моделювання складних динамічних систем. *Моделирование-2006* : Международная конференція. Киев, 2006. С. 83–90.

Svyatnyy V.A., Miroshkin O.M., Minakov M.A., Marhiiev H.E. DISTRIBUTED PARALLEL SIMULATION ENVIRONMENT USAGE FOR EMBEDDED SYSTEMS DEVELOPMENT

To solve some engineering tasks, computer systems should make decisions within the limited time intervals. Such systems are called real-time systems or embedded systems. The development of embedded systems becomes more and more complicated because of increasing of requirements complexity and system functions number, furthermore the complexity of whole system. In this paper we discuss embedded software development approaches, as the most important part of the embedded system, in particular the usage of V-model as a complex embedded software development approach. Its advantages and disadvantages are described. We considered a model support of embedded systems development process and usage of the document-based approach, their advantages and disadvantages. The model-based approach of development is also described. The peculiarities of the SPES-framework usage as a complex method of embedded systems development are considered. Special attention is paid to the description of four viewpoints defined by the SPES-framework. The usage of the Design Space Exploration approach, which can be applied at the final stages of embedded system modeling, is considered. The advantages of the model-based approach usage and in particular SPES-framework are described. The main method for verification and validation of the embedded system model is given. Paradigms of validation and verification such as Model/Software/Hardware-in-the-loop simulation are considered. Problems of sequential simulators application are described. It is proposed to use a high-performance distributed parallel simulation environment (DPSE) for development, validation and verification of the embedded system model. Further work on the use of distributed parallel simulation environment in the development and testing of embedded systems and embedded software is defined.

Key words: *embedded systems, model-based development, SPES-framework, V-Model, Model-in-the-loop, distributed parallel simulation environment.*

UDC 681.5.013
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-1/27

Stepanets O.V.
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Shram D.O.
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

APPLICATION OF FAULT-TOLERANT AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS ON THERMAL POWER PLANTS

The purpose of the article is to compare the production of electricity at different types of power plants, in particular, to get acquainted with the sphere of modern thermal power engineering of Ukraine, to form a general overview of the problems of automatic control systems of thermal and energy objects and complexes. The energy market requires a clear adherence to the indicators of the quality of electricity, which is influenced by the status of the main production assets of the power plants and the quality of their management. In modern world paradigm of automatic control theory development, fault-tolerant control systems aimed at ensuring trouble-free technological processes are promising.

The paper describes the dynamics of changes in the ratio between different energy sources in recent years, which will affect the direction of research by evaluating the use of energy sources in the future. There is low level of tolerance towards performance degradation in power generation plants (PGPs). They have much of issues and potential faults, like low productivity, losses of production, human safety, environmental hazards and pollution. To avoid undesirable conditions and to supply uninterrupted power to industrial and other users, power generation industry has started to use Fault Detection and Isolation (FDI) methods in power generation plants. The current state of thermal power plants used in shunting modes is considered. The scheme of operation of a thermal power plant is considered in detail, the key elements that require control and application of fault-tolerant control systems are identified. The main aspects of failures in automatic control circuits are given. The typical power plant is analyzed for these aspects and the examples show causes and locations of failures in the main structural elements of the power plant: turbines, boilers, including combustion subsystems, water supply, steam generation and steam use. There is shown the role of fault-tolerant systems in the management strategy of the facility, which is implemented both at the design and in operation stages, in the article.

Key words: *power energy generation, fault detection and isolation, fault diagnosis, fault-tolerant system, thermal power plant, maintenance strategy.*

Problem definition. Ukrainian power sector is the most significant component of the social overhead capital and of industrial potential. Ukrainian economic is affected directly by the utilities sector trough growth of GDP. During last 2 years industrial growth has been increasing after its fall before in 2015, so power requirements are also increasing rapidly. Electricity consumption (net) by industries of the national economy and the population during the 10 months of 2018 amounted to 99 484.6 million kWh, that is 2 351.0 million kWh (or 2.4%) more than during the same period in 2017 [1, p. 3]. As a result, there is low level of tolerance towards performance degradation in power generation plants (PGPs). Power units of pulverized coal-fired plants, which remained without the Donbass anthracite, reduced the load, and in some cases even stopped, therefore the country was forced to buy coal in South Africa, Australia and Russia [2, p. 20].

There are much of issues and potential faults in power generation plants, like low productivity, losses of production, human safety, environmental hazards and pollution. A study by Rosen [3, p. 155] has revealed, that saving of about 30% in maintenance cost can be achieved by simply changing from preventive maintenance to Condition Based Maintenance (CBM) in which a Fault Detection and Isolation (FDI) system plays a major role. Advancement into FDI algorithm, therefore, would mean significant improvement in the CBM capacity. So research in the area of root technological clauses of power plants failures and preventive fault detection methods are very important.

Overview of Thermal Power Plants and their problematic. The main load in the 2014-2015 biennium was at nuclear power plants, that's why all preventive and repair measures were delayed. Due to the temporary occupation of Crimea, the prospects for further growth of own natural gas production have gone nastier, and because of hostilities, the outflow of Western investors funds from the energy market of Ukraine took place.

In January-October 2018, the volume of electricity produced by power plants, included in the UES of Ukraine, amounted to 15 870.5 million kW*y (Fig. 1), which is 1 069.0 million kW*y or 1.2% more than the corresponding period of 2017 [1, p. 9]. At the same time, thermal power plants (TPPs) and central heating and power plants (CHPPs) produced electricity at 1 280.7 million kW*y, or 23% more than the corresponding period of 2017 and amounted to 6 835.2 million kW*y. A very important aspect regarding the heat and power complex is the formation of local energy systems based on the economically efficient consideration of the potential of local fuels and logistics. It is also a contribution to the reconstruction of district heating units in order to minimize losses and support the implementation of cogeneration projects at CHPPs and cogeneration of biofuels [4, p. 14]. The reconstruction of CHPPs should be carried out in accordance with the requirements of environmental standards and the introduction of a system of commercial calculations based on quality indicators for the provision of heating and cooling services. Equally important is reassessment of technical and economic indicators of projects for long-distance transport of heat from large energy facilities (TPPs and NPPs) and the decision on the feasibility of their implementation. Programs must be formed to support the modernization or replacement of old boilers, the transfer of heat consumers to autonomous and / or individual heating, where this is economically feasible. In current conditions of limited types and high cost of coal extracted in Ukraine for heat power engineering, the task is to transfer a few coal-fired TPPs to the coal of a gas group in accordance with technical and economic feasibility.

The first Energy Strategy of Ukraine for the period up to 2030 was approved in 2006, but changes in the country's economy have necessitated its revision already in 2012. However, the proposed version of the Energy Strategy again did not consider the real energy balance and investment climate in the country then, as well as the fact, that in 2005–2012 the GDP growth in Ukraine was accompanied by a high energy intensity of the gross product. New Energy strategy 2035 [5, p. 2] has been implemented by the Cabinet of Ministers of Ukraine. At the same time, in addition to satisfying demand in the short and medium term, the strategic task of the next ten years is to prepare Ukraine's energy system for large-scale upgrading of capacity after 2025.

The detailed chain of technological processes from the delivery of fuel to TPPs to producing of electricity is displayed on the technological scheme [6, p. 173] on Fig. 2. We will discuss possible faults and failures in TPPs after the overview of the process. At TPPs that burn gas-oil fuel, the fuel-handling facility is

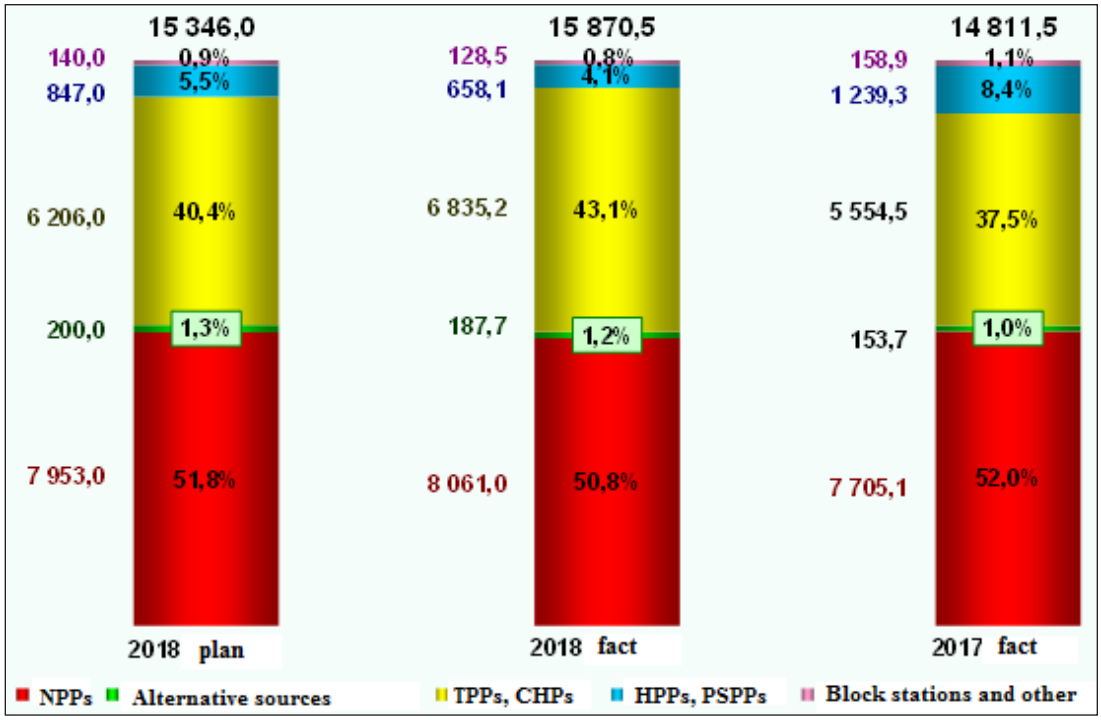


Fig. 1. Structure and volumes of electricity production by the United Energy System (UES) of Ukraine in 2017-2018, mln. kW*y (Source – The Ministry of Energy and Coal Industry of Ukraine (MECIU) as on the 27th of July 2019)

significantly simplified compared to pulverized TPPs; a coal warehouse, a crushing department, a system of conveyors, a raw coal and dust bunker, and a system for ash collecting and ash removal are not available.

The heated steam from the output header of the steam superheater enters the high-pressure cylinder (HPC) of the steam turbine 26a via the steam line 25. After the HPC, steam over the "cold" intermediate superheat steam line 27 returns to the boiler and enters the intermediate superheater 28, in which it overheats again to the temperature of the fresh steam or close to it. The "hot" intermediate-heating line 27a supplies steam to the medium-pressure cylinder (MPC) 26b, then into the low-pressure cylinder (LPC) 26b and from it - to the turbine condenser 29. From the condensate collector condenser condensate pumps of the first stage 30 supply condensate to the filters of the condensate purification installation 31, after which the condensate is pumped through the second stage condensate pump through a group of low-pressure heaters (LPH) 33 to deaerator 34. In a deaerator, water is brought to a boil and at the same time released from aggressive O3 and CO2 gases dissolved in it, which prevents corrosion in the steam-water path. The deaerated feedwater from the storage tank of the deaerator supplied by pump 35 is fed through a group of high-pressure heaters (HPH) 36 to economizer 37. This closes the steam and water path, which includes the steam and water paths of the boiler and turbine plant.

The steam and water path of the TPP is the most difficult and responsible, because in this path there are highest metal temperatures and highest vapor and water pressures. To ensure the functioning of the steam and water path, a system for preparing and supplying additional water is also needed to compensate the loss of working fluid and technical water supply system of the TPP to supply cooling water to the turbine condenser.

The cooling water is pumped through the condenser tubes by the circulating pump 40 and then enters the tower cooler (cooling tower) 41, where, due to evaporation, the water is cooled to the same temperature difference to which it is heated in the condenser. The water supply system with cooling towers is used mainly in CHPP. The TPP uses water supply systems with cooling ponds. When evaporative cooling of water, the evaporation is approximately equal to the amount of steam condensed in the condensers of the turbines. Therefore, it is necessary to feed water supply systems, usually water from a river.

An electric generator 42, rotated by a steam turbine, generates an alternating electric current, which through a step-up transformer 43 goes to busbars 44 of the open distribution system (ODS) of the TPP. To the generator terminals through auxiliary transformer 45 is also attached own flow busbars 46. Thus, own needs of the power unit (electric motors of auxiliary units – pumps, fans, mills, etc.) are powered by the power unit generator. In special cases (emergency situations, load shedding, starts and stops), auxiliary power supply is provided via a backup transformer from the switchgear busbars.

Thus, the described technological scheme of TPPs is a complex of interconnected paths and systems: the fuel path, dust preparation system, steam-water path,

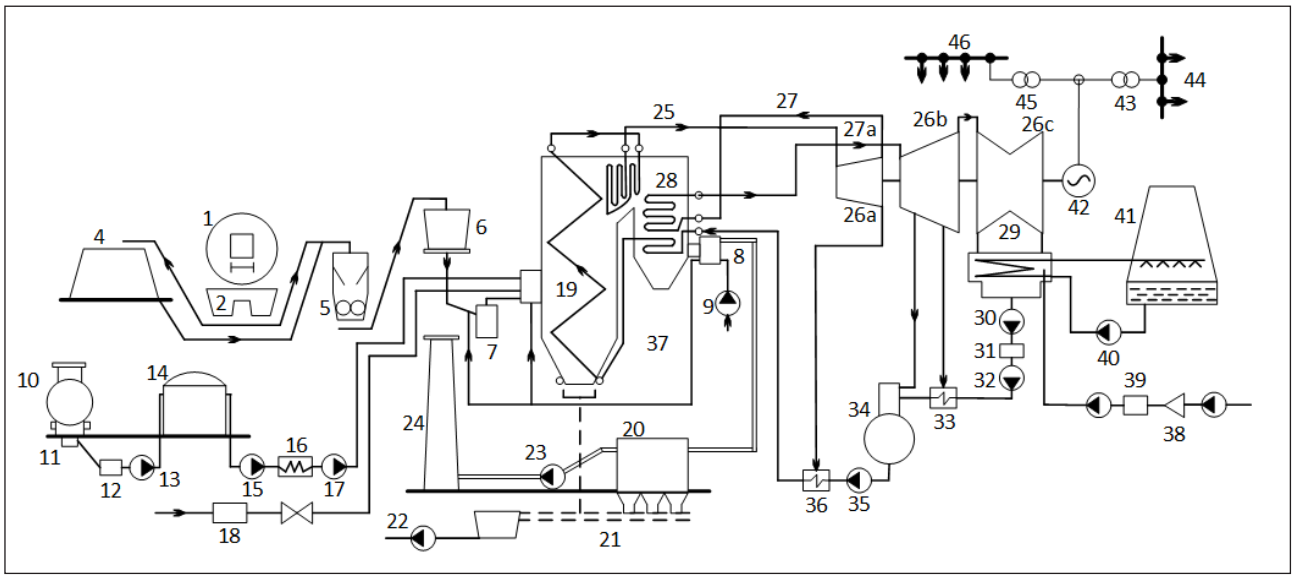


Fig. 2. Process flow-chart of a TPP

gas-air path, slag removal system, electrical part, system of additional water preparation, technical water supply system.

Heat recovery steam generator (HRSG) is a part of the TPP. The HRSG has a steam drum, water drum, water-walls, economizer (37), pre-heaters (33, 36), and feed-water pumps (35) as sub units. The prominent performance related faults common in the units include malfunction in the feed-water pump (i.e. damaged seals and erosion of impellers), tube leaks (system fault), and disturbance in the remaining critical components. Failure in the HRSG causes the exhaust gas exit temperature to increase, and exhaust gas pressure and steam production to decrease.

Setting objectives. To avoid undesirable conditions and to supply uninterrupted power to industrial and other users, power generation industry has started to use Fault Detection and Isolation (FDI) methods in conventional and renewable energy power generation plants to improve reliability and availability of power plants. Some actions are needed to be done for this purpose:

1) to structure and to localize failures in TPPs;

2) to find place of FDI methods in maintenance strategies.

Applications of FDI methods in TPPs. Thermal power plants deliver electricity that could be produced either from natural gas or coal. Several closed loop controls are used to convert chemical energy into electrical energy in any TPPs. All the closed loops should be closely monitored and precisely controlled to improve the overall efficiency of the power plant. In every closed loop system of the plant there are three types of fault [7, p. 39]: system, actuator and sensor. The first is system fault, in which the mechanical structure of the system or component is prone to damage (i.e. leak fault in pipe lines or in the tank). The second one is actuator fault, in which the characteristic of the actuator changes due to mechanical wear and tear (i.e. in pneumatic actuator faults incorrect pressure supply, diaphragm leakage, plug aging etc.). This may drastically change the system behavior, resulting in degradation or even instability. The third fault is sensor fault, in which measured value may be higher or lower than the actual one (i.e. sensor accuracy, missed calibration etc.). By applying FDI methods into closed loop system incorporating effective maintenance schedule, gives optimum efficiency of the overall plant. Improving efficiency and reliability of TPPs depend on the steam turbine control systems. For example, major failures in a steam turbine TPPs <220 MW [3, p. 25] in different capacity modes are represented on Fig. 3.

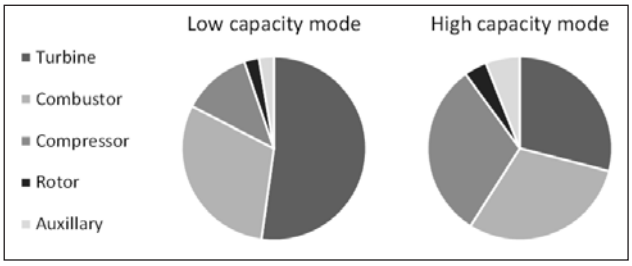


Fig. 3. Major failure in a steam turbine TPPs <220 MW

Let's summarize possible faults in TPPs in Table 1. The steam turbine (26a) fault is a major fault in TPPs from the perspective of economic losses due to failure or lack of maintenance of the steam turbine. Maintenance expenses in the TPPs are closely connected to a steam turbine. So, detecting an early fault in turbine and diagnosis is mandatory for reliability of the power plant. Several researchers have focused on various FDI methods that are applied to the turbine for TPPs [7, p. 42]. Other key faults are failures of sensors in TPPs. The sensor is an essential part of any closed loop system for measured variable, and a malfunction in sensor results in deviate the controlled variable significantly, and hence affects the plant efficiency. The various FDI methods are applied to prevent sensor faults [8]. The third important fault is actuator fault. Failure to control variable would degrade the quality and further to dangerous situations. If the actuator fails or of a fault occurs, in boiler furnace (19) exhaustion level control, the superheated steam quantity reduces drastically and affects the efficiency of the turbine. Low levels of water in economizer (37) damage due to overheating by the superheated steam. If combustion control fail affects the combustion efficiency. Various FDI methods are discussed to overcome the effect of the actuator fault in any system.

There are three types [9, p. 258] of maintenance strategy (Fig. 4). The first one is Design-Out Maintenance (DOM), that deals with maintenance considerations at the manufacturing stage of the equipment itself. The intention of this strategy is to do away with any maintenance requirement, due to the limitation of the material properties and manufacturing method, and design the parts and equipment for finite life. It is however, difficult to implement this strategy practically. The second one is called Corrective or Reactive Maintenance (CM). In this kind of approach parts are replaced when they fail. It is adoptable when the frequency of the failure of parts is high. It however causes unnecessary down-time leading to production losses. The third

Table 1

Potential faults in continuous operating process of TPP

Potential faults in TPPs	Description	Comments
Steam turbine health monitoring and control design.	Indeed, turbine health monitoring and control is an essential part of thermal power plants to improve efficiency. However, fault occurs (i.e. sensor, actuator and system faults) during the operation of the turbine. Increasing steam turbine efficiency output, various fault tolerant control (FTC) strategies have been applied.	The steam turbine of a TPP may cause major losses in terms of efficiency and maintenance. It is major equipment in any TPPs. Maintenance cost leads to significant change in the efficiency of TPPs.
Combustion control mechanism and flue gas heat recovery.	Combustion controls adjust coal and air flow to optimize steam production for the steam turbine/ generator set. In TPPs, steam reheater or super heater pipe leakage may reduce combustion efficiency, steam temperature, furnace slagging and fouling and NOX formation.	For proper combustion control in boiler, continuously provide enough air and fuel. System fault occurs in steam heater, super heater and reheater and fuel pipe line, dropping the combustion efficiency. Heat recovery is important for utilizing maximum energy from the flue gases. Leaks faults leads to in heat recovery cycle occurs energy losses.
Boiler feedwater control.	The drum water level control is essential in boiler control. Due to increasing and reducing demand of the steam drum water level must be controlled precisely. Actuator's faults lead to hazardous situations, which are caused byo an insufficient amount of water in the boiler drum.	Actuator fault occurs in the power plant system reduce efficiency of turbine due to an insufficient amount of superheated steam produced by the boiler.

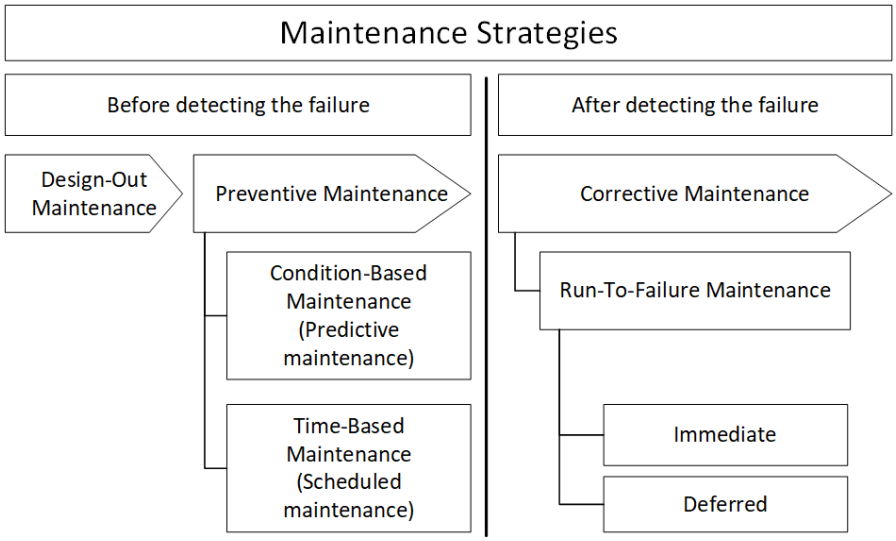


Fig. 4. Types of Maintenance Strategies

type is known as Preventive Maintenance (PM). Further PM is divided into Time-Based Maintenance (TBM) and Condition Based Maintenance (CBM). TBM schedule is predefined and applied to the plant or equipment to prevent failure before it occurs. Unlike TBM, CBM is a proactive strategy in the sense that it is recommended based on existing conditions of the plant. The advantage of the CBM strategy is reducing unnecessary shutdown and maintenance costs.

CBM strategy is employed in TPPs to improve efficiency and to reduce production costs. CBM involves three steps: data acquisition, data processing, and decision making [3, p. 47]. FDI-based scheme is used for successful application and execution of the CBM scheme.

One of the key tasks of modernization of the power industry is the construction of such automation systems that will meet the latest requirements for reliability and safety of operation of facilities. From the control theory perspective, the key problem is building of fault-tolerant systems of automatic control of heat and power complexes. Vibration monitoring and loose

part monitoring, noise analysis have been extensively applied with success in various PGPs. It is recognized, that on-line monitoring of instruments and equipment in power plant industry brings benefits to plant availability and results in better economy. Some commercial products have been developed and are increasingly used in power plants. Encouraging results have been obtained for reactor core monitoring in NPPs, furnace temperature monitoring in TPPs and transient identification. It is very important to provide predictive analytics on modern power plants, because the speed of equipment failure response can have catastrophic consequences for the population and the environment.

Careful attitude towards the environment is inherent in modern leading companies. For example [10], it is expected that the technological re-equipment of the pyloric system of the power generation unit 7 at Prydniprovska TPP (DTEK) for the conversion of burning of the domestic coal type "G" and, in particular, the modernization of the dust preparation system, which includes Modicon M580 controllers with HSBY technology, will reduce emissions of harmful substances such as sulfur dioxide and nitrogen oxide. The solution was executed by the system integrator, the company "Ipra-Soft", with the use of technology and equipment of Schneider Electric. It can be a benchmark of the studied FDI approach.

Conclusions. In the country's energy strategy, noting the growing interest in alternative energy sources and the prevalence of nuclear power, thermal power plants will continue to play a significant role. They are the main source of energy quality assurance as a tool for maneuvering power grid capacity. The energy market requires a clear adherence to electricity quality indicators, which increases the requirements for both the operation of the equipment and its control systems. An integration of fault detection and isolation methods into the automatic control circuits is very promising in this case. The failure of sensors, actuators, or unexpected behavior of the control object can be determined until the irreversible development of the emerging situation. This will increase the duration of trouble-free operation of the equipment, the quality of technological processes and reduce the cost of maintenance. The use of fault-tolerant control systems should be considered both at the design stage of new facilities and during the modernization and operation of existing power plants. The use of fault-tolerant systems for the automatic control of heat and power facilities and complexes in real time can help to measure profitability and then increase the amount of labor force through specialized asset analysis software to manage the profitability of real-time operations.

References:

1. Information on the operation of the power complex for the 12 months of 2018. URL: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/ publish/article?art_id=24533782 7&cat_id=245183225 (the date of request: 27.07.2019).
2. Khalatov A.A. Energy Sector of Ukraine: modern state and nearest prospects. *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr*. (№ 6), 2016. P. 53.
3. Jerome, R. Power Plant diagnostics go online. *American Society of Mechanical Engineers*. 111(12), 1989. P. 62.
4. Khalatov A.A., Karp I.N., Kutsan Yu.G. The power gas turbines: prospects of application in power engineering of Ukraine / Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr. (№ 11), 2015. P. 52.
5. The Energy Strategy of Ukraine till 2035. URL: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art_id=245239564&cat_id=245239555 (the date of request: 27.07.2019).
6. Girshfeld V.Y., Morozov G.N. Thermal power plants: studies. for technical schools. 2nd ed. Energoatomizdat. Moscow, 1986. P. 226.
7. Himanshukumar R. Patel, Dr. Vipul A. Shah. Fault detection and diagnosis methods in power generation plants - the Indian power generation sector perspective: an introductory review. *PDPU Journal of Energy & Management* Vol.2, No.2. Pandit, 2018. P. 31–49.
8. Toffolo, A. Fuzzy. Expert Systems for the Diagnosis of Component and Sensor Faults in Complex Energy Systems. *J. Energy Resour. Technol*. 131 (4), 2009. P. 10.
9. Mostafa S., Lee S.H., Dumrak J., Chileshe N., Soltan H. Lean Thinking for a Maintenance Process. / Prod. Manuf. Res., 2015. P. 236–272.
10. Transfer of DTEK Prydniprovska TPP to the gas coil of Ukrainian mining. URL: https://www.youtube.com/watch?v=Xqy4-miIVVI (the date of request: 5.09.2019).

Степанець О.В., Шрам Д.О. ЗАСТОСУВАННЯ ВІДМОВОСТІЙКИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ НА ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯХ

Метою статті є порівняння виробництва електроенергії на різних типах електростанцій, зокрема ознайомлення зі сферою сучасної теплоенрегетики України, формування загального огляду проблем автоматичних систем керування тепловими та енергетичними об'єктами та комплексами.

Енергоринок вимагає чіткого дотримання показників якості електроенергії, на яку впливає стан основних виробничих активів електростанцій та якість керування ними. У сучасній світовій парадигмі розвитку теорії автоматичного керування перспективними виглядають відмовостійкі системи керування, спрямовані на забезпечення безаварійності технологічних процесів.

У статті наводиться динаміка зміни співвідношення між окремими джерелами енергії за останні роки, що вплине на напрямок досліджень через оцінку використання окремих джерел енергії у майбутньому. Існує низький рівень толерантності до зниження продуктивності в електростанціях. У них є чимало проблем та можливих несправностей, таких як низька продуктивність, втрати виробництва, безпека людини, небезпека для навколишнього середовища та забруднення. Щоб уникнути небажаних умов та забезпечити безперебійну електроенергію промисловим та іншим споживачам, енергетична галузь почала використовувати методи виявлення та ізоляції несправностей на електростанціях. Розглянуто сучасний стан теплових електростанцій, які використовуються у маневрових режимах. Детально розглянута схема роботи теплової електростанції, визначені ключові елементи, які потребують контролю та застосування відмовостійких систем керування. Наведені основні аспекти відмов в контурах автоматичного керування. Відносно цих аспектів проаналізовано типову електростанцію та на прикладах показані причини та місця відмов у головних структурних елементах електростанції – турбіні, котлоагрегаті, підсистемах горіння, водоподачі, пароутворення та паровикористання. Показано роль відмовостійких систем у стратегії обслуговування об'єкта керування, що реалізуються як на етапі проєктування, так і в процесі експлуатації.

Ключові слова: *виробництво електроенергії, виявлення та ізолювання несправностей, діагностика несправностей, відмовостійка система, електростанція, стратегія обслуговування.*

УДК 004.9
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-1/28

Струзік В.А.
Національний університет харчових технологій

Грибков С.В.
Національний університет харчових технологій

Чобану В.В.
Національний університет харчових технологій

ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЯ РЕФАКТОРИНГУ В СУЧАСНИХ МЕТОДОЛОГІЯХ РОЗРОБКИ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Термін експлуатації програмного продукту неможливо передбачити на початку його створення, адже проблеми його використання можуть виникнути при виході нових операційних систем, фреймворків, нового обладнання. Розробники програмного забезпечення намагаються зберегти конкурентоздатність своєї продукції через постійну підтримку, додавання нових функцій та адаптацію наявних відповідно до нових вимог. Для гнучкого впровадження змін у власних програмних продуктах на різних етапах життєвого циклу розробники використовують рефакторинг програмного коду та баз даних. Залежно від обраної методології розробки програмного забезпечення потреба в проведенні рефакторингу виникає на різних етапах. Це зумовлює загальну ефективність створення та експлуатації кінцевого програмного продукту.

Після аналізу опублікованих видань на тему використання рефакторингу в методологіях розробки програмного забезпечення автори даної статті дійшли висновку про те, що задокументованої інформації недостатньо для повного коректного розуміння даної теми. Переважно рефакторинг описують при розборі класу методологій розробки програмного забезпечення "Agile", проте на практиці доцільно використовувати рефакторинг практично в будь-якій методології.

Дослідження проводились на основі аналізу робіт вітчизняних та зарубіжних авторів, в яких описано як рефакторинг програмного коду, так і рефакторинг баз даних, та на основі власного досвіду. Для розгляду в даній статті авторами були обрані такі методології: каскадна модель, V-модель, інкрементна модель, Rapid Application Development-модель, модель екстремального програмування, ітеративна модель, спіральна модель. Були виявлені місця проведення рефакторингу в методологіях розробки, які наведені вище, та його вплив на процес розробки програмного забезпечення, що декларується методологією. Крім цього, нами розглянуті потреби в проведенні рефакторингу та його використанні задля усунення недоліків у процесі розробки та експлуатації інформаційних систем.

Ключові слова: *методологія розробки програмного забезпечення, рефакторинг, розробка програмного забезпечення, функціональність, прототипування, цикл розробки, модель розробки.*

Постановка проблеми. Ефективність роботи команди розробників над проєктом залежить від складу та кваліфікації команди, а також від організації роботи. Під час створення програмного продукту важливо організувати процес розробки таким чином, щоб він був вигідним з погляду оптимального розподілення часу та фінансових витрат, тому важливо обирати методології розробки програмного забезпечення на початку розробки [1]. Попри склад та професіоналізм команди розробників, настає необхідність проведення рефакторингу програмного коду та баз даних. Це може бути зумовлено випуском нових версій операційних систем, фреймворків, інструментів розробки та апаратно-технічних засобів, які диктують умови використання створюваного програмного забезпечення [2]. Виявлення дефектів та їх усунення під час створення програмного забезпечення впливає на кінцеву вартість програмного продукту та загальний час на розробку, тому що залежить від етапу, на якому їх виявлено, а цей етап залежить від обраної методології командою розробників.

Отже, стаття присвячена дослідженню процесу рефакторингу в різних методологіях, вивченню особливостей його використання, а також наданню рекомендацій при виборі методологій розробки для різних проєктів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Формалізація процесу рефакторингу Кентом Беком та Мартіном Фаулером у їх спільній роботі [3], що

вперше була опублікована у 1999 році, надала розробникам глибоке усвідомлення процесів адаптації програмного забезпечення до нових викликів сучасності. Названі вчені були співавторами у створенні методології екстремального програмування, що належить до комплексу ПЗ "Agile", та внесли рефакторинг як один з основних прийомів до розробки програмного забезпечення [4; 5].

У роботі [6] наведена середня вартість виявлення дефектів залежно від часу їх виявлення та усунення. У деяких розділах наводяться рекомендації щодо проведення рефакторингу у процесі розробки.

У роботах [7; 8] детально проаналізовані різні гнучкі методології розробки програмного забезпечення, їх характеристики, базові принципи та дані рекомендації щодо їх використання.

Робота [9] присвячена принципам сучасних методологій розробки, порівнянню їхніх переваг та недоліків у різних ситуаціях.

У роботі [10] викладена історія виникнення основних методологій, їх призначення, наведена інформація про основні роботи, присвячені різним методологіям та їх авторам.

Робота [11] присвячена рефакторингу та проєктуванню баз даних, теоретичним та практичним рекомендаціям щодо усунення помилок під час проєктування та покращення структур баз даних.

Робота [12] присвячена сучасним проблемам проведення рефакторингу та удосконалення цього процесу.

Хоча вітчизняними та зарубіжними авторами присвячено чимало наукових праць методологіям розробки та рефакторингу, однак існує досить мало інформації про місце та важливість рефакторингу на різних стадіях в кожній методології, а це впливає на якість та швидкість розробки. Варто зазначити, що більшість найуживаніших методологій була створена ще задовго до формалізації рефакторингу. Також необхідно відзначити складність розуміння та використання термінологій під час опису та використання методологій, які виникли в різні періоди та мають свої аспекти, що описані в сучасних джерелах інформації.

Постановка завдання. Метою даної роботи є дослідження процесу рефакторингу в різних методологіях, вивчення особливостей його використання, надання рекомендацій при виборі методологій розробки для різних проєктів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Процесом розробки програмного забезпечення в програмній інженерії вважається розбиття процесу створення програмного продукту на фази задля вдосконалення дизайну, менеджменту продукту та проєкту. Такі фази називають циклами розробки програмного забезпечення [1]. Ці цикли формалізовані у методологіях розробки програмного забезпечення [7]. Методологія може містити аналіз попередніх результатів, а також артефактів, які розробляє та вдосконалює команда розробників.

Часто під час збільшення функціональності програмного забезпечення в процесі розробки виникає проблема сприйняття програмного коду. Для уникнення таких проблем командою розробників проводиться рефакторинг. Основними цілями рефакторингу вважаються такі: покращення програмного коду, пошук та виправлення помилок, забезпечення доступності сприйняття програмного коду усіма учасниками команди розробників, підвищення відмовостійкості проєкту в цілому, зміна програмного коду для забезпечення гнучкої модернізації при розширенні проєкту новими функціями та програмними модулями без зміни наявного семантичного значення програмного коду [3]. Окремо необхідно виділити рефакторинг баз даних, який полягає у простих змінах в схемі бази даних, що веде до її покращення при збереженні функціональності та інформаційної семантики [11]. Автори роботи [13] виділяють декілька таких категорій рефакторингу: рефакторинг структури, рефакторинг якості даних, рефакторинг посилальної цінності, рефакторинг архітектури та рефакторинг методів.

Методологія розробки програмного забезпечення – це сукупність методів, що мають спільний філософський підхід та дозволяють забезпечити найкращу ефективність процесів розробки на різних стадіях життєвого циклу [8].

Під час розробки програмного забезпечення командами розробників в усьому світі найчастіше використовуються такі методологічні моделі: каскадна модель, V-модель, інкрементна модель, RAD-модель, модель екстремального програмування, ітеративна модель, спіральна модель.

Найстаршою методологією розробки програмного забезпечення вважається каскадна модель, яку формалізував У. Ройс у роботі [11], після чого вона набула популярності. Відповідно до каскадної моделі проєкт реалізується поступово, проходячи чітку послідовність кроків, а довільні переходи з одного етапу до іншого є недопустимими. Дана модель широко використовувалась в 70-х і першій половині 80-х років, проте, оскільки каскадна модель має високу прозорість розробки і фаз проєкту, а також чітку послідовність виконання, вона досі не втрачає своєї актуальності при повторній розробці типового продукту або випуску нової

версії вже наявного продукту за умови, що зміни, які вносяться, чітко визначені та керовані. З часом недоліки каскадної моделі стали проявлятись частіше. Ці недоліки такі: потреба затвердження повного об'єму вимог вже на першій фазі; виникнення потреби внесення змін у вимоги означає повернення до першої стадії та перероблення всієї виконаної роботи; збільшення затрат коштів і часу у разі зміни вимог. Через специфіку методології не виникає потреби в проведенні рефакторингу, адже всі функціональні вимоги та технічні завдання мають бути описані та затвердженні до безпосереднього написання програмного коду. Проте на практиці якщо після початку розробки виникла потреба внесення змін, то у разі повернення до стадії реалізації є можливість використати вже створений програмний код. Попри те, що такий підхід суперечить методології, він буде економічно вигідним. Саме в такій ситуації може бути проведений рефакторинг, адже з'являється необхідність змінити початковий код програмного продукту.

V-модель – це покращена версія класичної каскадної моделі [15]. Тут на кожному етапі проводиться контроль поточного процесу, щоб переконатись у можливості переходу на наступний етап. Таку модель доцільно використовувати під час розробки невеликих проєктів, де усі вимоги чітко визначені та описані. Кожна фаза даної моделі має конкретні результати. Порівняно з каскадною моделлю використання цієї моделі забезпечує економію часу, адже є можливість виявляти недоліки на поточній фазі розробки. У разі використання V-моделі у невідповідному їй проєкті можуть виникнути складнощі з підтримкою паралельних подій та неможливість внесення динамічних змін у вимоги на різних етапах. Рефакторинг в даній моделі може проводитись за тих самих умов, що і в каскадній моделі, проте через постійний контроль процесу розробки ймовірність виникнення потреби в рефакторингу зменшується.

Інкрементна модель базується на поетапній розробці, під час якої різні частини системи розробляються в різний час і різними темпами [16]. Якщо одна частина готова, її інтегрують в систему. Модель забезпечує побудову спочатку невеликої частини системи з подальшим її розширенням в декілька етапів. Поетапний підхід дає можливість легше отримати відгуки від замовників, адже вони можуть прокоментувати результати завершених етапів. Таким чином, частини системи, розроблені на перших етапах, є прототипом всієї системи в цілому. Проте основним недоліком є погіршення структури у разі додавання нових компонентів, що робить її важкою та дорогою для наступних змін, адже для її покращення необхідні додаткові кошти і час на рефакторинг. Проведення рефакторингу можливе як на етапі створення нового модуля, так і у разі виявленні помилок проєктування у вже наявній функціональності.

RAD-модель спрямована на отримання якісного програмного забезпечення у стислі терміни через прототипування та розробку програмного забезпечення з використанням однакових технологій та засобів [1]. Згідно з даною моделлю розробка програмного забезпечення виконується невеликою командою розробників за строк близько 3–4 місяців шляхом використання інкрементного прототипування з використанням інструментальних засобів візуального моделювання і розробки. RAD є досить популярним методом розробки завдяки своїм перевагам – високій швидкості розробки, низькій вартості та високій якості. Варто звернути увагу на те, що даний метод допускає, що перші версії системи не будуть повністю працездатні, тому використання цього підходу для розробки систем, від яких залежить безпека людей, є недопустимим. У RAD-моделі рефакторинг проводиться у процесі уточнення прототипів, адже під час зміни прототипу вносяться зміни в систему в тій самій частині. Завдяки використанню рефакторингу оновлення інформаційної системи проходить більш плавно.

Методологія екстремального програмування [4] є більш гнучкою, ніж інші, що дозволяє команді розробників швидко реагувати на зміни вимог з боку замовника та на конкретних етапах роботи легко підлаштовуватися під його вимоги. Вона належить до комплексу методологій ПЗ "Agile", що регламентується маніфестом гнучкої розробки програмного забезпечення, який вперше був опублікований у 2001 році [17]. Екстремальне програмування застосовується у проєктах, що мають незначні обмеження в часі на розробку, та направлене на ефективність процесу аналізу розвитку проєкту в цілому. В екстремальному програмуванні рефакторинг вже закладений як один з дванадцяти основних прийомів.

Ітеративна модель – це процес розробки програмного забезпечення, який проходить невеликими етапами, в ході яких ведеться аналіз отриманих проміжних результатів, висуваються нові вимоги та коректуються попередні етапи роботи [16]. Після аналізу кожної ітерації приймається рішення про можливість використання її результатів як вхідної точки для нової ітерації. Наприкінці процесу отримуємо результат, у якому були враховані всі вимоги. Використовувати дану модель

доцільно під час роботи з великими проєктами або коли вимоги до кінцевої системи заздалегідь невідомі, а також якщо основна задача має бути визначена, проте деталі реалізації можуть змінюватись під час розробки. Завдяки відсутності жорсткого планування процесу розробки ітеративна модель дозволяє будь-коли внести зміни у технічне завдання чи функціональні вимоги. Малоймовірно, що на першій ітерації розробки виникне потреба в проведенні рефакторингу, адже ще не існує сталої бази кінцевого продукту, а вже на другій ітерації така потреба може виникнути, тому що під час коригування вимог з'являється необхідність внести зміни у функції системи або доповнити їх. Ітеративна модель, регламентуючи можливість оперативно вносити зміни, та рефакторинг, що дозволяє гнучко впроваджувати необхідні зміни, водночас надають широкий спектр можливостей з виявлення та виправлення недоцільно прийнятих на ранніх етапах архітектурних рішень.

Спіральна модель є гібридом ітераційної та каскадної моделей [18; 16; 11]. Кожен цикл розробки в ітераційній моделі має послідовність операцій, що відповідають крокам в каскадній моделі. У кінці кожної ітерації розробники представляють для замовника нову версію програмного забезпечення з новим функціоналом. На кожній ітерації визначаються та уточнюються задачі та вимоги до програмного продукту, визначаються кількісні та якісні характеристики, а також планується завдання на наступну ітерацію. З кожною ітерацією проєкт стає складнішим, адже збільшується його функціонал завдяки деталізації вимог та зауважень від замовника. Використання даної моделі може бути доцільним під час розробки систем з високим рівнем можливих ризиків або у випадках, коли замовник не може надати достатньо конкретний перелік вимог до кінцевого продукту чи ці вимоги досить складні. Спіральна модель поділяється на чотири квадранти, в кожен з яких входять основні і допоміжні дії з розробки системи. Проведення рефакторингу доцільне саме у третьому квадранті, який включає розробки моделей та написання програмного коду на основі прототипів програмного забезпечення, що були розроблені у другому квадранті. Потреба у проведенні рефакторингу виникає під час виправлення помилок у прототипах, а також у разі конфлікту мети поточного циклу з наявними напрацюваннями, що отримувались у попередніх циклах. Використання рефакторингу можливе також і в другому квадранті за умови використання CASE-засобів у процесі прототипування.

Незалежно від використовуваної методології розробки програмного забезпечення з великою ймовірністю виникне потреба у рефакторингу, якщо проєктна робота виконується в рамках наявної інформаційної системи.

Висновки. На основі проведеного дослідження було виявлено місця виникнення потреби в проведенні рефакторингу в кожній розглянутій методології. Варто зазначити, що в жодній з методологій неможливо уникнути рефакторингу, адже в описаних циклах розробки програмного забезпечення важко виключити помилки при проєктуванні та конструюванні, хоча в класичних джерелах не виділяють місце рефакторингу. У кожній з моделей потреба в рефакторингу буде виникати в різних місцях з різною ймовірністю. Наприклад, у V-моделі рефакторинг виникає рідше, ніж у каскадній моделі, зокрема й через проведення контролю якості тестуванням на кожному етапі. В ітераційній моделі та в моделі екстремального програмування ймовірність виникнення рефакторингу найвища, коли функціональні вимоги та технічні завдання чітко не сформульовані замовниками. Також достатньо висока ймовірність рефакторингу виникає в інкрементній моделі, але тільки при впровадженні та на межі взаємодії модулів програмного забезпечення. За умови використання CASE-засобів для прототипування в RAD-моделі та спіральній методології потреба в рефакторингу виникає з однаковою імовірністю. Невикористання однакових інструментів для прототипування та розробки, що допускається спіральною методологією, тільки підвищує кількість операцій рефакторингу, адже їх необхідно виконувати і в прототипі, і в безпосередньо наявній версії продукту. Обираючи методологію, за якою буде працювати команда розробників, не потрібно зважати на ймовірність проведення рефакторингу, найголовнішими критеріями вибору мають стати тип проєкту та кваліфікація команди. Перспективним є дослідження доцільного вибору методології відповідно до типу проєкту.

Список літератури:

1. Мирошниченко Е.А. Технологии программирования : учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2008. 128 с.

2. Зінов'єв Є.А., Собінов О.Г. Програмне забезпечення системи реінжинірингу та рефакторингу програмного коду до платформи .NET. *Сучасні інформаційні технології та програмне забезпечення комп'ютерних систем* : збірник тез доповідей всеукраїнської науково-практичної конференції студен-

тів та магістрантів, м. Кіровоград, 27–29 березня 2013 року. Кіровоград : «КОД», 2013. С. 78—79. URL: http://it-kntu.kr.ua/conf/AITandSCS_Kirovograd_2013.pdf (дата звернення: 12.09.2019).

3. Фаулер М., Бек К., Брант Д., Апдайк У., Робертс Д. Рефакторинг. Улучшение существующего кода. Москва : Символ-Плюс, 2008. 473 с.

4. Статті і ресурси по XP і суміжним питанням, огляд книг / Сайт Рона Джеффриза. URL: https://ronjeffries.com/ (дата звернення 10.09.2019).

5. Мартин Р.С., Ньюкирк Д.В., Косс Р.С. Agile software development. Principles, Patterns, and Practices. Москва : Вильямс, 2004. 752 с.

6. Макконнелл С. Совершенный код. Мастер класс / пер. с англ. Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2018. 896 с.

7. Фаулер М. Новые методологии программирования / MAXKIR.com. URL: http://www.maxkir.com/sd/newmethRUS.html#N447 (дата звернення: 12.09.2019).

8. Agile Methodology & Model: Guide for Software Development & Testing URL: https://www.guru99.com/agile-scrum-extreme-testing.html (дата звернення: 12.09.2019).

9. Selecting a development approach // Centers for Medicare & Medicaid Services (CMS) Office of Information Services, 2008. URL: https://www.cms.gov/Research-Statistics-Data-and-Systems/CMS-Information-Technology/XLC/Downloads/SelectingDevelopmentApproach.pdf (дата звернення: 12.09.2019).

10. Software development process // Wikipedia: вільна енциклопедія. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Software_development_process#cite_ref-13 (дата звернення: 12.09.2019).

11. Эмблер С.В., Садаладж П.Д. Рефакторинг баз данных: эволюционное проектирование, Москва : Вильямс, 2007. 368 с.

12. Santos B., Guzman I., Camargo I., Piattini M., Ebert M. Software Refactoring for System Modernization in IEEE Software. 2018. Vol. 35, № 06. P. 62–67. DOI: 10.1109/MS.2018.4321236.

13. Durelli S.R. Improving the Structure of KDM Instances via Refactorings, Proc. 31st Brazilian Symp. Software Eng. (SBES 17). 2017. P. 174–183.

14. Dr. Winston W. Royce. Managing the development of large software systems. Proc. IEEE WESCON, Aug 1970. Reprinted 9 th Intl. Conf. Softw. Eng.

15. IABG Information Technology V-Model Lifecycle Process Model. URL: http://www.v-modell.iabg.de/kurzb/vm/k_vm_e.doc (дата звернення: 03.06.2016).

16. Ларман К., Базили В. Итеративная и инкрементальная разработка: краткая история. URL: http://www.osp.ru/os/2003/09/183412/ (дата звернення: 03.09.2019).

17. Agile-маніфест розробки програмного забезпечення URL: http://agilemanifesto.org/iso/uk/manifesto.html (дата звернення: 12.09.2019).

18. Richard W. Selby. Software Engineering: Barry W. Boehm's Lifetime Contributions to Software Development, Management, and Research. John Wiley & Sons, 2007. 834 c.

Struzik V.A., Hrybkov S.V., Chobanu V.V. DETERMINATION OF REFACTORING PLACE IN MODERN METHODOLOGIES OF INFORMATION SYSTEMS DEVELOPMENT

The lifetime of the software product cannot be predicted at the beginning of its creation, because problems of its use may arise when new operating systems, frameworks, new equipment are released. Software developers are trying to ensure their products competitive by constantly supporting, adding new features and adapting existing ones according new requirements. Developers use refactoring of code and database for flexible implementation of changes to their own software products at different stages of the lifecycle. Refactoring occurs at different stages development of software depending on the chosen methodology. It is determines the overall efficiency of creation and operation of the final software product.

The authors of this article concluded that the documented information about the use of refactoring in software development methodologies is not sufficient for a complete correct understanding of the theme after analyzing the publications scientific figures who worked on that topic. Typically, refactoring is described when described a group of Agile software development methodologies. However, in practice, it is advisable to use refactoring in any methodology.

The researches were carried out on the basis of the analysis of works of domestic and foreign authors, where described both the refactoring of the program code and the refactoring of databases. Also, the knowledge from personal experience was applied when analyzing data and summarizing in this article. The authors have selected next methodologies for consideration in this article: cascade model, V-model, incremental model, Rapid Application Development model, extreme programming model, iterative model, spiral model. The place of refactoring and its impact in the methodologies of development above was analyzed and identified by authors of the article. In addition, authors give consideration of needs of refactoring and its uses to address deficiencies in the development and operation of information systems.

Key words: *software development methodology, refactoring, software development, functionality, prototyping, development cycle, development model.*

УДК 621.039.534
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-1/29

Терлецький В.О.
Одеський національний політехнічний університет

Давидов В.О.
Одеський національний політехнічний університет

МОДЕЛЮВАННЯ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ЕНЕРГОБЛОКУ АТОМНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ІЗ ВВЕР-1000 В РЕЖИМІ «Т»

Стаття присвячена регулюванню потужності енергоблоку із ВВЕР-1000 МВт Южно-Української АЕС. Основним завданням регулювання паросилової установки є підтримка потужності реактора відповідно до потужності турбіни при одночасній підтримці заданого тиску пари, підтримці заданого значення нейтронної потужності реактора і обмеженні збільшення тиску пари, а також підтримка рівності між кількістю виробленої і спожитої енергії. Невідповідність між виробленою в реакторі і спожитою в турбіні енергією проявляється (для двоконтурної АЕС) у зміні тиску і температури теплоносія в 1-му контурі і тиску (температури) насиченої пари в 2-му контурі.

Для усунення невідповідності між виробленою в реакторі і спожитою в турбіні енергією використовується автоматичний регулятор потужності енергоблоку, який керує або турбіною, або реактором залежно від режиму роботи енергоблоку. Такий регулятор використовують з вимогою підтримання сталої надійності і безпеки енергоблоку, а також у разі зносостійкості обладнання (тепловиділяючих елементів) і збереження економічної ефективності енергоблоку.

Автоматичний регулятор потужності є невід'ємною частиною системи управління потужністю енергоблоку. Він призначений для підтримки потужності реактора відповідно до навантаження турбінного генератора.

Існують певні переваги та недоліки роботи енергоблоку в режимі «Т».

Переваги: полегшення температурних умов 2-го контуру при знижених навантаженнях; використання ПГ мінімальної вартості.

Недоліки: зміна реактивності внаслідок зміни середньої температури теплоносія; значні зміни температурного стану компонентів АЗ і разі переходу на новий рівень потужності; мінливість об'єму теплоносія.

Таким чином, стаття присвячена вивченню властивостей регулятора потужності.

Ключові слова: *АЕС, енергія, АРП, синтез регулювання, математична модель, SCADA Trace Mode.*

Постановка проблеми. Автоматичний регулятор потужності (далі –АРП) призначений для приведення потужності реактора у відповідність до потужності турбіни при одночасній підтримці заданого тиску пари, підтримці заданого значення нейтронної потужності реактора і обмеженні збільшення тиску пари. Від якості регулювання залежить надійність і безпека енергоблоку, а також підтримка його економічної ефективності. Таким чином, стаття присвячена дослідженню властивостей регулятора потужності.

Постановка завдання. Мета статті – моделювання автоматичної системи регулювання (далі – АСР) потужності енергоблоку АЕС з ВВЕР-1000 в режимі «Т» для забезпечення надійності і безпеки енергоблоку.

Для досягнення мети потрібно вирішити такі завдання:

– розробити математичну модель енергоблоку в режимі «Т»;

– на базі отриманої моделі провести синтез системи регулювання з обліком сучасних технологічних засобів контролю та управління;

– провести аналіз отриманих результатів для виявлення характеристик регулювання;

– провести моделювання та реалізацію на розробленій моделі автоматизованої системи регулювання потужності енергоблоку.

Виклад основного матеріалу дослідження. Автоматичний регулятор потужності (АРП, АРПР) призначений для приведення потужності реактора у відповідність до потужності турбіни при одночасній підтримці заданого тиску пари, підтримці заданого значення нейтронної потужності реактора і обмеженні збільшення тиску пари.

Для виконання цього завдання АРПР забезпечує відповідно до заданих алгоритмів формування і подачу команд «БІЛЬШЕ» (вгору) або «МЕНШЕ» (вниз) в СГІУ для управління робочою групою. Як робоча група використовується одна з регулюючих груп ОР СУЗ.

Регулювання потужності реактора здійснюється в таких режимах:

– режим «Т» – підтримання постійного тиску пари в головному паровому колекторі в діапазоні від 20 до 102% номінальної потужності реактора з зоною нечутливості ± 0,05 МПа;

– режим «Н» – підтримання постійного значення щільності нейтронного потоку в діапазоні від 3 до 100% номінальної потужності реактора з зоною нечутливості ± 1% від номінальної потужності реактора;

– режим «С» – це режим, за якого регулятор подає команду на переміщення ЗР вниз у разі перевищення тиску пари в ЦПК на 0,19 МПа.

Призначення АРП

Автоматичний регулятор потужності (АРП) є складовою частиною системи регулювання потужності енергоблоку і призначений для таких дій:

– стабілізації потужності реактора на заданому рівні (режим «Н»);

– підтримання потужності реактора відповідно до навантаження ТГ (підтримка тиску в ЦПК) (режим «Т»);

– обмеження тиску в ЦПК на заданому рівні (режим «С»).

Витрата теплоносія 1-го контуру в енергоблоці з реактором ВВЕР постійна, тому потужність реактора $N = k(t_{вих} - t_{вх})$. Крім того, в барабанному ПГ в 2-гому контурі отримують насичену пару, для якої температура і тиск пов'язані.

Розрізняють такі програми регулювання: з постійною середньою температурою $t_{ср}$ теплоносія 1-го контуру; з постійним тиском пари в 2-гому контурі (P_s=const); компромісні програми.

Розглянемо переваги та недоліки програми з постійним тиском пари в 2-гому контурі (P_s=const) (рис. 2).

Переваги: полегшення температурних умов 2-го контуру при знижених навантаженнях; використання ПГ мінімальної вартості.

Недоліки: зміна реактивності внаслідок зміни середньої температури теплоносія; значні зміни температурного стану компонентів АЗ під час переходу на новий рівень потужності; мінливість об'єму теплоносія.

Під час розроблення і дослідження систем автоматичного управління за допомогою ядерних енергетичних установок (далі – ЯЕУ) користуються математичними моделюванням. Для сучасних 2-контурних ЯЕУ з реактором ВВЕР математична модель (далі – ММ), що враховує всі складні динамічні процеси, описується системою багатьох нелінійних диференціальних рівнянь. Дослідження такої системи ускладнене. Водночас для розв'язання деяких інженерних і учбових

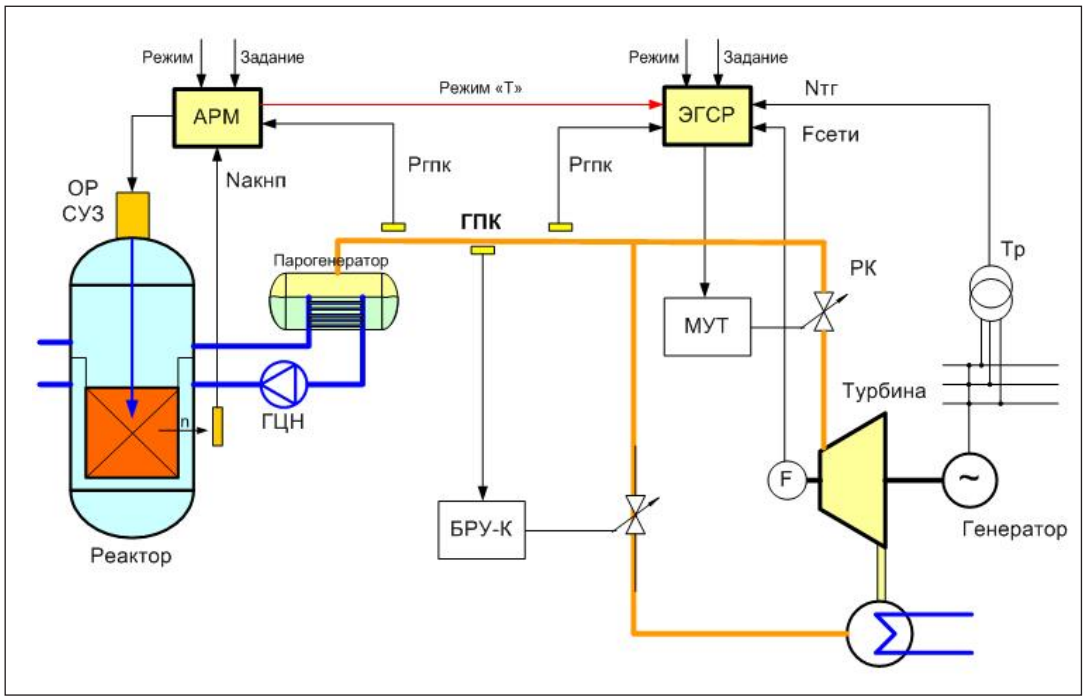


Рис. 1. АРП в системі регулювання енергоблоку АЕС з ВВЕР

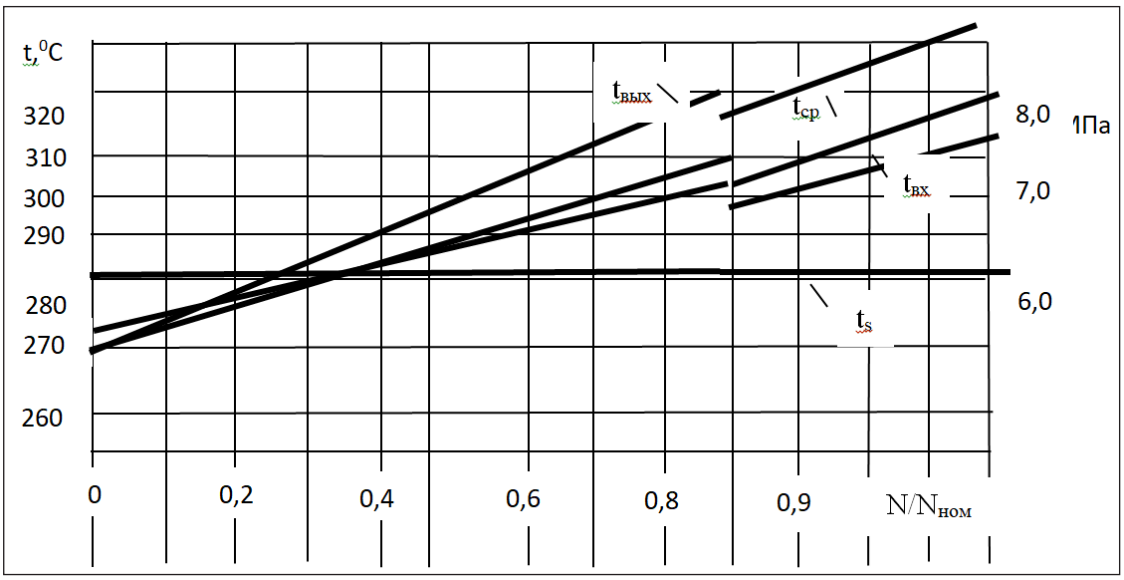


Рис. 2. Статична програма (P_s=const)

задач можливе використання спрощених ММ, які забезпечують достатню точність.

У даному проєкті ставиться завдання розробки спрощеної ММ ЯЕУ з реакторами ВВЕР для дослідження такої ММ на ЕОМ.

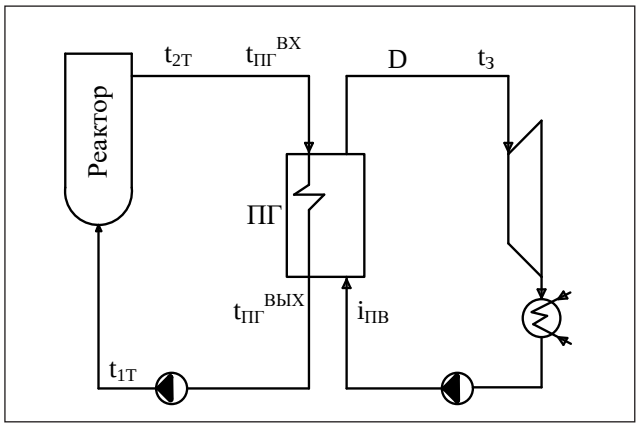


Рис. 3. Технологічна схема 2-контурної АЕС

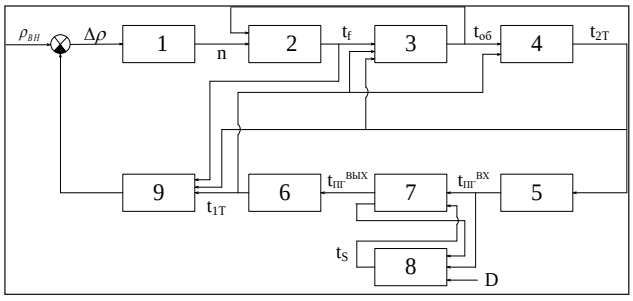


Рис. 4. Структурна схема енергоблоку

На рисунку 3 зображена принципова схема 2-контурної АЕС з реактором, парогенератором, турбіною і циркуляційними насосами. Ця схема має позначення фізичних величин.

Ядерний реактор описується рівнянням кінетики, що зв'язує реактивність ρ з відносною густиною нейтронів n, і рівнянням температурного ефекту реактивності теплоносія і палива. Крім того, в ЯЕУ є такі структурні елементи (рисунок 4): ядерне паливо (2); оболонка тепловидільного елементу (3); теплоносій в реакторі (4); трубопроводи від реактора до ПГ (5) і назад (6); ПГ теплоносія першого контуру (7); ПГ теплоносія другого контуру (8).

Далі йтиметься про перехідні процеси, що відбуваються в середовищі Simulink. На рисунку 5 представлена структурна схема ММ в середовищі Simulink.

Апроксимуємо криву й знайдемо налагодження за методикою Л.І. Кона:

Км = 4.5*10^{-3}; Та = 0.12с; τ = 0.02с; q = τ/Та = 0.02/0.12=0.17 ≈ 3 шт;

α = 0.17; m = 0.37; К= 1.28; С=2.61; К = Кр*Км = 1.28;

Кр = К/Км= 1.28/0.0045=0.0035; Ти = С*τ = 2.61*0.02 = 0.05 с.

Апроксимуємо криву й знайдемо налагодження за методикою Л.І. Кона:

Км = -0.32; Та = 16с; τ = 3с; q = τ /Та = 3/16= 0.18 ≈ 3 шт;

α = 0.17; m = 0.37; К = 1.39; С = 3; К = Кр*Км = 1.39;

Кр = К/Км=1.39/-0.32 = -4.34; Ти = С*τ = 3*3 = 9 с.

Підставимо знайдені налаштування регулятора у структурну схему моделі АСР в прикладному пакеті Simulink і скоректуємо їх для отримання необхідних перехідних процесів.

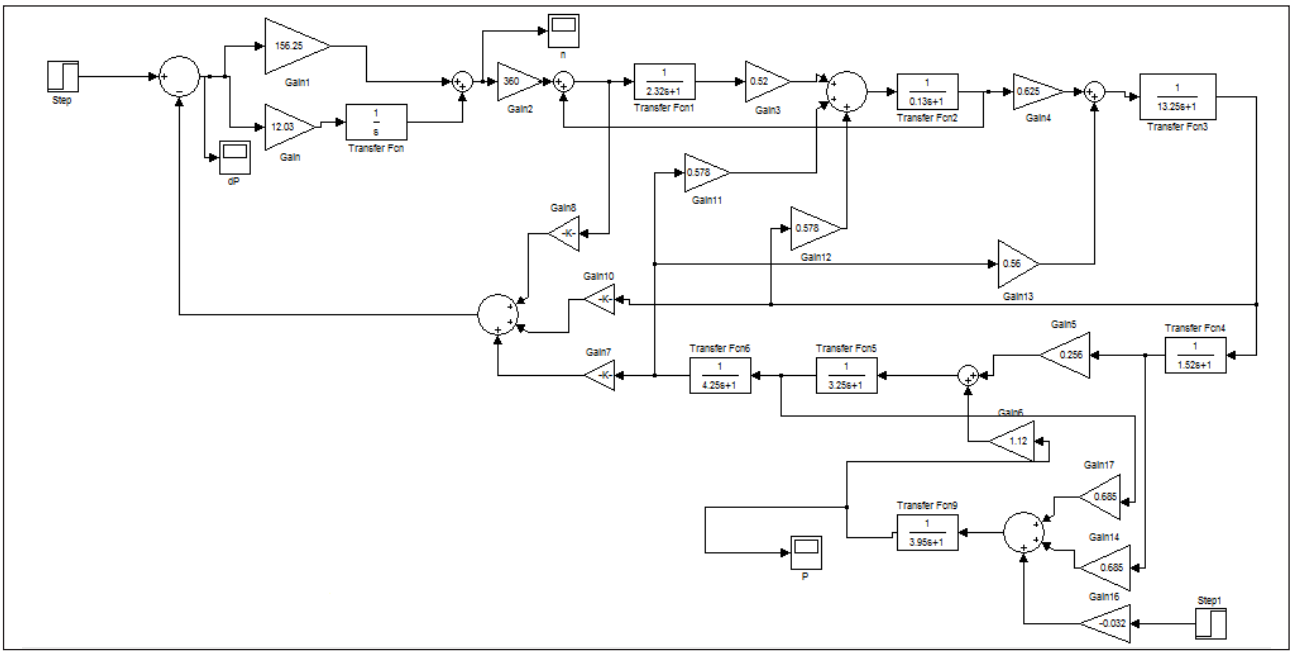


Рис. 5. Структурна схема ММ в середовищі Simulink

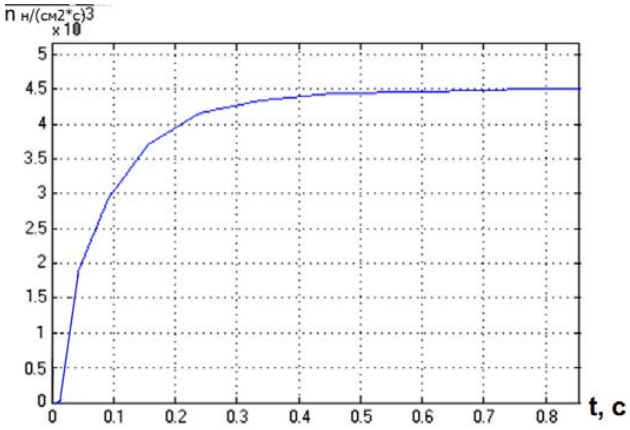


Рис. 6. Крива розгону за каналом «зовнішня реактивність - відносна потужність реактора» ($\rho_{вн} \rightarrow$n)

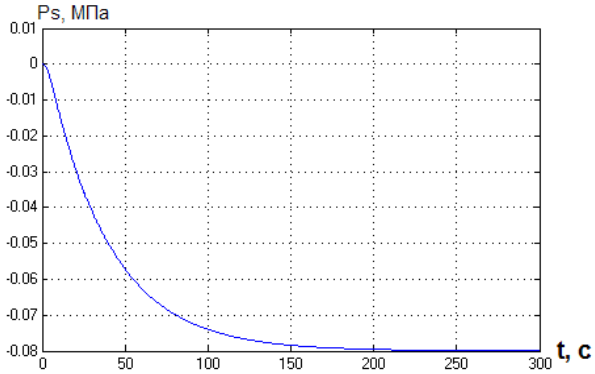


Рис. 7. Крива розгону за каналом «зовнішня реактивність – тиск пари перед ГПК» ($\rho_{вн} \rightarrow P_S$)

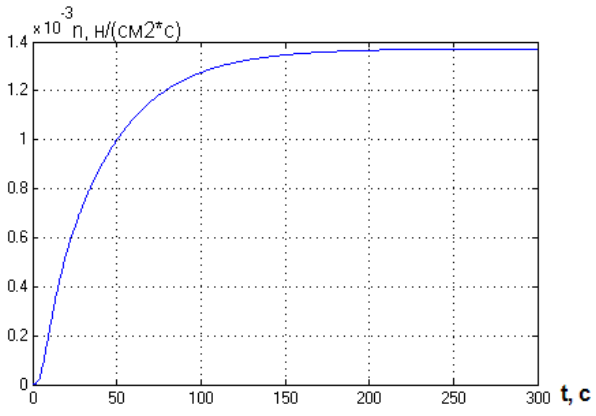


Рис. 8. Крива розгону за каналом «частота обертання – відносна потужність реактора» ($n_{зад} \rightarrow$n)

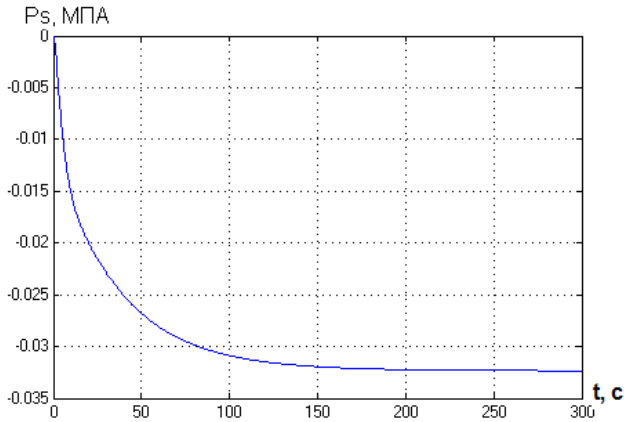


Рис. 9. Крива розгону за каналом «частота обертання – тиск пари перед ГПК» ($n_{об} \rightarrow P_S$)

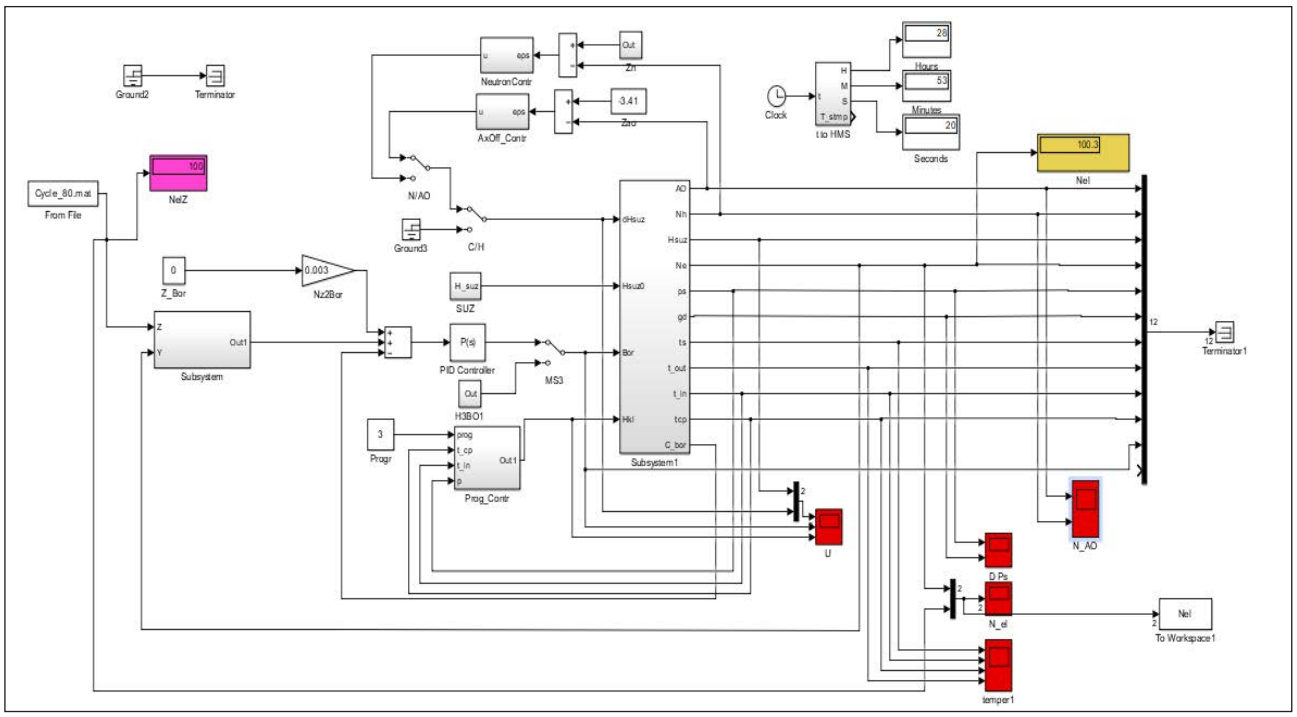


Рис. 10. Структурна схема АСР з регулятором тиску

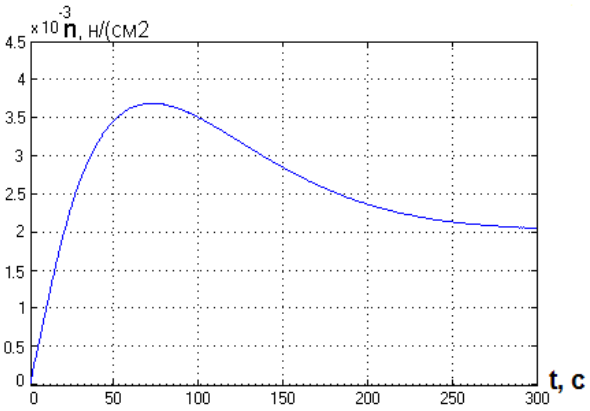


Рис. 11. Перехідний процес регулювання при збуренні за зовнішньою реактивністю

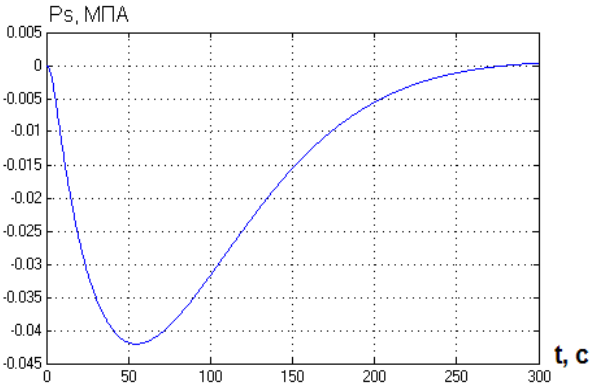


Рис. 12. Перехідний процес регулювання при збуренні за зовнішньою реактивністю

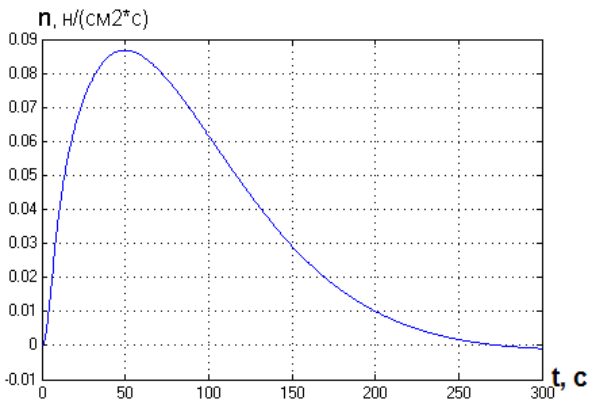


Рис. 13. Перехідний процес регулювання при збуренні за потужністю генератора

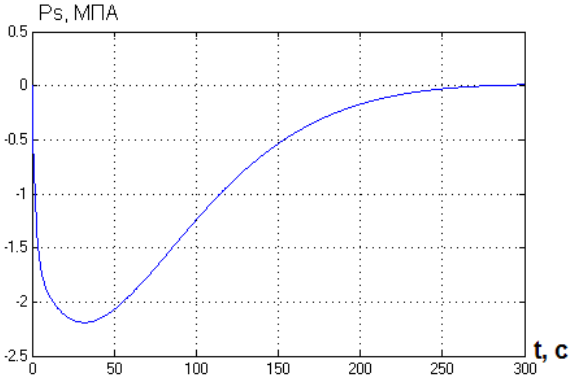


Рис. 14. Перехідний процес регулювання при збуренні за потужністю генератора

Приводи СУЗ спільно з органами регулювання є виконавчими механізмами системи регулювання та захисту реактора ВВЕР-1000, за допомогою яких здійснюється регулювання потужності, компенсація надлишкової реактивності і зупинка реактора шляхом введення і виведення ОР з активної зони реактора, а також аварійної зупинки реактора через скидання ОР у разі знеструмлення приводів.

Згідно з даними випробувань час зниження ОР СУЗ в активній зоні становить від 2 до 4 сек і не перевищує допустимого за проєктом часу зниження ОР СУЗ в режимі «АЗ». Швидкість руху груп ОР СУЗ в режимі скидання після сходу з ВКВ є постійною на всій висоті активної зони.

Під час проведення дослідів було використано програмний комплекс класу SCADA системи TRACE MODE. SCADA-система призначена для диспетчерського управління та збору даних. Для програмування алгоритмів керування технологічними процесами в SCADA-системі було використано програму TRACE MODE-6, в якій було створено дві екранні форми (мнемосхеми) підтримки тиску та тренд ОР СУЗ, який буде показувати зміни параметрів тиску.

Висновок. Було розглянуто АРП в системі регулювання енергоблоку АЕС з ВВЕР-1000 та принцип роботи автоматичного регулятора потужності, що дозволяє підтримувати потужність енергоблоку у базовому режимі. Також була розглянута технологічна схема АРП в системі регулювання енергоблоку АЕС з ВВЕР-1000.

В результаті проведеної роботи була розроблена математична модель регулювання потужності енергоблоку АЕС з ВВЕР-1000 в режимі «Т». На базі отриманої моделі ми провели синтез системи регулювання з обліком сучасних технологічних засобів контролю та управління. Також ми провели аналіз результатів роботи. На підставі отриманих даних була розроблена автоматизована система регулювання потужності енергоблоку АЕС з ВВЕР-1000 в режимі «Т». Ми дійшли висновку, що органом регулювання є регулюючі стрижні 10-Ї групи. Режим «Т» сприятливий для обладнання другого контуру.

Список літератури:

1. Беркович В.М., Горохов В.Ф., Татарніков В.П. Про можливість регулювання потужності енергосистеми за допомогою атомних електростанцій. *Теплоенергетика.* 1974. Вип. 6. 19 с.

2. Максимов М.В. Метод оцінки ефективності алгоритму маневру потужністю енергоблоку з реакторами ВВЕР-1000. *Ядерна енергетика.* 2008. Вип. 4. С. 128–139.

3. Баскаков В.Є. Алгоритм експлуатації енергоблоку з ВВЕР у підтримці добового балансу потужності енергосистеми. *Праці Одеського політехнічного університету.* 2007. Вип. 2 (28). С. 56–59 с.

4. Сучасні технології управління : монографія : в 2 т. / під заг. ред. С.В. Купрієнко. Одеса, 2012. 179 с.

5. Медведєв Р.Б., Сангінова О.В. Оптимальне керування процесом зміни концентрації борної кислоти в теплоносії першого контуру АЕС з ВВЕР-1000. *Наукові вісті Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут».* 2002. Вип. 2 (22). С. 29–56.

6. Волошкіна О.О., Беглов К.В., Плахотнюк О.А. Дослідження регулятора концентрації рідкого поглинача енергоблоку АЕС. Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. 2015. Т. 7. Вип. 4. С. 18–24.

7. Кисельова Н.І., Погрібний Я.С., Беглов К.В. Дослідження регулятора потужності з рідким поглиначем для енергоблоку АЕС з ВВЕР-1000 / *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки»,* 2018. Вип. 29 (68). Ч. 1. № 3. С. 134–140.

Terletsky V.A., Davydov V.O. SIMULATION ASR OF POWER OF THE POWER UNIT OF THE NPP WITH VVER-1000 IN MODE “T”

Power regulation of the WWER unit of 1000 MW of the South Ukrainian NPP. The main task of regulating the steam power plant is to maintain the reactor power in accordance with the power of the turbine while maintaining the set steam pressure, maintaining the setpoint of the neutron power of the reactor and limiting the increase in steam pressure, well as maintaining equality between the amount of produced and consumed energy. The mismatch between the generating reactor energy and that consumed in the turbine manifests itself (for two circuit NPP) with a change in the pressure and temperature of the coolant in the 1st circuit and the pressure (temperature) of the saturated steam in the 2nd circuit .

An automatic power regulator is used to eliminate the mismatch between the reactor power generation and turbine power consumption. Which in turn has a controlling effect on the turbine or the reactor, depending on the operating mode of the power plant with the requirement, not reducing the reliability and safety of the power unit, and also so that the effect of equipment wear is not enhanced, first of all it is, it of fuel elements, and the effectiveness of the power unit was maintained.

The automatic of power controller is an integral part of the power unit power control system and is designed to maintain the of reactor capacity in according to the load of the turbine generator.

Advantages and disadvantages of power unit operation in T mode:

Advantages: facilitating the temperature conditions of the 2nd circuit under reduced loads; use of minimum cost GHG.

Disadvantages: change in reactivity due to change in average coolant temperature; significant changes in the temperature state of the components of the AZ at the transition to the new power level; variability of the coolant volume.

Thus, the article is devoted to the study of the properties of the power regulator.

Key words: *NPP, energy, ARP, synthesis synthesis, mathematical model, SCADA Trace Mode.*

УДК 330.47: 004.588
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-1/30

Хорошевська І.О.
Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця

Бондар А.В.
Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ СТВОРЕННЯ МУЛЬТИМЕДІЙНОГО ВИДАННЯ «САМОВЧИТЕЛЬ ГРИ НА ФОРТЕПІАНО»

У статті запропоновано етапи методики виявлення структурних елементів для створення мультимедійного видання, призначеного для самостійного навчання дітей молодшого шкільного віку грі на фортепіано на початковому рівні. Дане мультимедійне видання пропонується розглядати як цілісний навчальний мультимедійний комплекс. Акцентовано увагу на важливості застосування інтерактивних елементів для результативного сприйняття навчального матеріалу дітьми. Методика дозволяє виявити найважливіші функції, які має виконувати видання, та їх послідовність впровадження в структуру даного електронного навчального комплексу. Проводяться паралелі між виявленими функціями і структурними елементами, які здатні їх реалізувати найкращим чином. Реалізація етапів методики здійснюється за допомогою використання такого математичного інструментарію, як метод експертного оцінювання та теорія графів. Наведені етапи методики дозволяють виявити критерії на основі функцій, які має виконувати видання, визначити рівень пріоритету кожного з визначених критеріїв та обрати найбільш важливі структурні елементи для побудови комплексу згідно з виявленими критеріями та їх вагою. Запропоновані етапи дозволяють розробити якісне та ефективне навчальне мультимедійне видання на основі прийняття обґрунтованих рішень із використанням математичного інструментарію. У майбутньому дані етапи методики можуть бути використані як теоретико-методологічний інструментарій під час розробки мультимедійних навчальних комплексів будь-якої тематики. Змінними будуть тільки функції, критерії та структурне наповнення елементної бази відповідно предметної галузі розробки певного мультимедійного навчального комплексу. Для підвищення наочності процесу реалізації кожного з етапів пропонованої у статті методики вони демонструються на прикладі розрахунків для навчального мультимедійного видання «Самовчитель гри на фортепіано» (у вигляді настільного мультимедійного додатка), призначеного для навчання дітей молодшого шкільного віку грі на фортепіано на початковому рівні та їх розвитку у галузі музичного мистецтва.

Ключові слова: *мультимедійне видання, самовчитель гри на фортепіано, методика, етапи методики, структурний елемент, експерти.*

Постановка проблеми. У сучасному світі стрімко розвиваються нові технології і нові методи навчання. Пасивне навчання шляхом лекцій і вивчення матеріалу в підручнику не дає високих результатів і не може достатньою мірою зацікавити учня. Однак завдяки постійному вдосконаленню і збільшенню можливостей комп'ютерних технологій з'явився новий спосіб навчання за допомогою мультимедіа.

Використання мультимедійного видання у навчанні дозволяє максимально задіяти органи чуття учня завдяки відео- і аудіоматеріалам, ілюстраціям, навчальним та релаксаційним іграм тощо. Залучення всіх органів чуття веде до збільшення ступеня засвоєння матеріалу порівняно з традиційними методами. У разі комбінування зорового й слухового впливу запам'ятовування підвищується до 1/2, а якщо людина здійснює активні дії в процесі навчання, то засвоюваність матеріалу досягає 2/3 [1, с. 5].

Що стосується навчання саме музичному мистецтву, то давно існує велика проблема перед системою музичної освіти, яка полягає у незнанні того, як зацікавити дітей музикою, як зробити так, щоб вони самі хотіли нею займатися, а не з примусу батьків. Часто навчання у музичній школі викликає негативне ставлення до занять музикою через велику кількість нецікавих письмових завдань та одноманітне повторення вправ.

Варто зазначити, що використання сучасних мультимедійних технологій на уроках, зокрема уроках фортепіано, зробить навчання яскравим і цікавим для учня, особливо молодшого шкільного віку. «Вчення має бути в формі розваги, – писав дитячий фортепіанний педагог Г. Вольфарт, – увага дитини при цьому зовсім не віднімається,

а, навпаки, ще більш збуджується». Отже, наявність великої кількості інтерактивних елементів та мультимедійних компонентів у навчальному комплексі підвищить зацікавленість учня та ефективність навчання, тому тема є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, присвячених питанню застосування мультимедійних технологій та ігрових форм навчання дітей музичному мистецтву [1–7], дав розуміння того, що сьогодні немає методики, яка поєднувала б у собі всі необхідні компоненти для розробки такого видання. У наявних роботах різних авторів розглядається або тільки ігрова форма навчання дітей в різних галузях знань, а не конкретно навчання грі на фортепіано, або показані тільки переваги використання мультимедійних технологій в навчанні. У дослідженнях відсутні конкретні послідовні етапи з математичними розрахунками, які б дозволили застосувати методику на практиці при розробці мультимедійного видання з навчання грі на фортепіано.

Так, праці «Використання ігрових форм роботи на уроках сольфеджіо» [2] та «Музичні ігри в навчанні дітей 7–8 років грі на фортепіано» [3] містять детальний аналіз переваг використання ігрових форм на уроках музичного виховання, що в підсумку дає захоплююче отримання і закріплення необхідних навичок. Однак у роботах цих авторів не йдеться про використання засобів мультимедіа.

У роботах «Мультимедійні системи як засоби інтерактивного навчання» [1] та «Мультимедійні засоби навчання як вирішальний фактор ефективності навчального процесу» [4] ретельно розглянуті теоретичні і практичні проблеми застосування мультимедійних систем у навчально-виховному процесі, наведені приклади, але відсутня орієнтованість на дітей та конкретно на процес навчання грі на фортепіано.

Робота «Інтерактивні методи і мультимедійні технології та їх використання на уроках музично-теоретичного циклу» [5] доводить ефективність навчання за допомогою інтерактивних методів і мультимедійних технологій. Також у ній розглянута практика використання цих методів у викладанні сольфеджіо, тобто галузі музичного мистецтва, але не безпосередньо в навчанні грі на фортепіано.

Також були проаналізовані аналоги мультимедійних видань з музичного мистецтва. Серед додатків для смартфонів та планшетів були розглянуті Android-додаток “Perfect Piano” та iOS-додаток “Simply Piano”. Обидва додатки розроблені якісно, мають цікавий та зрозумілий інтерфейс. Однак у додатку “Perfect Piano” наявний лише симулятор гри на фортепіано, який не дасть ефективного результату у навчанні без нотної грамоти, відеоматеріалів, вправ, тестів, навчальних ігор та інших цікавих інтерактивних елементів. Додаток “Simply Piano” містить і теорію, і практику, що дуже добре, але він не спрямований на навчання саме дітей, не має розважальної навчальної частини та ігрових моментів, які б захопили дитину. Користувачу молодшого шкільного віку може бути нецікаво.

Серед настільних додатків та програм для ПК були розглянуті додаток “Synthesia” та програма “KaraKEYoke”. Недоліками є відсутність будь-яких основ теорії та нотної грамоти (тільки практика) та механічне запам’ятовування мелодій. Це суто симулятори – річ необхідна, але малоефективна без додаткових навчальних матеріалів.

Серед інтернет-ресурсів був проаналізований «Самовчитель гри на фортепіано» [6], що являє собою сайт з відеоуроками, нотами музичних композицій, інформацією про композиторів і піаністів, музичні інструменти тощо. Відеоуроки тут якісні та зрозумілі, однак немає інтерактиву для дітей, їм не цікава тільки теорія. Наявність нот розрахована вже на те, що дитина володіє нотною грамотою. На другому інтернет-ресурсі – сайті «Самовчитель гри на фортепіано та синтезаторі» [7] – представлений теоретичний матеріал у вигляді тексту та ілюстрацій. Усе розписано детально і зрозуміло. Самовчитель хоч і для початківців, але не для дітей, які, можливо, ще не досить добре вміють читати, а якщо і вміють, то їм це буде нецікаво. Даний ресурс не зможе мотивувати дитину навчатися грі на музичному інструменті.

Отже, є багато електронних підручників, віртуальних тренажерів, онлайн-ресурсів, додатків для смартфонів та планшетів, програм для ПК, які дозволяють початківцям ознайомитися та оволодіти музичним інструментом. Багато з цих видань якісні та цікаві, але немає таких, які б об’єднували у собі одразу теорію, практику, навчальні ігри, інтерактивність тощо та могли б зацікавити дитину.

Постановка завдання. Прийняття рішення про включення певних мультимедійних компонентів, які являють собою структурні елементи для створюваного електронного навчального комплексу, повинно базуватися на їх детальному аналізі та дослідженні стосовно найважливіших функцій, які повинно виконувати розроблюване

видання, та ступеня їх реалізації за допомогою цих структурних елементів.

Таким чином, необхідно розробити методику для створення мультимедійного видання «Самовчитель гри на фортепіано» для дітей. Така методика допоможе обґрунтувати вибір структурних елементів як найефективніших мультимедійних компонентів для результативного навчання дітей грі на музичному інструменті.

Метою статті є розробка методики виявлення структурних елементів для якісної побудови мультимедійного видання з навчання дітей грі на фортепіано.

Виклад основного матеріалу дослідження. У основу розробки пропонованої методики покладено результати досліджень, наведені в працях [8; 9; 10; 11; 12]. Це стало підґрунтям для розробки методики виявлення структурних елементів для мультимедійного видання, що складається з таких етапів:

– етап 1 – виявлення критеріїв на основі функцій, які має виконувати розроблюване видання;

– етап 2 – визначення рівня пріоритету кожного критерію мультимедійного видання;

– етап 3 – вибір найбільш значущих структурних елементів згідно з виявленими критеріями та їх вагою.

Розглянемо змістовне наповнення наведених етапів.

Зміст етапу 1 – виявлення критеріїв на основі функцій, які має виконувати розроблюване видання – полягає у формуванні критеріїв, в основу яких покладені функції видання, щоб бачити, до чого потрібно прагнути та на що варто звертати увагу при розробці. Дані критерії дадуть розуміння, чому найважливіше навчитися цільовому користувачеві даного видання. Особлива увага приділяється тому, що навчання має бути направлене на початкове освоєння музичного інструменту, тому критерії повинні це враховувати.

Як 10 основних критеріїв (функцій), що можуть бути присутні у мультимедійному виданні «Самовчитель гри на фортепіано» пропонуються такі ($U_{i=\overline{1,10}}$): розвиток музичного слуху; навчання налаштуванню фортепіано; розвиток почуття ритму; навчання нотній грамоті; розвиток швидкості гри на фортепіано; навчання грі на фортепіано; мотивація до навчання музичному мистецтву; вивчення будови музичного інструменту; розвиток швидкості читання нот з листа; навчання правильної посадки і постановки рук за фортепіано. Кількість визначених критеріїв треба обмежити та залишити тільки ті, які повністю відповідають меті мультимедійного видання. Для реалізації даного завдання раціонально використовувати метод анкетування [13], який дозволить опитати групу респондентів, що спеціалізуються на навчанні дітей музичному мистецтву.

Експертам ($Q_{j=\overline{1,16}}$) була запропонована анкета для визначення важливості критеріїв розроблюваного мультимедійного видання за шкалою від 1 до

Таблиця 1

Матриця оцінок експертів

Номер експерту	Номер критерію									
	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6	U_7	U_8	U_9	U_{10}
1	7	1	5	10	3	8	9	2	4	6
2	3	1	4	8	5	9	10	2	6	7
3	8	4	5	6	2	7	10	3	1	9
4	7	1	8	9	4	10	6	2	3	5
5	5	2	7	8	4	10	9	3	1	6
6	8	2	6	5	3	10	7	1	4	9
7	7	2	5	8	3	9	10	1	4	6
8	7	1	6	8	4	10	9	2	3	5
9	7	2	5	8	4	9	8	1	3	6
10	7	3	4	6	2	9	10	1	5	8
11	6	1	7	8	4	9	10	2	3	5
12	7	2	5	9	4	8	10	1	3	6
13	8	2	6	7	3	10	9	1	5	4
14	7	1	6	9	2	8	10	3	4	5
15	6	2	7	10	5	8	9	1	3	4
16	5	1	4	8	2	9	10	6	3	7

10 балів (1 – найменш важливий, 10 – найбільш важливий). Експерти оцінили кожен критерій різною кількістю балів (табл. 1).

Зазначимо, що у разі участі в опитуванні декількох експертів розбіжності в їх оцінках неминучі, а величина таких розбіжностей має важливе значення. Групова оцінка може вважатися досить надійною тільки за умови гарної узгодженості відповідей окремих фахівців. Для цього здійснюється розрахунок значення коефіцієнту варіації (1). Що меншим є значення коефіцієнта варіації (V), то більш узгодженими є оцінки експертів. Якщо показник варіації становить приблизно 30% і менше, то статистична сукупність вважається однорідною. Це означає, що більшість варіантів перебуває близько до середньої величини, а знайдене значення добре характеризує центральну тенденцію сукупності. Якщо показник варіації є значно більшим 30%, то вибірка неоднорідна, тобто оцінки експертів не досить узгоджені.

$$V=\frac{S}{\overline{X}}*100\%,\ \text{при}\ S=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i-\overline{X})^2}{n-1}}\ \text{та}\ \overline{X}=\frac{\sum_{i=1}^{n}X_i}{n},\quad (1)$$

де S – виправлене вибіркове середньоквадратичне відхилення;

$\overline{X}$ – вибіркове середнє значення.

Після розрахунку коефіцієнта варіації для кожного критерію обчислюється середнє арифметичне значення коефіцієнта варіації для загального результату анкетування, що дорівнює 29%. Отримане значення свідчить про задовільну узгодженість експертних оцінок.

На основі отриманих оцінок розраховуються коефіцієнти вагомості усіх критеріїв за допомогою формули (2), аби відсікти найменш важливі з них:

$$W_i=\sum_{i=1}^{m}x_{ij}/\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}x_{ij},\quad (2)$$

де W_i – вага елемента оцінювання;

x_{ij} – позиція, на яку поставлено і-й елемент j-м експертом;

m – кількість експертів, що брали участь в експертизі ($j=\overline{1,m}$) ;

n – кількість оцінюваних елементів [14] ($i=\overline{1,n}$);

Результати розрахунків занесено до табл. 2.

На основі отриманих коефіцієнтів вагомості визначаються найбільш важливі елементи, для яких виконується умова (3):

$$W_i(U_i) > \frac{1}{n}.\quad (3)$$

У основу формування порогового значення $W_i(U_i)$ були покладені сформульовані авторами робіт [15; 16] висновки щодо визначення доцільності

Таблиця 2

Розраховані ваги критеріїв

Номер експерту	Номер критерію										
	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6	U_7	U_8	U_9	U_{10}	
1	7	1	5	10	3	8	9	2	4	6	
2	3	1	4	8	5	9	10	2	6	7	
3	8	4	5	6	2	7	10	3	1	9	
4	7	1	8	9	4	10	6	2	3	5	
5	5	2	7	8	4	10	9	3	1	6	
6	8	2	6	5	3	10	7	1	4	9	
7	7	2	5	8	3	9	10	1	4	6	
8	7	1	6	8	4	10	9	2	3	5	
9	7	2	5	8	4	9	8	1	3	6	
10	7	3	4	6	2	9	10	1	5	8	
11	6	1	7	8	4	9	10	2	3	5	
12	7	2	5	9	4	8	10	1	3	6	
13	8	2	6	7	3	10	9	1	5	4	
14	7	1	6	9	2	8	10	3	4	5	
15	6	2	7	10	5	8	9	1	3	4	
16	5	1	4	8	2	9	10	6	3	7	
$\sum U_{ij}$	105	28	90	127	54	143	146	32	55	98	878
сер.	17	-60	2	39	-34	55	58	-56	-33	10	
Квадрат	289	3600	4	1521	1156	3025	3364	3136	1089	100	17284
W_i	0,12	0,03	0,10	0,14	0,06	0,16	0,17	0,04	0,06	0,11	

включення елементів для подальшого аналізу та формування висновків.

Оскільки елементів для аналізу було обрано 10, то $W_i(U_i) > 0{,}1$ відповідно до умови (3). Проаналізувавши вагові коефіцієнти елементів, ми виявили, що найбільш вагомими елементами є такі: U_1, U_4, U_6, U_7, U_{10} (табл. 3).

Отже, після обробки результатів опитування кількість критеріїв вдалось обмежити до 5. Авжеж, кожен критерій має свій вплив, вони нерівноправні, тому переходимо до другого етапу.

Етап 2 – визначення рівня пріоритету кожного критерію мультимедійного видання – містить відповідь на питання про те, які з обраних критеріїв є більш значущими, а які, навпаки, є менш значущими. Реалізація етапу відбувається на основі використання теорії графів [17]. Вихідними даними є перелік визначених критеріїв на першому етапі дослідження.

Для початку треба побудувати орієнтований граф, на основі якого потрібно оцінити взаємовплив та досяжність одного критерію відносно іншого. Орієнтований граф буде основою для побудови бінарної матриці досяжності критеріїв. Результат представлений на рис. 1. у вигляді орієнтованого багатозв'язного графа. Початок стрілки визначає критерій, що залежить від критерію, на який вказує стрілка. Ці дані необхідні для візуального відстеження алгоритму оптимізації структури видання.

Будується матриця суміжності (табл. 4), яка відображає всі зв'язки вихідного графа і використовується як вихідні дані для побудови матриці досяжності.

Таблиця 3

Вага критеріїв мультимедійного видання з навчання грі на фортепіано

Критерії		Вага критерію (W_i)
Позначення (Ui)	**Назва**	
U_1	Розвиток музичного слуху	**0,12**
U_2	Навчання налаштуванню фортепіано	0,03
U_3	Розвиток почуття ритму	0,10
U_4	Навчання нотній грамоті	**0,14**
U_5	Розвиток швидкості гри на фортепіано	0,06
U_6	Навчання грі на фортепіано	**0,16**
U_7	Мотивація до навчання музичному мистецтву	**0,17**
U_8	Вивчення будови музичного інструменту	0,04
U_9	Розвиток швидкості читання нот з листка	0,06
U_{10}	Навчання правильної посадки і постановки рук за фортепіано	**0,11**

Рис. 1. Орієнтований багатозв'язний граф

Таблиця 4

Матриця суміжності

	2,3	3	0	1,2,3,5	3
	1	2	3	4	5
1				1	
2	1			1	
3	1	1		1	1
4					
5				1	

Далі будується матриця досяжності (табл. 5). Для орієнтованого графа, що має n вершин, матрицею досяжності називається квадратна матриця розмірності n x n, в якій елемент x_{ij} дорівнює одиниці тоді і тільки тоді, коли вершина x_i досяжна з вершини x_j, де і та j – номери рядків і стовпців матриці. За інших умов елемент x_{ij} дорівнюватиме нулю.

Таблиця 5

Матриця досяжності

	1	2	3	4	5
1	1			1	
2	1	1		1	
3	1	1	1	1	1
4				1	
5				1	1

Далі здійснюється визначення рівнів ієрархії критеріїв. Суть алгоритму зводиться до побудови низки таблиць і аналізу в кожній таблиці умови приналежності конкретних вершин до поточного рівня ієрархії. На основі визначених рівнів ієрархії будується ієрархічна модель критеріїв для мультимедійного видання з навчання грі на фортепіано (рис. 2).

Далі розраховуються коефіцієнти вагомості критеріїв згідно з побудованою ієрархічною моделлю, щоб їх сума дорівнювала одиниці: $(v_1 + \ldots + v_m = 1)$.

Визначення рівня пріоритету дозволить закласти критерії відразу в процес розробки видання в певній послідовності, відповідній ступеню впливу (пріоритету) критеріїв. Рівень пріоритету наочно показує, яких вимог треба дотримуватись, аби створити високоякісне мультимедійне видання.

Щоб видання відповідало критеріям згідно з їх рівнями пріоритету, треба знати, за допомогою яких елементів цього можна досягти.

Тому зміст етапу 3 – вибір найбільш значущих структурних елементів згідно з виявленими критеріями та їх вагою – полягає у визначенні елементів, які можна включити до структури видання для реалізації критеріїв, адже основну роль у мультимедійному виданні відіграють структурні елементи.

Сформований перелік відповідних потенційних структурних елементів містить такі складники: презентації, електронний підручник, зображення і текст, відеоуроки, аудіокомпоненти,

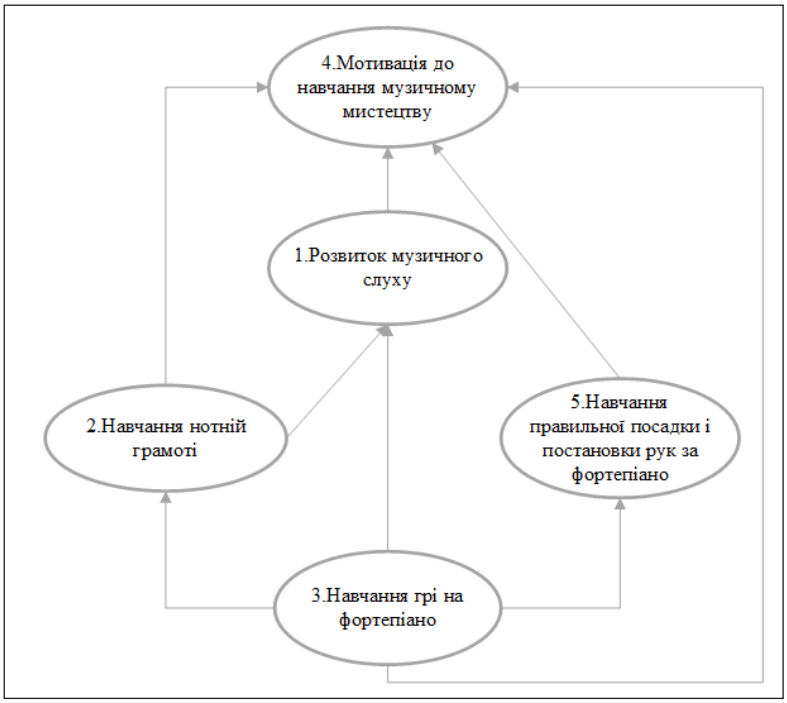


Рис. 2. Ієрархічна модель критеріїв мультимедійного видання

Таблиця 6

Базова модель прийняття рішень

Структурний елемент (E_i)	Критерії (K_j)					Критерій сумарної ефективності (C_i)
	Мотивація до навч. (v_1 = 0,33)	Розвиток муз. слуху (v_2 = 0,25)	Навч. нот. грамоті (v_3 = 0,17)	Навч. прав. посадки (v_4 = 0,17)	Навч. грі на форт. (v_5 = 0,08)	
1	3,8	4	5	5	3,4	4,226
2	1,6	2,8	4	3,8	2,4	2,746
3	2,6	2,6	6,2	9	5,2	4,508
4	6,6	9	8,6	9,2	9,2	8,19
5	6,2	9,2	6	6,4	4,2	6,79
6	5,8	6,8	8,6	7	5	6,666
7	7,8	6	3,2	2,6	9,2	5,796
8	9	8	9	8,4	8,6	8,616
9	9,6	5,6	2,8	1,4	7	5,842
10	1,6	1	1,8	2,4	1	1,572

інтерактивні тести, симуляційний тренажер, навчальні мініігри, релаксаційний простір («хвилина відпочинку»), електронна енциклопедія. Складники підібрані так, щоб задіяти водночас декілька органів чуття учня та зробити навчання цікавим та ефективним.

Щоб визначити, які структурні елементи краще використовувати у виданні згідно з відібраними критеріями та їх вагою, виконується оцінка та вибір альтернатив (елементів) за допомогою такої базової моделі прийняття рішень: <E, K, v_i, C_i >,

де $E = \{E_i\}$ – множина структурних елементів (альтернатив);

$K = \{K_j\}$ – множина критеріїв оцінки елементів;

v_i – оцінка важливості j-го критерію з погляду досягнення мети;

C_i – підсумкова оцінка і-го елементу.

Знову було проведено анкетування, мета якого полягала в оцінюванні структурних елементів за кожним критерієм за бальною шкалою від 1 до 10 (1 – найменше підходить для реалізації певного критерію, 10 – найбільше підходить). Було опитано 12 експертів, які виставили бали кожному з елементів (суворе бальне оцінювання). Потім здійснювався розрахунок середнього значення кожної оцінки з урахуванням думок усіх експертів та визначалось значення критеріїв сумарної ефективності (підсумкові оцінки) по кожному структурному елементу за формулою (4):

$$C_i = \sum_{j}^{5} v_j * O_{ij}, \qquad (4)$$

де C_i – значення критеріїв сумарної ефективності;

v_i – оцінка важливості j-го критерію для досягнення мети;

O_{ij} – оцінка переваги і-го елементу за j-м критерієм.

Результати розрахунків наведені у таблиці 6.

На основі отриманих критеріїв сумарної ефективності розраховуються коефіцієнти вагомості так, щоб сумарно вони дорівнювали одиниці. Далі визначаються найбільш вагомі структурні елементи, для яких виконується умова (3) з порогом відсікання, що дорівнює 0,1. Проаналізувавши вагові коефіцієнти елементів, ми дійшли висновку, що найбільш вагомими елементами стали такі: 4, 5, 6, 7, 8, 9 (табл. 7).

Таблиця 7

Вагомість структурних елементів

№	Структурний елемент	Критерій сумарної ефективності	Коефіцієнт вагомості
1	Презентації	4,226	0,08
2	Електронний підручник	2,746	0,05
3	Зображення + текст	4,508	0,08
4	Відеоуроки	8,19	**0,15**
5	Аудіокомпоненти	6,79	**0,12**
6	Інтерактивні тести	6,666	**0,12**
7	Симуляційний тренажер	5,796	**0,11**
8	Навчальні мініігри	8,616	**0,16**
9	Релаксаційний простір («хвилина відпочинку»)	5,842	**0,11**
10	Електронна енциклопедія	1,572	0,03
∑		54,952	1,00

Відповідно до отриманих коефіцієнтів вагомості, враховуючи визначену на другому етапі ієрархічну модель критеріїв, було визначено такі структурні елементи мультимедійного видання з навчання грі на фортепіано: навчальні мініігри, відеоуроки, аудіокомпоненти, інтерактивні тести, релаксаційний простір («хвилина відпочинку») та симуляційний тренажер.

Висновки. У роботі наведено методику визначення структурних елементів для побудови мультимедійного видання для навчання дітей грі на фортепіано. Запропоновані етапи методики дозволяють прийняти обґрунтоване рішення відносно застосування найефективніших для сприйняття навчального матеріалу мультимедійних компонентів у електронному навчальному комплексі, призначеному для навчання дітей молодшого шкільного віку грі на фортепіано на початковому рівні.

Використання методики надає можливість для створення функціонально та структурно якісно побудованого мультимедійного видання для навчання дітей грі на фортепіано та саморозвитку дітей у галузі музичного мистецтва.

Надалі планується оцінити якість використання розробленої методики.

Список літератури:

1. Жалдак М.І., Шут М.І., Жук Ю.О., Дементієвська Н.П., Пінчук О.П., Соколюк О.М., Соколов П.К. Мультимедійні системи як засоби інтерактивного навчання : посібник / за ред. Ю.О. Жука Київ : Педагогічна думка, 2012. 112 с.

2. Мудролюбова І.О. Використання ігрових форм роботи на уроках сольфеджіо. *Педагогічна освіта: теорія і практика.* 2015. Вип. 18. С. 362–366.

3. Исаева Е.О. Музыкальные игры в обучении детей 7–8 лет игре на фортепиано : учебно-методическое пособие. Санкт-Петербург : ГБОУ Гимназия № 227, 2011. 22 с.

4. Пінчук Г.Г., Титар О.В. Мультимедійні засоби навчання як вирішальний фактор ефективності навчального процесу / *УРОК : Форум педагогічних ідей.* 2013. URL: https://osvita.ua/school/lessons_summary/proftech/34663 (дата звернення: 11.09.2019).

5. Панасенко І.О. Інтерактивні методи і мультимедійні технології та їх використання на уроках музично-теоретичного циклу : методична розробка. Краматорськ, 2019. 30 с.

6. Самовчитель гри на фортепіано. URL: https://propianino.ru/samouchitel-igry-na-pianino (дата звернення: 16.09.2019).

7. Самовчитель гри на фортепіано та синтезаторі. URL: http://rock-academy.ru (дата звернення: 02.09.2019).

8. Пушкар О.І., Бондар І.О. Моделювання структурної побудови електронного журналу ігрового спрямування. *Системи обробки інформації.* 2017. № 2 (148). С. 237–241.

9. Бондар І.О. Визначення завдань для здійснення розробки інтерактивного електронного журналу. *Біоніка інтелекту.* 2016. Вип. №1 (86). С. 130–134.

10. Бондар І.О., Грабова А.С. Специфіка здійснення процесу розробки мультимедійного видання «Графічний дизайн». *Молодий вчений.* 2017. № 9 (49). С. 437–445.

11. Бондар І.О. Контентний аналіз мультимедійного навчального комплексу «Теорія кольору». *Інформаційні технології і засоби навчання.* 2018. Том 63. №1. С. 95–106.

12. Хорошевська І.О. Структура представлення інформації в технічному завданні на створення мультимедійних дидактичних навчальних комплексів. *Вчені записки таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки».* 2018. Том 29 (68). № 5. С. 85–93.

13. Метод анкетування. URL: https://studopedia.org/10-136070.html (дата звернення: 21.09.2019).

14. Пушкарь А.И., Потрашкова Л.В. Основы научных исследований и организация научно-исследовательской деятельности : учебное пособие. Харьков : Изд. ИНЖЕК, 2009. 289 с.

15. Лямець В. І., Тевяшев А. Д. Системний аналіз. Вступний курс. 2-е вид., перероб. та допов. Харків : ХНУРЕ, 2004. 448 с.

16. Подольская М.Н. Квалиметрия и управление качеством : лабораторный практикум. Ч. 1. Экспертные методы. Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011. 80 с.

17. Климнюк В.Е., Браткевич В.В. Иерархическая модель критериев оценки качества мультимедийных изданий. *Системи обробки інформації.* 2010. Вип. 7. С. 156–162.

Khoroshevska I.O., Bondar A.V. METHOD DEVELOPMENT FOR CREATING A MULTIMEDIA EDITION "SELF-TEACHER OF PIANO"

The article emphasizes on the methods of the technique of identifying structural elements for creating a multimedia edition intended for independent education of elementary school children. This multimedia

edition is proposed to be considered as a complete educational multimedia complex. The importance of the use of interactive elements for the children's effective perception of educational material is emphasized. The methodology reveals the most important functions that the publication should perform and their sequence of implementation in the structure of this e-learning complex. A clear link is made between the identified functions and the structural elements that can perform them in the best way. The realization of the stages of the methodology are implemented with the help of using such mathematical tools such as peer review and graph theory. The following phases of the methodology allow us to identify criteria based on the functions that the publication should perform, to determine the priority level of each of the defined criteria and to select the most important structural elements for the construction of the complex according to the identified criteria and their importance. The proposed stages make it possible to develop a high-quality and effective multimedia educational publication based on well-founded decision-making using the mathematical tools. These stages of the methodology can be used as a theoretical and methodological toolkit in the development of multimedia training complexes of any subject in the future. The variable component will be only the functions, criteria and structural content of the element base according to the subject area of development of a certain multimedia educational complex. To increase the clarity of the process of implementation of each of the stages proposed in the article, they are demonstrated on the example of calculations for the educational multimedia edition "Self-teacher of piano" (in the manner of a desktop multimedia application), assigned to teach elementary school children to play the piano at the primary level and their development in the field of music.

Key words: *multimedia edition, self-teacher of piano, method, method steps, structural element, experts.*

УДК 004.942:697
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-1/31

Чирін Д.А.
ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

Іродов В.Ф.
ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

Чорнойван А.А.
ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СОНЯЧНОГО КОЛЕКТОРА ПЛІВКОВОГО ТИПУ

У статті розглядається сонячний колектор плівкового типу, в якому теплоносієм є вода. Колектор може застосовуватись у системах гарячого водопостачання та опалення. Метою даної роботи є викладення нового технічного рішення та результатів експериментальних досліджень сонячного колектора плівкового типу при змінних умовах його функціонування. Основні відмінності розробленого сонячного колектора полягають у наявності світлопрозорої поверхні та повітряного прошарку перед плівкою рідини, а також у наявності триходового клапану при підключенні колектора до системи опалення. Під час планування експериментів виділені вхідні та вихідні параметри. За допомогою теорії розмірності та подоби розмірна сукупність вхідних та вихідних параметрів перетворена на сукупність безрозмірних комплексів, які повною мірою характеризують роботу сонячного колектора. Серед вхідних параметрів визначаються такі: температура води на вході та на виході з сонячного колектора; температура повітря; інтенсивність сонячного випромінювання; швидкість руху плівки; геометричні параметри колектора і світлопрозорої поверхні; швидкість течії рідини. Вихідні параметри такі: кількість енергії на нагрів води та кількість енергії, що надійшла в колектор. Вхідні та вихідні параметри експерименту представлено у вигляді безрозмірних комплексів, що дозволить побудувати математичну модель функціонування даного пристрою. Результати експериментів представлені у вигляді таблиці, яка характеризує залежність ефективності роботи сонячного колектора від вхідних безрозмірних комплексів. Аналіз отриманих експериментальних результатів дозволяє дійти висновку, що розроблений колектор має прийнятну енергетичну ефективність. Беручи до уваги незначні витрати на виготовлення такого колектора, його можна використовувати у системах опалення та гарячого водопостачання.

Ключові слова: *сонячний колектор, системи опалення, системи гарячого водопостачання, експериментальні дослідження, критерії подібності, безрозмірний вигляд.*

Постановка проблеми. Збереження енергоресурсів планети завдяки використанню нетрадиційних видів енергії сприяє технічному прогресу, конкурентоспроможності промисловості та комфортному життєзабезпеченню. На сьогодні винайдено багато моделей сонячних колекторів, але складність виробництва або використання кольорових металів чи низька ефективність сонячних колекторів обмежують масове використання відомих конструкцій. Представлена конструкція сонячного колектора плівкового типу може вирішувати задачі гарячого водопостачання чи опалення за відсутності недоліків відомих моделей. Треба проводити експерименти з використанням різних матеріалів та фізичних характеристик сонячного колектора, щоб досягти максимальних показників ефективності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Модель сонячного колектора плівкового типу використовує сонячну енергію і нагріває рідинний теплоносій, наприклад, воду. Серед різних типів колекторів є і сонячні колектори, які застосовують теплообмін у плівці рідини [1]. Такий пристрій містить корпус з вхідним і вихідним патрубком для рідини, теплообмінну поверхню та електромеханічний модулятор потоку рідини, яка надходить до теплообмінної поверхні. Електромеханічний модулятор складається з електродвигуна, редуктора та пульсатора рідини. Тонка плівка пульсуючої рідини, яка стікає теплообмінною поверхнею з вертикальними або горизонтальними каналами, активно відбирає теплову енергію. Теплообмінна поверхня при цьому повинна бути повернена до сонця або до іншого джерела теплової енергії.

Недоліком такого пристрою є необхідність використання додаткової зовнішньої електричної енергії для приводу модулятора коливань потоку рідини, а також конструктивна складність.

Задача вилучення перелічених недоліків і зменшення вартості сонячних колекторів вирішувалась у технічному рішенні [2]. Згідно з цим патентом сонячний колектор з теплообміном у рідинних плівках містить корпус з вхідним та вихідним патрубками для рідини, теплообмінну поверхню, модулятор коливань потоку рідини для подачі її на верхню частину теплообмінної поверхні. Цей модулятор відрізняється від інших тим, що він виготовлений у вигляді щілинного дозатора рідини, з'єднаного з вхідним патрубком, і гребінок, виступи яких розташовані у шаховому порядку на теплообмінній поверхні, яка має покриття з шару вуглецевого сорбенту. Вихідний патрубок підключений до накопичувача рідини в нижній частині теплообмінної поверхні.

Недоліком другого пристрою є наявність втрат теплової енергії крізь корпус колектора, а також наявність протиріччя при експлуатації колектора. Це протиріччя таке: щоб підвищити тепловіддачу рідини, необхідно підвищувати швидкість руху плівки рідини, але при підвищенні швидкості руху рідини у плівці зменшується час контакту рідини з теплообмінною поверхнею, що призводить до зменшення нагрівання рідини.

Постановка завдання. Мета роботи – розробка оптимальної схеми роботи сонячного колектора плівкового типу та експериментальні дослідження для подальшої побудови математичної моделі.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розроблено технічне рішення сонячного колектора плівкового типу, що має зменшені трудовитрати при виробництві. Суть конструкції пояснюється графічними матеріалами на рис.1. Поставлена задача вирішується тим, що корпус має вхідний (1) та вихідний (2) патрубки для рідини, теплообмінну поверхню (3), щілинний дозатор рідини (4) для подачі її на верхню частину теплообмінної поверхні та гребінок (5), виступи яких розташовані на теплообмінній поверхні, що має покриття зі значним коефіцієнтом поглинання сонячного випромінювання (6). Вихідний патрубок підключений до накопичувача рідини (7) в нижчій частині теплообмінної поверхні, який відрізняється тим, що нижня частина його корпусу має теплову ізоляцію (8), а верхня частина має світлопрозору поверхню (9). Між плівкою рідини і світлопрозорою поверхнею утворюється повітряний простір (10). Накопичувач рідини має вихідній патрубок, який з'єднується з вхідним патрубком триходового клапана (11). Перший вихідний патрубок триходового клапану з'єднується з входом насосу рідини (12), вихід якого з'єднується з входом колектора, а другий патрубок триходового клапана забезпечує вихід нагрітої рідини після колектора (13).

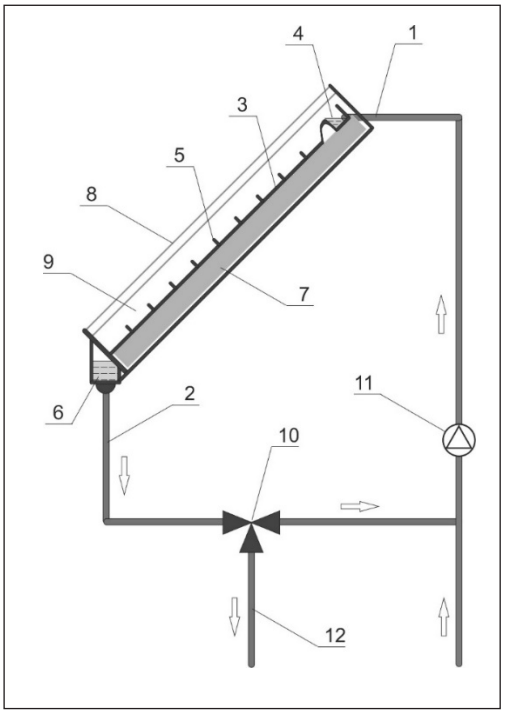


Рис. 1. Конструкція сонячного колектора

Задачею даної конструкції сонячного колектора є зменшення втрат теплової енергії і підвищення ефективності поглинання сонячної енергії рідиною колектора з теплообміном у плівці рідини.

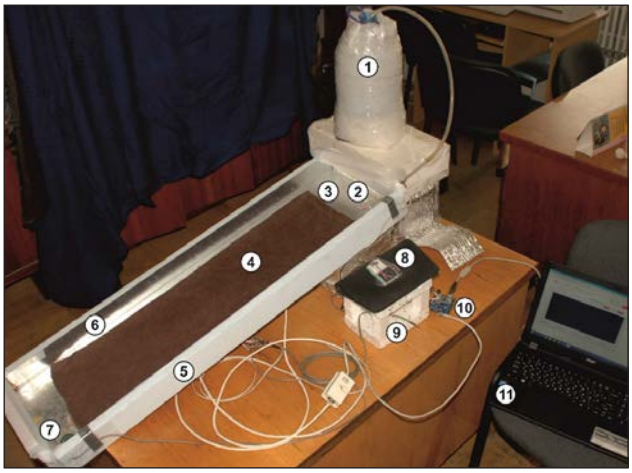


Рис. 2. Експериментальна модель сонячного колектора плівкового типу

Складові частини сонячного колектора:

1) теплоізольований накопичувальний бак;
2) датчик початкової температури рідини (води);
3) плівка рідини, що вільно стікає (вода);
4) сорбуюча поверхня;
5) теплоізоляція;
6) світлопрозора поверхня (скло);
7) датчик кінцевої температури рідини (води);

8) датчик інтенсивності сонячного випромінювання;

9) датчик температури повітря;

10) мікроконтролер перетворювання сигналів з датчиків;

11) ЕОМ збору і обробки даних.

Нами проведені експерименти за різних погодних умов та різних фізичних характеристик сонячного колектора. Як світлопрозору поверхню було використано звичайне скло, органічне скло (пластик), поліетиленову плівку. Були проведені експерименти за різної висоти накопичувального баку та вхідного патрубка, різної відстані між світлопрозорою і сорбуючою поверхнями. У таблиці 1 наведені результати експерименту з використанням органічного скла.

Таблиця містить такі позначки:

– Тн.вод. (°С) – температура води на вході в сонячний колектор;

– Тк.вод. (°С) – температура води на виході із сонячного колектора;

– Тпов. (°С) – температура повітря в тіні;

– Н (см) – різниця висот води між накопичувальним баком та вхідним патрубком;

– h (см) – відстань між світлопрозорою і сорбуючою поверхнями;

– Рсон. (мВт/см^2) – інтенсивність сонячного випромінення;

– Qвод. – кількість енергії, що надійшла в колектор;

– G (гр/сек) – витрати води;

– Qкін. (Вт) – кількість сонячної енергії, що надходить на площу, рівну площі колектора.

До розмірних параметрів відносимо такі: dTвод. (0С), Тпов. (0С), Fкол.(м2, площа колектора), h (м), Свод (Дж/кг 0С, теплоємність води), qсон (Дж/сек м2, щільність сонячного випромінення), G (кг/сек.). Разом – 7 шт.

Одиниці виміру: 0С, м, н, сек, разом – 4 шт. Кількість безрозмірних комплексів становить N = 7-4 = 3 шт.

Вводимо перший комплекс: $p_1 = \frac{\Delta T}{T_{пов}}$, де $\varnothing T$ – різниця температур на вході і на виході сонячного колектора, $T_{пов}$ – температура повітря. Температурний комплекс p_1 характеризує вплив температури повітря на різницю температур початкової і кінцевої води.

Другий комплекс характеризує фізичні розміри сонячного колектора: $p_2 = \frac{h^2}{F}$, де h – відстань між світлопрозорою і сорбуючою поверхнями, F – площа світлопрозорої поверхні.

Третій безрозмірний комплекс характеризує ефективність сонячного колектора:

$$p_3 = \frac{C_{вод} * G * \Delta T}{q_{сон} * F}.$$

Таблиця 1

Результати експерименту з сонячним колектором плівкового типу

	Вхідні параметри						Вихідні параметри	
Тн.вод.	**Тк.вод.**	**Тпов.**	**Н**	**Н**	**Рсон.**	**G**	**Qвод.**	**Qкін.**
24,5	27,7	30,97	57	2	99,999	6,67	64	199,998
24,3	28,4	30,71	57	2	98,862	6,67	82	197,724
24,5	28,6	31,33	57	1	88,161	6,67	82	176,322
24,7	29,3	31,16	57	1	100,491	6,67	92	200,982
26	29,5	28,87	57	1	107,467	6,67	70	214,934
26,2	30	29,39	57	1	97,374	6,67	76	194,748
26,9	31,8	29,22	37	1	100,465	5	98	200,93
27,1	32,2	29,3	37	1	101,282	5	102	202,564
27,5	32,7	30,09	37	2	91,177	5	104	182,354
27,7	32,9	30,71	37	2	98,862	5	104	197,724
27,8	32,1	28,26	37	2	74,74	5	86	149,48
27,1	34,8	30,36	21	2	111,016	3,85	154	222,032
27,2	34,4	28,78	21	2	89,27	3,85	144	178,54
27,3	34,8	27,75	21	2	94,154	3,85	150	188,308
27,4	34,4	30,89	21	2	61,763	3,85	140	123,526
27,4	33,6	30,89	21	1	83,502	3,85	124	167,004
27,1	34,8	29,83	21	1	86,186	3,85	154	172,372
27,7	33,9	28,52	21	1	113,943	3,85	124	227,886
28,2	34,6	29,04	21	2	112,004	3,85	128	224,008
28,3	32,9	29,13	21	2	76,28	3,85	92	152,56

Таблиця 2

Розмірні параметри та безрозмірні комплекси експерименту з сонячним колектором плівкового типу

Розмірні параметри							Безрозмірні комплекси		
dT	Твозд	Fколект	h	Свод	qсон	G	*p1*	*p2*	*p3*
3,2	30,97	0,23	0,02	4183	999,99	0,00667	0,103326	0,001739	0,388186
4,1	30,71	0,23	0,02	4183	988,62	0,00667	0,133507	0,001739	0,503084
4,1	31,33	0,23	0,01	4183	881,61	0,00667	0,130865	0,000435	0,564148
4,6	31,16	0,23	0,01	4183	1004,91	0,00667	0,147625	0,000435	0,555286
3,5	28,87	0,23	0,01	4183	1074,67	0,00667	0,121233	0,000435	0,395074
3,8	29,39	0,23	0,01	4183	973,74	0,00667	0,129296	0,000435	0,473398
4,9	29,22	0,23	0,01	4183	1004,65	0,005	0,167693	0,000435	0,443518
5,1	29,3	0,23	0,01	4183	1012,82	0,005	0,174061	0,000435	0,457897
5,2	30,09	0,23	0,02	4183	911,77	0,005	0,172815	0,001739	0,518619
5,2	30,71	0,23	0,02	4183	988,62	0,005	0,169326	0,001739	0,478304
4,3	28,26	0,23	0,02	4183	747,4	0,005	0,152159	0,001739	0,523173
7,7	30,36	0,23	0,02	4183	1110,16	0,00385	0,253623	0,001739	0,485653
7,2	28,78	0,23	0,02	4183	892,7	0,00385	0,250174	0,001739	0,564739
7,5	27,75	0,23	0,02	4183	941,54	0,00385	0,27027	0,001739	0,557755
7	30,89	0,23	0,02	4183	617,63	0,00385	0,226611	0,001739	0,793579
6,2	30,89	0,23	0,01	4183	835,02	0,00385	0,200712	0,000435	0,519895
7,7	29,83	0,23	0,01	4183	861,86	0,00385	0,258129	0,000435	0,625568
6,2	28,52	0,23	0,01	4183	1139,43	0,00385	0,217391	0,000435	0,381
6,4	29,04	0,23	0,02	4183	1120,04	0,00385	0,220386	0,001739	0,400099
4,6	29,13	0,23	0,02	4183	762,8	0,00385	0,157913	0,001739	0,422248

Висновки. Розроблено конструкцію сонячного колектора плівкового типу, захищену патентом України. Виготовлено фізичну модель сонячного колектора плівкового типу та проведено експерименти із застосуванням різних матеріалів за різних погодних умов і змінних фізичних характеристик сонячного колектора. Розроблено сукупність безрозмірних комплексів, які характеризують режими роботи сонячного колектора за змінних умов. Експериментальні результати роботи сонячного колектора плівкового типу дозволяють отримати математичну модель роботи колектора та приймати рішення про його застосування у системах опалення та гарячого водопостачання.

Список літератури:

1. Способ повышения теплоотдачи и предотвращения высыхания пленки жидкости и устройство для модуляции колебаний потока жидкости : пат. 2053480 Российская Федерация, МПК F28F 13/10. / Велькин В.И., Щеклеин С.Е. ; заявитель и патентообладатель Велькин В.И., Щеклеин С.Е. ; № 93 93049701 ; опубл. 06.10.1993.

2. Солнечный коллектор с теплообменом в жидких пленках : пат. 128297 Российская Федерация, МПК F24J 2/22. / В.И.Велькин, С.Е.Щеклеин, А.И.Попов ; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» ; № 93 93049701 ; заявл. 05.12.2012 ; опубл. 20.05.2013 ; бюл. № 14.

3. Сонячний колектор з теплообміном у плівці рідини : пат. 133072 Україна, МПК F24S 10/00. / В.Ф. Іродов, Д.А. Чирін, К.В. Дудкін, А.А. Чорнойван ; заявники та власники В.Ф. Іродов, Д.А. Чирін, К.В. Дудкін, А.А. Чорнойван ; № u201809732 ; заявл. 28.09.2018 ; опубл. 25.03.2019 ; бюл. № 6.

4. Потетюнко Э.Н. Турбулентное стекание вязкой жидкости по наклонной плоскости. *Современные наукоемкие технологии.* 2010. № 9. С. 182–187.

5. Петухов С.П. Методы подобия и размерностей в теории теплообмена : учебное пособие. Москва, 1981. 56 с.

6. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. Москва : Наука, 1977. 440 с.

Chirin D.A., Irodov V.F., Chornoivan A.A. EXPERIMENTAL RESEARCH OF A FILM TYPE SOLAR COLLECTOR

Consider a solar collector film type in which the coolant is water. The collector can be used in hot water and heating systems. The purpose of this work is to present a new technical solution and the results of experimental studies of a solar collector of film type under variable conditions of its functioning. The main differences of the developed solar collector are the presence of a translucent surface and an air layer before the film of liquid, as well as the presence of a three-way valve when connecting the collector to the heating system. When planning experiments, the input and output parameters are highlighted. Using dimensionality and similarity theory, the dimensional set of input and output parameters is transformed into a set of dimensionless complexes that fully characterize the operation of the solar collector. Among the input parameters: water temperature at the inlet and outlet of the solar collector; air temperature; the intensity of solar radiation; the speed of motion of the film; geometric parameters of the collector and translucent surface and others. Output parameters: fluid flow rate; the amount of energy that went into the collector and others. The input and output parameters of the experiment are presented in the form of dimensionless complexes, this representation will allow us to further build a mathematical model of the operation of this device. The results of the experiments are presented in the form of a table characterizing the dependence of the solar collector efficiency on the incoming dimensionless complexes. The analysis of the obtained experimental results makes it possible to conclude that the designed collector has an acceptable energy efficiency, and taking into account the low cost of producing such a collector, it can be used in heating and hot water systems.

Key words: *solar collector, heating systems, hot water systems, experimental studies, similarity criteria, dimensionless appearance.*

Відомості про авторів

Антонюк Д.С. – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри інженерії програмного забезпечення Державного університету «Житомирська політехніка»;

Базака Ю.А. – асистент кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Беглов К.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних технологій автоматизації Одеського національного політехнічного університету;

Бернацький А.В. – кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник відділу «Спеціалізована високовольтна техніка та лазерне зварювання» Інституту електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України;

Богдановський М.В. – старший викладач Державного університету «Житомирська політехніка»;

Бойко Ю.М. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри телекомунікацій та радіотехніки Хмельницького національного університету;

Бондар А.В. – магістр 2-го року навчання спеціальності «Видавництво та поліграфія» Харківського національного економічного університету імені Семена Кузнеця;

Борисенко В.Д. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерної інженерії Миколаївського національного університету імені В.О. Сухомлинського;

Бунько В.Я. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри енергетики і автоматики Відокремленого підрозділу Національного університету біоресурсів і природокористування «Бережанський агротехнічний інститут»;

Бурдейний Є.І. – кафедра системного програмного забезпечення Одеського національного політехнічного університету;

Вакалюк Т.А. – доктор педагогічних наук, доцент, професор кафедри інженерії програмного забезпечення Державного університету «Житомирська політехніка»;

Варенко А.М. – аспірант Національного університету «Львівська політехніка»;

Власенко О.В. – старший викладач кафедри інженерії програмного забезпечення Державного університету «Житомирська політехніка»;

Глухова Н.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації та приладобудування Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»;

Голик О.П. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації виробничих процесів Центральноукраїнського національного технічного університету;

Грибков С.В. – кандидат технічних наук, доцент Національного університету харчових технологій;

Гурова Т.О. – магістр Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Давидов В.О. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних технологій автоматизації Одеського національного політехнічного університету;

Деревянко Г.В. – кандидат технічних наук, науковий керівник проектів Відкритого акціонерного товариства System Technology Solutions, Німеччина;

Добржанський О.О. – кандидат технічних наук, доцент Державного університету «Житомирська політехніка»;

Єфремов М.Ф. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерії програмного забезпечення Державного університету «Житомирська політехніка»;

Єфремов Ю.М. – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри інженерії програмного забезпечення Державного університету «Житомирська політехніка»;

Жесан Р.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації виробничих процесів Центральноукраїнського національного технічного університету;

Завгородній В.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій Державного університету інфраструктури та технологій;

Завгородня Г.А. – старший викладач кафедри інформаційних технологій Державного університету інфраструктури та технологій;

Іродов В.Ф. – доктор технічних наук, професор кафедри системного аналізу та моделювання у теплогазопостачанні ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»;

Ісмаіл Мухаммед – аспірант кафедри автоматизації виробничих процесів Центральноукраїнського національного технічного університету;

Качурівська Г.М. – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій та вищої математики Відокремленого підрозділу Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»;

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»;

Киричек Г.Г. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних систем та мереж Національного університету «Запорізька політехніка»;

Книрік К.О. – аспірантка кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;

Коваль А.В. – кандидат технічних наук, доцент Державного університету «Житомирська політехніка»

Комлева Н.О. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри системного програмного забезпечення Одеського національного політехнічного університету;

Корнага Я.І. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Крісілов В.А. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри системного програмного забезпечення Одеського національного політехнічного університету;

Лахно В.А. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерних систем і мереж Національного університету біотехнологій і природокористування України;

Малахова Д.О. – аспірант Одеського національного політехнічного університету;

Маргієв Г.Е. – аспірант кафедри комп'ютерної інженерії ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Покровськ;

Матус Ю.В. – старший викладач кафедри комп'ютерних систем і мереж Національного університету біотехнологій і природокористування України;

Медушевський С.В. – викладач кафедри якості, стандартизації та управління проектами Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького;

Мещеряков В.І. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформатики Одеського державного екологічного університету;

Мінаков М.А. – аспірант кафедри комп'ютерної інженерії ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Покровськ;

Мірошкін О.М. – кандидат технічних наук, доцент, науковий співробітник Комунікаційно-Інформаційного Центру, Університет Ульма, Німеччина;

Мірошніченко М.С. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації виробничих процесів Центральноукраїнського національного технічного університету;

Мухін В.Є. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри математичних методів системного аналізу Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Набок Т.М. – молодший науковий співробітник відділу «Спеціалізована високовольтна техніка та лазерне зварювання» Інституту електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України;

Оксанич І. Г. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації та інформаційних систем Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського;

Оринчак І.А. – старший викладач кафедри комп'ютерної інженерії та кібербезпеки Державного університету «Житомирська політехніка»;

Осипова Т.Ю. – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри комп'ютерних систем і мереж Національного університету біотехнологій і природокористування України;

Пісоцька Л.А. – доктор медичних наук, доцент, професор кафедри госпітальної терапії ДЗ «Дніпропетровська медична академія МОЗ України»;

Повхан І.Ф. – кандидат технічних наук, доцент кафедри програмного забезпечення систем ДВНЗ «Ужгородський національний університет»;

Полушкін Є.М. – студент Одеського національного політехнічного університету;

Поляченко А.І. – аспірант Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

Приходько Н.В. – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри фінансів Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;

Приходько С.Б. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;

Пятін І.С. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри телекомунікацій та радіотехніки Хмельницького національного університету;

Святний В.А. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерної інженерії ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Покровськ;

Сидорець В.М. – доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник відділу «Газового розряду і техніки плазми» Інституту електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України;

Сіора О.В. – науковий співробітник відділу «Спеціалізована високовольтна техніка та лазерне зварювання» Інституту електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України;

Соловей І.М. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електротехнологій та експлуатації енергообладнання Відокремленого підрозділу Національного університету біоресурсів і природокористування «Бережанський агротехнічний інститут»;

Степанець О. В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації теплоенергетичних процесів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Струзік В.А. – інженер-програміст, ТОВ «ПЕРША УКРАЇНСЬКА ЛІЗИНГОВА КОМПАНІЯ», аспірант Національного університету харчових технологій;

Терлецький В.О. – студент Одеського національного політехнічного університету;

Тимчик Г.С. – доктор технічних наук, професор Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Ткачук А.Г. – кандидат технічних наук, доцент Державного університету «Житомирська політехніка»;

Устенко А.С. – студент кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;

Устенко І.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;

Фалькевич В.Г. – магістрант факультету комп'ютерних наук та технологій Національного університету «Запорізька політехніка»;

Хорошевська І.О. – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних систем і технологій Харківського національного економічного університету імені Семена Кузнеця;

Чирін Д.А. – аспірант кафедри системного аналізу та моделювання у теплогазопостачанні ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»;

Чобану В.В. – студент Національного університету харчових технологій;

Чорнойван А.А. – завідувач лабораторії кафедри системного аналізу та моделювання у теплогазопостачанні ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»;

Шевченко В.В. – кандидат технічних наук, доцент Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Шелягін В.Д. – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу «Спеціалізована високовольтна техніка та лазерне зварювання» Інституту електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України;

Шрам Д.О. – аспірант кафедри автоматизації теплоенергетичних процесів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Шуба І.В. – науковий співробітник відділу «Спеціалізована високовольтна техніка та лазерне зварювання» Інституту електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України;

Якобчук А.С. – магістр 2 року навчання факультету інформаційно-комп'ютерних технологій Державного університету «Житомирська політехніка»;

Янчук В.М. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації та комп'ютеризованих технологій імені Б.Б. Самотокіна Державного університету «Житомирська політехніка».

Науковий журнал

ВЧЕНІ ЗАПИСКИ
ТАВРІЙСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО

Серія: Технічні науки

Том 30 (69) № 5 2019

Частина 1

Коректура • *Н. Пирог*

Комп'ютерна верстка • *Н. Кузнєцова*

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. 17,80. Ум.-друк. арк. 23,48. Зам. № 1119/246
Підписано до друку 08.11.2019. Наклад 150 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»
73021, м. Херсон, вул. Паровозна, 46-а
Телефон +38 (0552) 399 580,
+38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.com.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 6424 від 04.10.2018 р.