

**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) № 1 2019

Частина 1

**Київ
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;

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

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

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

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

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

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

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

**Рекомендовано до друку та поширення через мережу Internet
Вченою радою Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського
(протокол № 6 від 08.02.2019 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

Ковальчук Ю.О., Пушка О.С., Войтік А.В.

АНАЛІЗ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ У РЕЗУЛЬТАТІ ЛАЗЕРНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ ІЗ ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ.....1

АВІАЦІЙНА ТА РАКЕТНО-КОСМІЧНА ТЕХНІКА

Усенко В.Ю., Мітрахович М.М., Дорошенко К.В.

ВИБІР МОДЕЛІ ТУРБУЛЕНТНОЇ В'ЯЗКОСТІ
ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ШУМУ ГВИНТОВЕНТИЛЯТОРА.....6

КОРАБЛЕБУДУВАННЯ

Кондратьєва Л.Ю.

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕДУКЦІЙНИХ КОЕФІЦІЄНТІВ
ДЛЯ РОЗРАХУНКУ БОРТОВОЇ ХИТАВИЦІ СУДНА ТИПУ СМПВ.....12

ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

Домнич В.И.

ТЕПЛОВАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАДИАТОРОВ С ГНУТЫМИ
ПРИЗМАТИЧЕСКИМИ РЕБРАМИ ПРИ ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ КОНВЕКЦИИ.....18

РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

Омецинська Н.В.

ОСОБЛИВОСТІ СУМІСНОЇ ПОВЕДІНКИ СПЕКТРАЛЬНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ
ПЕРЕДАВАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОДНОМОДОВИХ ОПТИЧНИХ ВОЛОКОН.....21

ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

Борисенко В.Д., Устенко І.В., Кузьма К.Т.

УЗГОДЖЕННЯ ОБВОДІВ СПИНКИ Й КОРИТЦЯ ПРОФІЛІВ ЛОПАТОК
ОСЬОВИХ КОМПРЕСОРІВ ІЗ ВХІДНИМИ ТА ВИХІДНИМИ КРОМКАМИ.....26

Гіоргізова-Гай В.Ш., Шеренковський А.О.

ШЛЮЗ У СИСТЕМІ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ.....31

Говорущенко Т.О., Павлова О.О., Боднар М.А.

СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ СЕМАНТИЧНОГО АНАЛІЗУ
СПЕЦИФІКАЦІЙ ВИМОГ ДО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....38

Киричек Г.Г., Курай В.І.

КЛІЄНТ-СЕРВЕРНА СИСТЕМА ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄКТІВ.....44

Кисіль Т.М., Кучерук О.Я.

ВИКОРИСТАННЯ FUZZY LOGIC TOOLBOX
ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ РІВНЯ НАВЧАЛЬНОЇ МОТИВАЦІЇ.....50

Ковалюк Д.О., Ковалюк О.О., Бородін В.І., Степанюк М.М.

ІНТЕГРАЦІЯ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ.....56

Концур В.О.

РОЗРАХУНОК І ВИБІР РЕГУЛЮЮЧОГО ОРГАНУ ДЛЯ ПІДТРИМКИ РІВНЯ ДРЕНАЖУ
В ГРУПІ ПІДГРІВАЧІВ НИЗЬКОГО ТИСКУ ЕНЕРГОБЛОКУ 1000 МВТ ЗАПОРІЗЬКОЇ АЕС.....61

Корченко А.О., Іванченко Є.В., Погорелов В.В. ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ ВІЯВЛЕННЯ ВТОРГНЕНЬ НА БАЗІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ	66
Ложкін Р.С. РОЗРОБЛЕННЯ АГЕНТНО-ОРІЄНТОВАНОЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КООРДИНАЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ В УМОВАХ ВИНИКНЕННЯ ТЕХНОГЕННИХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ	73
Lomovoy V.I., Pavlenko V.D. METHODS AND TOOLS FOR IDENTIFICATION OF NONLINEAR DYNAMICAL SYSTEMS BASED ON VOLTERRA MODELS IN FREQUENCY DOMAIN.....	78
Ляшенко Е.Н., Кирийчук Д.Л., Прачик В.В. МЕТОДОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ БАЗ ЗНАНИЙ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИ РАЗВИВАЮЩИХСЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ОСНОВЕ ЛОГИЧЕСКОГО ФОРМАЛИЗМА ДЕСКРИПЦИОННЫХ ЛОГИК.....	97
Оксанич И.Г. КИБЕРНЕТИЧЕСКАЯ СУЩНОСТЬ ПОКАЗАТЕЛЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ.....	104
Осадчий В.В., Круглик В.С., Осадча К.П., Сердюк І.М., Букреєв Д.О. ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАСОБУ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ВСТУПУ АБІТУРІЄНТІВ ДО ЗАКЛАДІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ.....	110
Пушкар О.І., Андрющенко Т.Ю. ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПОНЯТТЯ «ПАРТНЕРСЬКІ ВІДНОСИНИ» ВИДАВНИЧО-ПОЛІГРАФІЧНИХ ПІДПРИЄМСТВ.....	115
Терейковська Л.О. АНАЛІЗ ЗАСОБІВ РОЗПІЗНАВАННЯ ЕМОЦІЙНОГО СТАНУ ЛЮДИНИ ЗА ГОЛОСОМ.....	120
Тільняк Ю.Я. МОДИФІКАЦІЯ АЛГОРИТМУ MD5 ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЦІЛІСНОСТІ ЕЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБИГУ ДЛЯ БЛОКЧЕЙН.....	125
Тіменко А.В., Шкарупило В.В. АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ОРКЕСТРУВАННЯ ІОТ-СЕРВІСІВ.....	130
Топалов А.М., Кондратенко Ю.П., Козлов О.В. СИНТЕЗ І ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПЛАВУЧОГО ДОКУ ДЛЯ ЗАДАЧ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ.....	134
Трач О.Р., Вус В.А. ВІЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОКАЗНИКІВ ОРГАНІЗАЦІЇ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ВІРТУАЛЬНИХ СПІЛЬНОТ.....	143
Хорошевська І.О. РОЗРОБКА МЕТОДИКИ СТРУКТУРНОЇ ПОБУДОВИ ЕЛЕКТРОННОГО РЕСУРСУ ДЛЯ НАВЧАННЯ ФАХІВЦІВ СФЕРИ ПОСЛУГ.....	149
Чекурін В.Ф., Химко О.М. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЦІЛІСНОСТІ ЛІНІЙНОЇ ЧАСТИНИ МАГІСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДУ.....	158
Чумаченко С.М., Андріюк О.П., Прокопенко В.В. ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНА СИСТЕМА ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ ОЦІНКИ ЯКОСТІ СТАНУ ҐРУНТОВИХ ВОД У ЗОНІ ТЕХНОГЕННОГО ВПЛИВУ МІЖНАРОДНОГО АЕРОПОРТУ «БОРИСПІЛЬ».....	165
Чумаченко С.М., Гуйда О.Г., Андріюк О.П., Іващенко В.Г. СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО СТВОРЕННЯ WEB-ОРІЄНТОВАНОЇ ПЛАТФОРМИ ДЛЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЗАМКНУТИМИ ЕКОСИСТЕМАМИ В УМОВАХ ЕКСТРЕМАЛЬНОГО ЗАБРУДНЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	172

CONTENTS

MATERIAL PROCESSING IN MECHANICAL ENGINEERING

Kovalchuk Yu.O., Pushka O.S., Voitik A.V.

ANALYSIS OF RESIDUAL STRESSES AS A RESULT OF LASER TREATMENT
OF AGRICULTURAL TECHNICS DETAILS FROM IRON-CARBON ALLOYS.....1

AIRCRAFT AND AEROSPACE TECHNIQUES

Usenko V.Yu., Mitrakhovych M.M., Doroshenko K.V.

THE SELECTION OF TURBULENT VISCOSITY MODEL
FOR MODELING PROPELLER FAN NOISE6

SHIPBUILDING

Kondratieva L.Yu.

THE INVESTIGATION OF THE REDUCTION COEFFICIENTS
FOR ROLL CALCULATIONS OF THE SWATH SHIP.....12

ELECTRICAL ENGINEERING

Domnich V.I.

THERMAL EFFICIENCY OF RADIATORS WITH CONVENIENT
PRIZMATIC RIBBONS AT PREMIUM CONVECTION.....18

RADIO ENGINEERING AND TELECOMMUNICATIONS

Ometzinskaya N.V.

FEATURES OF JOINT MOVEMENT OF SPECTRAL CONTRIBUTION
OF THE TRANSITION SPECIFICATION OF ONE-MOVED OPTICAL FIBERS21

INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING AND AUTOMATION

Borisenko V.D., Ustenko I.V., Kuzma K.T.

MATCHING OF THE PRESSURE AND SUCTION PROFILES
OF AXIAL FLOW COMPRESSORS BLADE WITH LEADING AND TRAILING EDGES.....26

Hiorhizova-Hai V.Sh., Sherenkovskiy A.O.

GATEWAY IN THE INTERNET OF THINGS SYSTEM.....31

Hovorushchenko T.O., Pavlova O.O., Bodnar M.A.

CURRENT PROBLEMS OF SEMANTIC ANALYSIS OF THE SOFTWARE
REQUIREMENTS SPECIFICATIONS38

Kirichek G.G., Kurai V.I.

CLIENT-SERVER SYSTEM OF DETERMINATION OBJECTS.....44

Kysil T.M., Kucheruk O.Ya.

USING THE FUZZY LOGIC TOOLBOX TO MODEL THE LEVEL OF STUDYING MOTIVATION ...50

Kovaliuk D.O., Kovaliuk O.O., Borodin V.I., Stepaniuk M.M.

INTEGRATION OF CONTROL SYSTEMS SOFTWARE.....56

Kontsur V.O.

CALCULATION AND CHOICE OF REGULATIVE ORGAN FOR SUPPORT OF LEVEL
OF DRAINAGE IN THE GROUP OF HEATERS OF LP OF POWER UNIT OF 1000 MW
OF ZAPORIZHIA NUCLEAR POWER PLANT.....61

Korchenko A.O., Ivanchenko E.I., Pogorelov V.V. EVALUATION OF EFFICIENCY OF EXPERT SYSTEM FOR EXPRESSION OF SUSPENSION ON THE BASIS OF FUZZY LOGIC	66
Lozhkin R.S. DEVELOPMENT OF AGENT-ORIENTED INTELLIGENT COORDINATION CONTROL SYSTEM IN THE CONDITIONS OF MAN-MADE EMERGENCIES	73
Lomovoy V.I., Pavlenko V.D. METHODS AND TOOLS FOR IDENTIFICATION OF NONLINEAR DYNAMICAL SYSTEMS BASED ON VOLTERRA MODELS IN FREQUENCY DOMAIN.....	78
Liashenko O.M., Kyryichuk D.L., Prachyk V.V. KNOWLEDGE BASE DEVELOPMENT METHODOLOGY FOR INTELLIGENT CONTROL SYSTEMS IN THE CONDITIONS OF DYNAMIC DEVELOPING EMERGENCIES BASED ON THE DESCRIPTIVE LOGICAL FORMALISM	97
Oksanych I.H. CYBERNETIC NATURE OF EFFICIENCY INDICATOR	104
Osadchy V.V., Kruglik V.S., Osadcha K.P., Serdyuk I.M., Bukreyev D.O. FEATURES OF DEVELOPMENT OF THE SOFTWARE FOR FORECASTS OF APPLICATION OF ABITURIENTS TO HIGHER EDUCATION UNITS.....	110
Pushkar O.I., Andriushchenko T.Yu. FORMALIZATION OF CONCEPTS “PARTNER RELATIONS” OF PUBLISHING POLYGRAPHIC ENTERPRISES	115
Tereikovska L.O. ANALYSIS OF MEANS OF RECOGNITION OF THE EMOTIONAL STATE OF HUMAN BY VOTE.....	120
Tilniak Yu.Ya. MODIFICATION OF MD5 ALGORITHM FOR CONTROL OF THE INTEGRITY OF ELECTRONIC DOCUMENTARY CLEANING FOR BLOCKCHAIN.....	125
Timenko A.V., Shkarupylo V.V. ANALYSIS OF THE APPROACHES TO IOT-SERVICES ORCHESTRATION	130
Topalov A.M., Kondratenko Yu.P., Kozlov O.V. SYNTHESIS AND STUDY OF THE MATHEMATICAL MODEL OF THE FLOATING DOCK FOR THE AUTOMATIC CONTROL TASKS	134
Trach O.R., Vus V.A. DETERMINATION OF SETTING PARAMETERS OF THE ORGANIZATION OF THE LIFE CYCLE OF VIRTUAL COMMUNITIES.....	143
Khoroshevska I.O. METHOD DEVELOPMENT FOR CONSTRUCTING AN ELECTRONIC RESOURCE FOR TRAINING SPECIALISTS IN THE SERVICE SECTOR.....	149
Chekurin V.F., Khymko O.M. MATHEMATICAL MODEL FOR MONITORING THE INTEGRITY OF THE LINEAR PART OF THE GAS PIPELINE	158
Chumachenko S.M., Andriiuk O.P., Prokopenko V.V. INFORMATION AND ANALYTICAL SYSTEM FOR THE ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF THE QUALITY OF THE GROUNDWATER STATE IN THE AREA OF TECHNOGENIC INFLUENCE OF THE INTERNATIONAL AIRPORT “BORYSPIL”	165
Chumachenko S.M., Huida O.H., Andriiuk O.P., Ivashchenko V.H. SYSTEMS THEORY OF WEB-ORIENTED PLATFORM FOR THE INFORMATION SYSTEM OF MANAGEMENT WITH CLOSED ECOSYSTEMS IN THE CONDITIONS OF EXTREMELY ENVIRONMENTAL POLLUTION	172

ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ У МАШИНОБУДУВАННІ

УДК 621.9.048.7:621.373.826:631.31

Ковальчук Ю.О.

Уманський національний університет садівництва

Пушка О.С.

Уманський національний університет садівництва

Войтік А.В.

Уманський національний університет садівництва

АНАЛІЗ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ У РЕЗУЛЬТАТІ ЛАЗЕРНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ ІЗ ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ

У статті розглянуто особливості формування мікроструктури в зоні лазерного впливу для залізвуглецевих сплавів у результаті застосування ме-тоду поверхневої лазерної обробки. Показано розподіл мікротвердості за глибиною гартування відповідних зразків під час обробки лазером безперервної дії. Наведено залежність глибини зони лазерного впливу від швидкості лазерної обробки. Визначено швидкість переміщення лазерного променя по поверхні зразка, за якої з'являється зона плавлення. Показано розподіл залишкових напружень на поверхні залізвуглецевих сплавів, що виникають унаслідок лазерної обробки.

Ключові слова: метод поверхневої лазерної обробки, зона лазерного впливу, зміцнення, гартування, залишкові напруження.

Постановка проблеми. Нині не втрачає своєї актуальності збільшення ресурсу виробітку різних деталей сільськогосподарської техніки. Одним із першочергових завдань, що стоять перед виробниками сільськогосподарських машин, є забезпечення вищої міцності та зносостійкості деталей, які найбільше піддаються зносу й виходять із ладу.

Для зміцнення різноманітних деталей сільськогосподарської техніки може застосовуватися метод поверхневої лазерної обробки. Вона є одним із методів покращення характеристик деталей сільськогосподарської техніки із залізвуглецевих сплавів. Лазерна обробка може забезпечити значне підвищення міцності, а за правильного вибору марки сплаву, режимів застосування лазерного випромінювання та подальшої обробки зміцнених зразків ще й підвищення пластичності, ударної в'язкості та зносостійкості матеріалу.

У результаті одних досліджень робляться висновки про незначне підвищення міцності та зносостійкості зміцнюваних лазерним випромінюванням сплавів, в інших дослідженнях наводяться результати про значне підвищення міцності матеріалу, але незадовільні показники його

зносостійкості. Але мають місце численні, на жаль, також несистемні дослідження, що вказують як на значне підвищення міцності, так і на значне підвищення зносостійкості деталей сільськогосподарських машин.

Ці характеристики сплавів безпосередньо пов'язані, зокрема, також із залишковими напруженнями на їх поверхні внаслідок лазерної обробки.

Розбіжність результатів пояснюється тим, що різні дослідження виконуються за різних умов лазерної обробки. Не відбувається їх узагальнення й систематизації.

Тому системне дослідження впливу лазерного випромінювання на зміцнювану поверхню матеріалу натеper є актуальним і важливим.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наявні дослідження лазерної обробки різноманітних деталей сільськогосподарської техніки [1–5] у державі мають локальний характер, оскільки потребують як теоретичних та експериментальних досліджень на відповідних лазерних установках і комплексах, так і практичного визначення результатів і на спеціальних стендах та обладнанні, і в полі. Усе це вимагає чималого фінансування, яке фактично відсутнє. Сучасні спроби теоретичних

і практичних досліджень цього питання лазерної обробки проводились також ученими за кордоном [6–10], але недостатньою мірою.

Найбільш широкі дослідження впливу лазерного випромінювання на характеристики сплавів здійснено, зокрема, А.Г. Григор'янцем у праці [6], де розкривались особливості внутрішніх перетворень під дією лазерного променя та вплив деяких параметрів процесу лазерної обробки на отримувані характеристики сплавів.

Останнім часом питання впливу лазерного зміцнювального випромінювання на зразки із залізобуглецевих сплавів розглядались, зокрема, П.А. Огіним, який досліджував структуру й властивості зон перекриття під час лазерної обробки [7] і підвищення експлуатаційних характеристик деталей шляхом застосування оптоволоконного лазера [10]. Дослідженням різних аспектів лазерного зміцнення колінчатих валів активно займався О.С. Завойко [4].

Указані вище та багато інших досліджень у більшості мають несистемний характер. Питання узагальнення й систематизації різноманітних окремих досліджень залишається до кінця не вирішеним. Також недостатньо досліджений вплив окремих параметрів процесу лазерного зміцнення на міцність і, що особливо важливо, зносостійкість сплавів. Невирішеним залишається питання дослідження можливих комбінованих методів зміцнення сплавів із застосуванням лазерної обробки.

Досить суперечливі дані можна зустріти в різних авторів щодо залишкових напружень на поверхні залізобуглецевих сплавів, їх значень і знаків при подібних параметрах лазерної обробки.

Постановка завдання. Метою роботи є визначення впливу лазерної зміцнювальної обробки на структуру і властивості залізобуглецевих сплавів, аналіз особливостей формування мікроструктури й розподілу мікротвердості за глибиною гартування відповідних зразків, дослідження розподілу залишкових напружень на поверхні оброблюваних сплавів, що, у свою чергу, дасть можливість розроблення оптимальних параметрів процесу лазерного зміцнення та призведе до покращення експлуатаційних характеристик відповідних деталей сільськогосподарської техніки.

Виклад основного матеріалу дослідження. Якщо розглянути поперечний переріз зміцненої лазерним випромінюванням смуги залізобуглецевих сплавів за допомогою CO₂-лазера безперервної дії, то в ньому можна виділити декілька основних зон (рис. 1) [11]: зону оплавлення (зону

загартування з рідкого стану), зону загартування, зону відпуску та вихідну структуру матеріалу. У низці випадків деякі із цих зон можуть бути відсутніми (наприклад, може бути відсутньою зона оплавлення при загартуванні без оплавлення поверхні або зона відпуску при загартуванні попередньо відпаленого металу). Характерний зовнішній вигляд зміцнених доріжок без оплавлення і з оплавленням поверхні наведено на рис. 2.

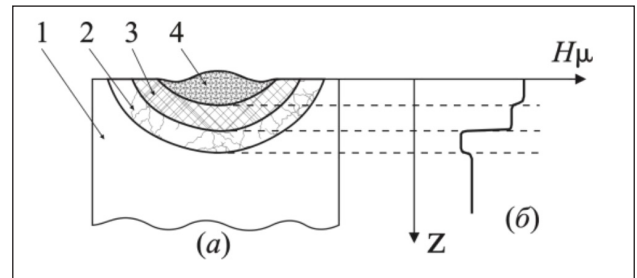


Рис. 1. Схема поперечного перерізу зони лазерної обробки (а) і розподілу мікротвердості за глибиною зони обробки (б): 1 – вихідний метал, 2 – зона відпуску, 3 – зона загартування, 4 – зона загартування з рідкого стану

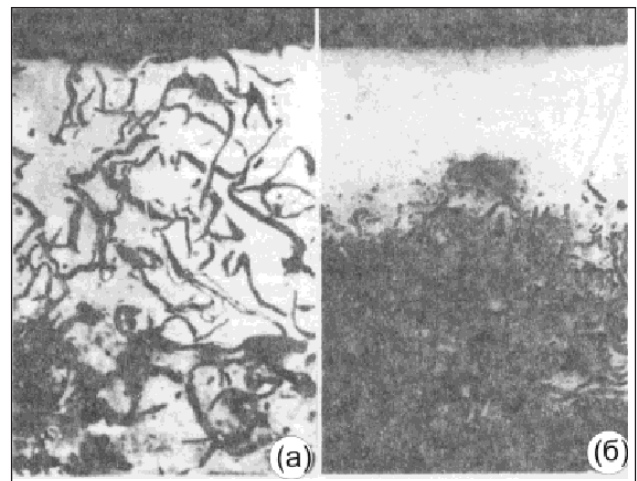


Рис. 2. Структура загартованих зон після лазерної обробки зразків із сірого перлітного чавуну випромінюванням CO₂-лазера: (а) – загартування без оплавлення (x50); (б) – загартування з оплавленням (x25)

Кожна зона, у свою чергу, може складатися з декількох шарів і мати за своїм перерізом відмінності в мікроструктурі, елементному складі, співвідношенні складників своїх фаз тощо. У сталях типовою є дендритна будова зони оплавлення, причому дендрити ростуть перпендикулярно межі поділу в напрямку відводу тепла в тіло зразка. Карбіди при цьому зазвичай розчиняються, й основним структурним складником є мартенсит.

Під час оплавлення чавунів графіт розчиняється в розплаві, і після кристалізації форму-

ється дрібнодисперсна структура білого чавуну. Ступінь розчинення графіту залежить від його виду (пластинчастий, кульовий) і тривалості термічного циклу. Виділення газів, адсорбованих графітом, часто призводить до утворення пір (як це видно на рис. 2б). Поширеними дефектами є також тріщини.

Зони загартування сталі у твердому стані неоднорідні за перетином. Як і впливає із загальних положень, у глибині поряд із мартенситом є елементи вихідної структури: ферит (для доевтектоїдної сталі) і цементит (для заевтектоїдної сталі), а ближче до поверхні після охолодження гомогенізованого аустеніту формується мартенсит і залишковий аустеніт. Перекристалізація супроводжується подрібненням зерна й гомогенізацією аустеніту, особливо якщо проводити її протягом достатнього часу без сильного перегріву, тобто з витримкою при температурі вище за T_a . Розчинення надлишкового цементиту при перегріві заевтектоїдних сталей призводить до підвищення частки залишкового аустеніту і зниження мікротвердості порівняно із зоною оптимального нагріву, що містить поряд із мартенситом нерозчинені карбіди.

При лазерному загартуванні без оплавлення фазові перетворення в мат-риці чавунів пов'язані з її структурою та зі ступенем насиченості її вуглецем. Найбільшою мірою матриця насичується вуглецем поблизу скупчень графіту, особливо якщо вони мають розвинену поверхню й достатньо довгий час нагрівання. Мікротвердість у зоні загартування, зважаючи на велику неоднорідність структури, відрізняється великим діапазоном значень (від 3000 до 9000 МПа), причому у феритних чавунах мікротвердість завжди менша, ніж у перлітних.

Ступінь загартування передусім характеризується твердістю матеріалу. Кожна зона обробленої лазерним випромінюванням смуги має свою мікротвердість, і, як правило, розподіл мікротвердості за глибиною матеріалу має вигляд, зображений на рис. 1б.

Глибина зміцненого шару також залежить від нанесених на зміцнювану поверхню поглинаючих покриттів. У разі їх правильного підбору для конкретної сталі значно підвищується ступінь поглинання поверхнею матеріалу лазерного випромінювання, що призводить до збільшення глибини зміцненого шару (рис. 3) [5]. Для випадку збільшення швидкості обробки ($v > 66$ мм/с) при заданих параметрах лазерного зміцнення оплавлення поверхні дослідного зразка не відбувається.

Під час лазерної обробки сплавів спостерігається велика нерівномірність розподілу температури, що призводить до значної структурної неоднорідності за товщиною та шириною зони лазерного впливу (далі – ЗЛВ). Це може викликати значну неоднорідність розподілу залишкових напружень за товщиною та шириною ЗЛВ і призвести до деформації виробів.

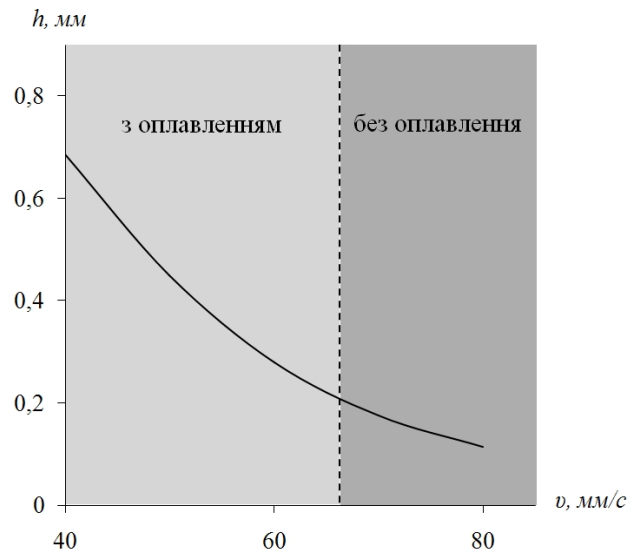


Рис. 3. Вплив швидкості лазерної обробки на глибину ЗЛВ сталі 45 ($P = 3,1$ кВт, поглинаюче покриття – сажа)

В основному аналізувалися залишкові напруження, що діють у поперечному напрямку – σ_y . Перевірка показала, що характер розподілу поздовжніх напружень σ_x аналогічний.

На рис. 4 представлені криві розподілу залишкових напружень σ_y в технічному залізі на різній відстані від центру зміцненої смуги залежно від потужності лазерного випромінювання [11]. Як випливає з отриманих результатів, на поверхні зразків, оброблених випромінюванням CO_2 -лазера безперервної дії, спостерігається неоднорідний розподіл залишкових макронапружень, причому є певна симетричність щодо центру смуги. За потужності випромінювання $P_0 = 0,9$ і $1,3$ кВт (обробка без оплавлення поверхні) в центрі смуги виникають незначні розтягувальні напруження $\sigma_y \sim 70$ Н/мм². На межі з неопромінених поверхнею ЗЛВ по обидві її боки розтягувальні напруження зростають до $170 \dots 270$ Н/мм², а в разі віддалення від центру смуги в неопромінену шліфовану поверхню напруження плавно знижуються до $\sigma_y = -50 \dots -70$ Н/мм². Перехід до лазерної обробки з оплавленням поверхні змінює вид розподілу залишкових напружень. На поверхні оплавленого металу в

центрі смуги напруження знижуються до нуля при $P_0 = 3$ кВт і $\sigma_y = -90$ Н/мм² при $P_0 = 2$ кВт, а на межі вони збільшуються до 240...290 Н/мм². Крім того, у разі підвищення потужності разом зі збільшенням ширини зміцненої смуги ділянка розтягувальних напружень віддаляється від центру смуги на більшу відстань.

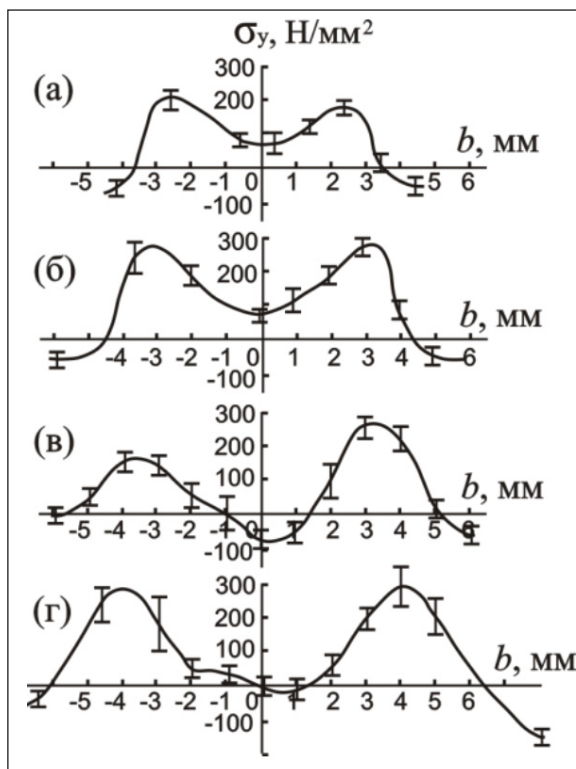


Рис. 4. Розподіл залишкових напружень σ_y на поверхні технічного заліза залежно від відстані від центру смуги під час обробки зі швидкістю $v = 2$ м/хв. і різною потужністю: (а) – 0,9 кВт; (б) – 1,3 кВт; (в) – 2 кВт; (г) – 3 кВт.

Під час лазерної обробки залізвуглецевих сплавів на стадії охолодження взаємодія стискувального об'єму металу в ЗЛВ з холодним неопроміненим об'ємом призводить до формування в ЗЛВ розтягувальних напружень, а взаємодія розтягувального об'єму мартенситу з вихідною структурою – стискувальних напружень.

Аналіз результатів дослідження показав, що в разі підвищення потужності випромінювання змінюється не тільки величина напружень у центрі смуги, а й характер їх розподілу в поперечному напрямку.

Величина і знак залишкових напружень на поверхні зміцнених лазером смуг залежать від співвідношення об'ємних змін, зумовлених тепловим впливом і структурними перетвореннями. Утворення в процесі охолодження досить насиченого вуглецем мартенситу призводить до

формування в центрі смуги сталей 45, 40Х та інших стискувальних залишкових напружень. Зменшення вмісту вуглецю в мартенситі призводить до зменшення об'ємного ефекту при охолодженні й частки стискувальних напружень на поверхні.

Використання сканування лазерного випромінювання поперек руху з частотою в декілька сотень герц дає змогу створити необхідний розподіл щільності потужності на оброблюваній поверхні, збільшити геометричні розміри зміцнених смуг, підвищити однорідність структури в них. Разом із тим після лазерного гартування широкими смугами на велику глибину через значні внутрішні залишкові напруження недостатньо масивні й жорсткі вироби істотно деформуються та виникає потреба вживання спеціальних заходів для ліквідації залишкових напружень.

Висновки. У роботі розглянуто особливості формування мікроструктури в зоні лазерного впливу для залізвуглецевих сплавів, показано розподіл мікротвердості за глибиною гартування відповідних зразків і наведено залежність глибини зони лазерного впливу від швидкості лазерної обробки. Для випадку збільшення швидкості обробки ($v > 66$ мм/с) при заданих параметрах лазерного зміцнення оплавлення поверхні дослідного зразка не відбувається.

Як впливає з отриманих результатів, на поверхні зразків, оброблених випромінюванням СО₂-лазера безперервної дії, спостерігається неоднорідний розподіл залишкових макронапружень, причому є певна симетричність щодо центру смуги.

Крім того, в разі підвищення потужності разом зі збільшенням ширини зміцненої смуги ділянка розтягувальних напружень віддаляється від центру смуги на більшу відстань.

Використання сканування лазерного випромінювання поперек руху з частотою в декілька сотень герц дає змогу створити необхідний розподіл щільності потужності на оброблюваній поверхні, збільшити геометричні розміри зміцнених смуг, підвищити однорідність структури в них.

Отже, залізвуглецеві сплави, що використовуються вітчизняними виробниками деталей сільськогосподарської техніки, можуть ефективно оброблятися лазерним випромінюванням, що, у свою чергу, може забезпечити значне підвищення експлуатаційних характеристик відповідних виробів.

Список літератури:

1. Черненко В.С., Кіндрачук М.В., Дудка О.І. Променеві методи обробки: навчальний посібник. Київ, 2008. 166 с.
2. Бобрицький В.М. Підвищення зносостійкості різальних елементів робочих органів ґрунтообробних машин: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.02.04. Київ, 2007. 20 с.
3. Пашкова Г.І. Підвищення працездатності чавунних колінчастих валів потужних транспортних дизелів комбінованими методами зміцнення: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.02.01 Харків, 2008. 24 с.
4. Завойко О.С. Дослідження лазерного зміцнення колінчатих валів та механіко-термічної обробки при руйнуванні на втому та знос. *Фізика і хімія твердого тіла*. 2014. Т. 15. № 4. С. 846–855.
5. Ковальчук Ю.О., Невзоров А.В., Кравченко В.В. Застосування лазерної обробки сталі 45 для підвищення зносостійкості деталей сільськогосподарських машин. *Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти*. 2015. Вип. 3. С. 171–176.
6. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. Технологические процессы лазерной обработки: учебное пособие для вузов / под ред. А.Г. Григорьянца. 2-е изд., стереотип. Москва, 2008. 664 с.
7. Огин П.А. Структура и свойства зон перекрытия при лазерной закалке сталей и чугунов. *Вектор науки Тольяттинского государственного университета*. 2015. № 2 (32-2). С. 130–135.
8. Бирюков В.П. Повышение износостойкости деталей сельскохозяйственной техники и почвообрабатывающих орудий лазерным упрочнением и наплавкой. *Лазерные технологии в сельском хозяйстве: тематический сборник*. Москва, 2008. С. 256–264.
9. Буханова И.Ф., Дивинский В.В., Журавель В.М. Применение лазерного излучения для упрочнения и восстановления деталей сельскохозяйственного машиностроения. *Лазерные технологии в сельском хозяйстве: тематический сборник*. Москва, 2008. С. 264–270.
10. Огин П.А. Повышение эксплуатационных характеристик деталей из чугунов с применением закалки оптоволоконным лазером. *Вестник Нижегородского государственного инженерно-экономического института. Серия «Технические науки»*. 2015. № 12 (55). С. 55–58.
11. Лазерные технологии обработки материалов: современные проблемы фундаментальных исследований и прикладных разработок / под ред. В.Я. Панченко. Москва, 2009. 664 с.

АНАЛИЗ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ ИЗ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ

В статье рассмотрены особенности формирования микроструктуры в зоне лазерного воздействия для железоуглеродистых сплавов в результате применения метода поверхностной лазерной обработки. Показано распределение микротвердости по глубине закалывания соответствующих образцов при обработке лазером непрерывного действия. Приведена зависимость глубины зоны лазерного воздействия от скорости лазерной обработки. Определена скорость перемещения лазерного луча по поверхности образца, при которой появляется зона плавления. Показано распределение остаточных напряжений на поверхности железоуглеродистых сплавов, возникающих в результате лазерной обработки.

Ключевые слова: метод поверхностной лазерной обработки, зона лазерного воздействия, упрочнение, закалывание, остаточные напряжения.

ANALYSIS OF RESIDUAL STRESSES AS A RESULT OF LASER TREATMENT OF AGRICULTURAL TECHNICS DETAILS FROM IRON-CARBON ALLOYS

Features of formation of a microstructure in a zone of laser influence for iron-carbon alloys as a result of application of a method of superficial laser processing are considered. The microhardness distribution over the depth of hardening of the corresponding samples treated at continuous laser is shown. The dependence of the depth of the zone of laser influence on the speed of laser processing is given. The moving speed of the laser beam on the sample surface, at which the melting zone appears, is determined. The distribution of residual stresses on the surface of iron-carbon alloys resulting from laser processing is shown.

Key words: method of surface laser treatment, laser treatment zone, hardening, tempering, residual stresses.

АВІАЦІЙНА ТА РАКЕТНО-КОСМІЧНА ТЕХНІКА

УДК 534.83:629.735.33

Усенко В.Ю.

ДП «Антонов»

Мітрахович М.М.

Національний авіаційний університет

Дорошенко К.В.

Національний авіаційний університет

ВИБІР МОДЕЛІ ТУРБУЛЕНТНОЇ В'ЯЗКОСТІ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ШУМУ ГВИНТОВЕНТИЛЯТОРА

Представлені результати чисельного моделювання шуму гвинтовентилятора. В роботі наведено обґрунтування вибору моделі турбулентної в'язкості для моделювання шуму співвісного гвинтовентилятора двигуна типу Д-27. Показано, що для досліджень акустичних характеристик гвинтовентилятора двигуна типу Д-27 доцільно використовувати моделі турбулентної в'язкості SST і SST Gamma Theta Transitional Model. Результати чисельного моделювання показали, що вихрова завіса, викликана квадрупольним джерелом шуму, за першим рядом гвинта є джерелом вихрового шуму. Аеродинамічний слід за першим рядом гвинта викликає колову і радіальну нерівномірність на вході до другого ряду гвинта.

Ключові слова: гвинтовентилятор, повітряний гвинт, акустична емісія, чисельне моделювання, модель турбулентної в'язкості.

Постановка проблеми. Силова установка з гвинтовентиляторним двигуном має співвісний повітряний гвинт із шаблеподібними лопатями. Такі силові установки мають високу економічність, однак рівень шуму таких двигунів є досить високим.

Нині літак Ан-70, оснащений маршовою силовою установкою з гвинтовентиляторними двигунами та співвісними повітряними гвинтами, за результатами випробувань [1, с. 9–11; с. 24–26; с. 39–41; с. 76–78], не відповідає вимогам ІКАО [2, с. 91]. Крім того, однією з цілей АСARE є зниження акустичної емісії від літаків до 2050 р. на 65% порівняно з рівнем шуму літаків 2000 р. [3].

Одним з основних джерел шуму літака Ан-70 на зльоті та під час заходу на посадку є акустичне випромінювання повітряного гвинта силової установки.

Шум повітряного гвинта має складну структуру. На фоні періодичного силового впливу лопатей гвинта на навколишнє середовище (шуму обертання) з лопатей гвинта за всією довжиною відбувається зрив потоку, внаслідок чого за лопатями утворюється вихровий аеродинамічний слід, що є джерелом вихрового шуму. Повітряний гвинт силової установки з гвинтовентиляторним

двигуном має два ряди гвинта, що обертаються в різні боки. Під час роботи співвісного гвинта лопаті заднього ряду знаходяться у вихровому полі переднього ряду гвинта, через що в момент перекриття лопатей переднього і заднього рядів гвинта відбувається додаткове випромінювання звуку. Шум у цьому разі є нестационарним і періодичним [4, с. 147].

Таким чином, дослідження акустичних характеристик і зниження акустичної емісії співвісного повітряного гвинта є актуальною проблемою, визначеною практикою експлуатації літаків.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження впливу різних чинників дозволяє більш детально вивчити генерацію шуму в повітряних гвинтах. У роботі [5] досліджується механізм генерації акустичного шуму під час обертання восьмилопатевого повітряного гвинта з урахуванням вхідної нерівномірності потоку.

У науковій праці [6–9] представлені результати експериментальних досліджень акустичного випромінювання силових установок із повітряними гвинтами.

У дослідженні [6] узагальнено експериментальні дані щодо спрямованості акустичного

випромінювання поршневих силових установок, що застосовуються на літальних апаратах. Отримано чинники спрямованості сумарного акустичного випромінювання силової установки й окремих його складників, які можуть використовуватися для розрахунку шуму, створюваного на місцевості легкими літаками і малорозмірними безпілотними літальними апаратами.

У роботі [7] представлені результати розрахунково-експериментального дослідження впливу кількості лопатей і діаметра на шум повітряного гвинта, що працює за чисел Рейнольдса понад 10^6 . Показано, що збільшення кількості лопатей за умови збереження геометричної й аеродинамічної подібності гвинтів, а також сталість числа Маха колової швидкості призводять до істотного зниження шуму від аеродинамічного навантаження. Шум витіснення і широкосмуговий шум збільшуються незначно.

У роботі [8] подано основні результати експериментального дослідження акустичних характеристик силової установки літака Ан-2 за статичних умов. Отримано енергетичні, просторові та спектральні характеристики акустичного випромінювання силової установки. Авторами встановлено, що основна частка енергії акустичного випромінювання силової установки зосереджена в межах низьких частот (16–100 Гц). У цьому діапазоні частот максимальна спектральна густина відповідає випромінюванню на частотах, кратних частоті проходження лопатей гвинта, а також частотам, кратним частоті проходження спалахів у циліндрах двигуна. Джерелами низькочастотної (до 500 Гц) складової частини широкосмугового випромінювання є гвинт і двигун. Домінуючим джерелом широкосмугової високочастотної складової частини є вихрова завіса за гвинтом. Частка високо-частотного широкосмугового акустичного випромінювання (1000–5000 Гц) в загальній акустичній потужності силової установки не перевищує 1%.

У роботі [9] запропоновані результати експериментального дослідження акустичних характеристик легкого гвинтового літака типу Як-18Т за статичних умов. Наведено просторово-часові, спектральні й енергетичні характеристики акустичного випромінювання силової установки. Результати проведених досліджень дозволили виявити новий механізм генерації дозвучуваним повітряним гвинтом акустичного випромінювання імпульсного типу. Авторами встановлено, що акустична потужність силової установки визначається потужністю сумарного акустичного випромінювання повітряного гвинта і двигуна.

Важливим завданням у вирішенні проблеми зниження шуму повітряних гвинтів є вибір методів прогнозування акустичних характеристик. У роботах [10–11] представлені напівемпіричні моделі для розрахунку акустичного випромінювання повітряного гвинта.

У дослідженні [10] запропонована напівемпірична модель для оцінки рівнів шуму, що створюються авіаційними поршневыми силовими установками в дальньому акустичному полі, яка враховує основні джерела шуму. Результати розрахунків, отриманих за допомогою використання напівемпіричної моделі, добре узгоджуються з результатами експериментальних досліджень.

У роботі [11] запропонований напівемпіричний метод оцінки шуму повітряного гвинта на основі аналогії Лайтхілла. Проведене порівняння розрахункових і експериментальних даних за потужністю акустичного випромінювання й октавними спектрами показало гарне узгодження.

Найбільш повну картину генерації шуму в джерелі та в дальньому полі дозволяє отримати використання чисельного моделювання. У роботах [12–13] представлені результати дослідження акустичних характеристик за допомогою чисельного моделювання.

Праця [12] представляє результати чисельного дослідження обтікання повітряного гвинта. Отримано аеродинамічні й акустичні характеристики. Крім того, наведено ряд рекомендацій, що дозволяють поліпшити його акустичні характеристики.

У дослідженні [13] запропоновані перші результати перевірки чисельного моделювання з використанням експериментальних даних випробувань для гвинтовентилятора двигуна типу «Open Rotor», що генеруються в ході випробувань аеродинамічної труби під керівництвом Airbus.

Постановка завдання. Для проведення досліджень щодо заходів зниження акустичної емісії необхідно вивчити механізм генерації шуму співвісними повітряними гвинтами авіаційної силової установки з гвинтовентиляторним двигуном.

З цією метою може використовуватися фізичний експеримент або, на перших етапах дослідження, методи чисельного моделювання. Обчислювальний експеримент дає можливість досліджувати генерацію шуму за різних умов за короткий проміжок часу. Однак кожен обчислювальний експеримент вимагає попереднього налаштування, вибору моделі турбулентності для замикання рівнянь Нав'є – Стокса.

У роботі ставиться завдання обґрунтування вибору моделі турбулентної в'язкості для моде-

лювання шуму співвісного повітряного гвинта авіаційної силової установки з гвинтовентиляторним двигуном.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Результати моделювання шуму співвісного повітряного гвинта. Чисельний експеримент передбачає кілька кроків:

- створення геометричної моделі (твердотільної моделі);
 - створення розрахункової сітки;
 - визначення початкових і граничних умов;
 - чисельне вирішення задачі;
 - візуалізацію результатів розрахунку;
- аналіз отриманих результатів розрахунку.

Для проведення дослідження акустичних характеристик співвісного повітряного гвинта використовувалася блокова розрахункова сітка змішаної топології, що складається з ≈ 20 млн комірок. Для гвинта використовувалася дрібна адаптивна неструктурована сітка. Розрахунок течії виконувався за допомогою осереднених за Рейнольдсом рівнянь Нав'є – Стокса.

З метою врахування явищ взаємодії лопатей гвинта умова періодичності не використовувалася.

Достовірність отриманих результатів забезпечувалася використанням апробованих методів розрахунку й оцінювалася узгодженням результатів розрахунку з даними експериментальних досліджень [1, с. 9–11; с. 24–26; с. 3941; с. 76–78].

Об'єктом дослідження виступає співвісний гвинт гвинтовентиляторного двигуна типу Д-27, що складається з двох рядів гвинта, діаметром 4 500 мм, які обертаються в різні боки. Перший ряд гвинта має 8 лопатей, другий – 6, відстань між гвинтами – 950 мм. На рис. 1 представлена твердотільна модель співвісного гвинта, що досліджується.

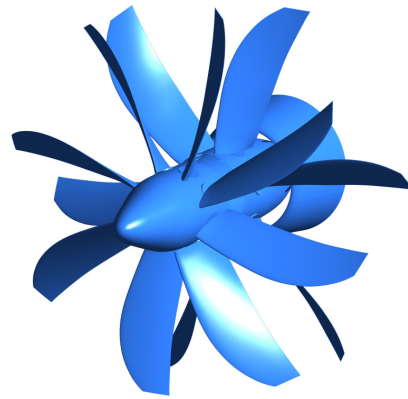


Рис. 1. Твердотільна модель співвісного гвинта

У цій роботі представлені результати серії розрахунків із трьома моделями турбулентної в'язкості: $k-\omega$, SST і моделлю SST Gamma Theta Transitional Model. Модель турбулентної в'язкості SST Gamma Theta Transitional Model має додаткові рівняння, що більш коректно моделюють перехід від ядра потоку до прикордонного шару.

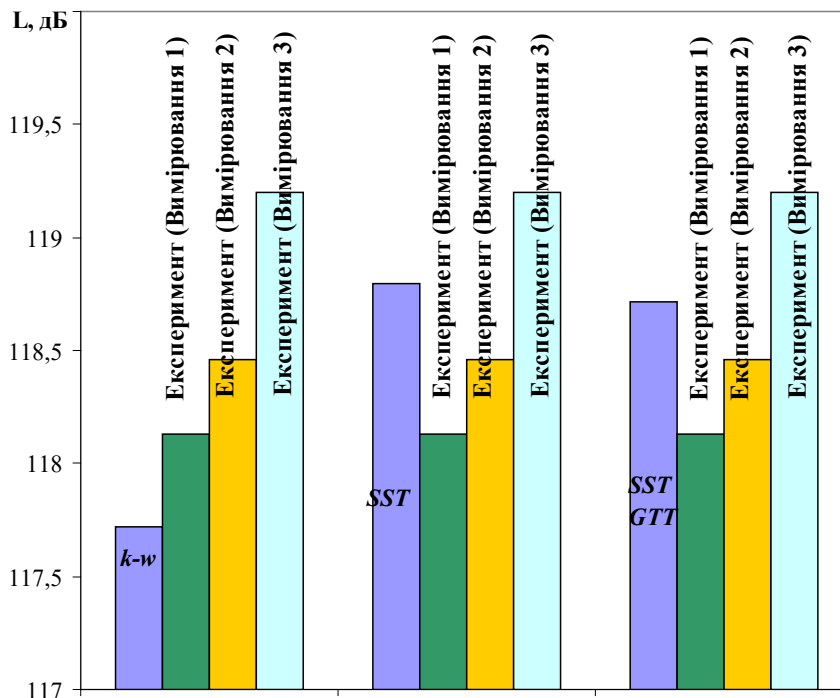


Рис. 2. Порівняння результатів розрахунку з різними моделями турбулентної в'язкості й експериментальними даними

Для моделювання течії обрано розрахункову схему другого порядку з локальним використанням розрахункової схеми першого порядку. Розрахунок проводився в стендових умовах за частоти обертання обох рядів гвинта 850 об/хв.

Рівень акустичного тиску розраховувався за формулою [4, с. 11]:

$$L=20 \cdot \lg(P/P_0),$$

де P – звуковий тиск, $P_0=2 \cdot 10^{-5}$ Па – величина порогового звукового тиску.

У роботі проводяться розрахунки рівня звукового тиску для кута спрямованості акустичного випромінювання 130° . Згідно з експериментальними даними за цього кута спостерігається найбільший рівень звукового тиску [14, с. 377].

На рис. 2 представлена гістограма порівняння результатів розрахунку з різними моделями турбулентної в'язкості й експериментальними даними.

На рис. 2 представлені результати експериментальних даних, отриманих для трьох вимірів експериментальних випробувань, і результатів чисельного моделювання за замикання системи рівнянь Нав'є – Стокса різними моделями турбулентної в'язкості ($k-\omega$, SST і SST Gamma Theta Transitional Model (на рис. 2 – SST GTT)).

Різниця в значеннях рівня звукового тиску натурних випробувань і розрахунку така:

для варіанта розрахунку з моделлю турбулентної в'язкості $k-\omega$ відмінність складає 0,41 дБ для першого вимірювання, 0,74 дБ – для другого, 1,48 дБ – для третього вимірювання натурних випробувань;

для варіанта розрахунку з моделлю турбулентної в'язкості SST – 0,67 дБ для першого вимірювання, 0,34 дБ – для другого, 0,4 дБ – для третього вимірювання натурних випробувань;

для варіанта розрахунку з моделлю турбулентної в'язкості SST Gamma Theta Transitional Model – 0,58 дБ для першого вимірювання, 0,25 дБ для – другого, 0,49 дБ – для третього вимірювання натурних випробувань.

Таким чином, можливо стверджувати, що моделі турбулентної в'язкості SST і SST Gamma Theta Transitional Model можуть бути використані для подальших досліджень.

Для вирішення проблеми зниження шуму необхідно вивчити механізм генерування шуму в досліджуваному об'єкті. Відповідно до рівняння Фокс Вільямса – Хоукінгса джерелами звуку виступають монополь, диполь і квадруполь. Монополь характеризується шумом витіснення, диполь – аеродинамічними навантаженнями лопатей гвинта. Монопольне та дипольне джерело генерують дискретну складову частину

акустичного випромінювання гвинта. Квадруполь викликаний вихровим обтіканням гвинта і є широкосмуговою складовою частиною акустичного випромінювання співвісного гвинта.

Квадрупольне джерело шуму робить значний внесок у загальний рівень шуму гвинта. На рис. 3 представлена візуалізація квадрупольного джерела шуму першого ряду гвинта для варіанту розрахунку з моделлю турбулентної в'язкості SST Gamma Theta Transitional Model.

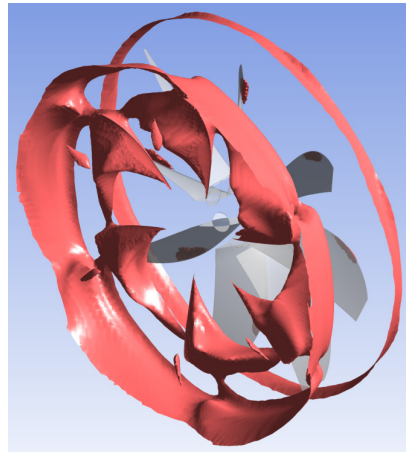


Рис. 3. Квадрупольне джерело акустичного випромінювання першого ряду гвинта

Візуалізація квадрупольного джерела шуму показує, що за першим рядом гвинта утворюється масштабна вихрова завіса, яка, по-перше, є джерелом вихрового шуму і, по-друге, викликає колову і радіальну нерівномірність на вході в другий ряд гвинта (рис. 4).

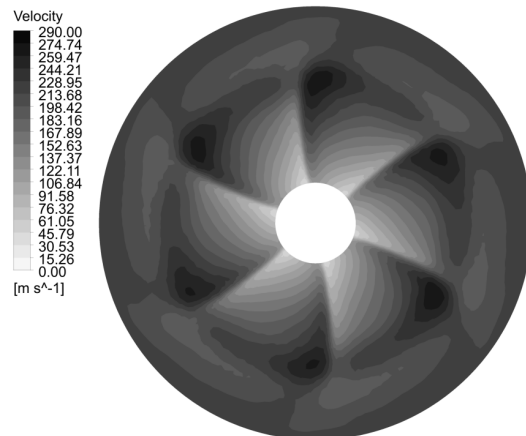


Рис. 4. Поле швидкостей на вході в другий ряд гвинта

Нааявність нерівномірності на вході перед другим рядом гвинта створює додаткове джерело шуму і призводить до зменшення коефіцієнта корисної дії гвинта.

Висновки.

У роботі обґрунтовано вибір моделі турбулентної в'язкості для моделювання шуму співвісним повітряним гвинтом авіаційної силової установки з гвинтовентиляторним двигуном.

Для подальших досліджень доцільно використовувати моделі турбулентної в'язкості SST і SST Gamma Theta Transitional Model. Однак меншу похибку розрахунків має модель турбулентної в'язкості SST Gamma Theta Transitional Model. Різниця в значеннях рівня звукового

тиску натурних випробувань і розрахунку складає 0,25...0,67 дБ.

Результати чисельного моделювання показали, що вихрова завеса, викликана квадрупольним джерелом шуму, за першим рядом гвинта є джерелом вихрового шуму і викликає колову і радіальну нерівномірність на вході в другий ряд гвинта.

Для зменшення акустичної емісії співвісних повітряних гвинтів доцільно впливати на квадрупольне джерело шуму, що є завданням подальших досліджень.

Список літератури:

1. Приложение к техническому отчету № 70.00.252.837. Д15-2002. Самолет Ан-70. Наземные испытания по исследованию акустических характеристик винтовентилятора СВ-27 в самолётной компоновке Ан-70 при изменении зазора между плоскостями переднего и заднего винтов. Киев: АНТК им. О.К. Антонова, 2002. 96 с.
2. Приложение 16. Охрана окружающей среды. Т. I. Авиационный шум. Монреаль: Международная организация гражданской авиации, 2017. 264 с.
3. Protecting the environment and the energy supply. URL: <https://www.acare4europe.org/sria/flightpath-2050-goals/protecting-environment-and-energy-supply-0>.
4. Мунин А.Г., Квитка В.Е. Авиационная акустика. М.: Машиностроение, 1973. 448 с.
5. Yang Y., Zhou T., Sciacchitano A., Veldhuis L., Eitelberg G. Propeller and inflow vortex interaction: vortex response and impact on the propeller performance. *CEAS Aeronautical Journal*. 2016. V. 7, № 3. P. 419–428. doi: 10.1007/s13272-016-0198-z.
6. Мошков П.А. О направленности акустического излучения винтомоторных силовых установок. *Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета*. 2017. Т. 21, № 1 (75). С. 118–127.
7. Мошков П.А., Самохин В.Ф. Оценка влияния числа лопастей и диаметра на шум воздушного винта. *Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение*. 2016. Т. 15, № 3. С. 25–34. doi: 10.18287/2541-7533-2016-15-3-25-34. URL: <http://journals.ssau.ru/index.php/vestnik/article/viewFile/3106/3018>.
8. Самохин В.Ф., Мошков П.А. Экспериментальное исследование акустических характеристик силовой установки самолета «Ан-2» в статических условиях. *Труды МАИ*. 2015. № 82. С. 1–25. URL: https://mai.ru/upload/iblock/3cb/samokhin_moshkov_rus.pdf.
9. Самохин В.Ф., Мошков П.А. Акустические характеристики легкого винтового самолета с двигателем внутреннего сгорания. *Труды МАИ*. 2012. № 57. С. 1–12. URL: <http://www.trudymai.ru/upload/iblock/8dd/akusticheskie-kharakteristiki-legkogo-vintovogo-samoleta-s-dvigatelem-vnutrennego-sgoraniya.pdf>.
10. Moshkov P.A., Samokhin V.F. Integral Model of Noise of an Engine-Propeller Power Plant. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2018. V. 91, № 2. P. 332–338. doi: 10.1007/s10891-018-1753-8.
11. Samokhin V.F. Semiempirical method for estimating the noise of a propeller. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2012. V. 85, № 5. P. 1157–1166. doi: 10.1007/s10891-012-0758-y.
12. Yang L., Huang J., Yi M., Zhang Ch., Xiao Q. A numerical study of the effects of design parameters on the acoustics noise of a high efficiency propeller. *Acoustical Physics*. 2017. V. 63, № 6. P. 699–710. doi: 10.1134/S1063771017060033.
13. Stürmer A., Akkermans R.A.D. Multidisciplinary analysis of CROR propulsion systems: DLR activities in the JTI SFWA project. *CEAS Aeronautical Journal*. 2014. V. 5, № 3. P. 265–277. doi: 10.1007/s13272-014-0105-4.
14. Александров В.Л. Воздушные винты. М.: Гос. издательство оборонной промышленности, 1951. 447 с.

ВЫБОР МОДЕЛИ ТУРБУЛЕНТНОЙ ВЯЗКОСТИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ШУМА ВИНТОВЕНТИЛЯТОРА

Представлены результаты численного моделирования шума винтовентилятора. В работе приведено обоснование выбора модели турбулентной вязкости для моделирования шума соосного винтовентилятора двигателя типа Д-27. Показано, что для исследований акустических характеристик винтовентилятора двигателя типа Д-27 целесообразно использовать модели турбулентной вязкости SST и SST Gamma Theta Transitional Model. Результаты численного моделирования показали, что вихревая пелена, вызванная квадрупольным источником шума, за первым рядом винта является источником вихревого шума. Аэродинамический след за первым рядом винта вызывает окружную и радиальную неравномерность на входе во второй ряд винта.

Ключевые слова: винтовентилятор, воздушный винт, акустическая эмиссия, численное моделирование, модель турбулентной вязкости.

**THE SELECTION OF TURBULENT VISCOSITY MODEL
FOR MODELING PROPELLER FAN NOISE**

The study presents the results of computational simulation of noise in the propfan. The study provides rationale for selection of a model of turbulent viscosity for simulating noise from the propfan of D-27 engine. It is shown that for studying acoustic properties of D-27 engine propfan it is advisable to use the SST and SST Gamma Theta Transitional Model turbulent viscosity models. The results of computational simulation show that the vortex sheet caused by a quadrupolar noise source behind the first propeller is a source of vortex noise. The aerodynamic wake behind the first propeller invokes circumferential and radial distortion at the inlet to the second propeller.

Key words: *propfan, propeller, acoustic emission, computational simulation, turbulent viscosity model.*

КОРАБЛЕБУДУВАННЯ

УДК 629.5.022.25

Кондратьєва Л.Ю.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕДУКЦІЙНИХ КОЕФІЦІЄНТІВ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ БОРТОВОЇ ХИТАВИЦІ СУДНА ТИПУ СМПВ

У статті отримано практичні наближені залежності для визначення редуційних коефіцієнтів СМПВ. Використовувалося розділення хвильового збурення на головну та дифракційну частини, а також співвідношення Хаскінда-Н'юмана для плоскої задачі.

Ключові слова: судно з малою площею ватерлінії, бортова хитавиця, співвідношення Хаскінда-Н'юмана для плоскої задачі, редуційний коефіцієнт.

Постановка проблеми. На початкових стадіях проектування головних елементів для суден з малою площею ватерлінії (далі – СМПВ) важливо брати до уваги вплив співвідношення головних розмірів судна на динамічні характеристики в умовах експлуатації, а саме амплітудні значення хитавиці. Структура таких суден включає стійки, платформу та підводні корпуси (торпеди). Така нетипова конструкція суттєво збільшує кількість параметрів, що необхідно визначити на першому етапі проектування. Саме тому розроблення зручної методики розрахунку редуційних коефіцієнтів для розрахунку бортової хитавиці являє собою актуальне завдання. Особливе значення ці величини мають у випадку розташування судна лагом до хвиль, без ходу, такий випадок відповідає аварійному стану.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У трудах [7; 15] розроблено схеми розрахунку бортової хитавиці СМПВ, але ці схеми не придатні для першої стадії проектування. У праці [15] викладено дані експерименту. У роботі [2] наведена методика розрахунку бортової хитавиці для катамаранів. У працях [2; 12] відзначено швидке зростання демпфування бортової хитавиці за певних погодних умов.

Постановка завдання. Мета роботи – вивести наближену методику розрахунку редуційних коефіцієнтів для подальшого дослідження бортової хитавиці суден типу СМПВ.

Виклад основного матеріалу дослідження. Варто поділити судна типу СМПВ на два типи: СМПВ типу А, з двома стійками, СМПВ типу В, з чотирма стійками.

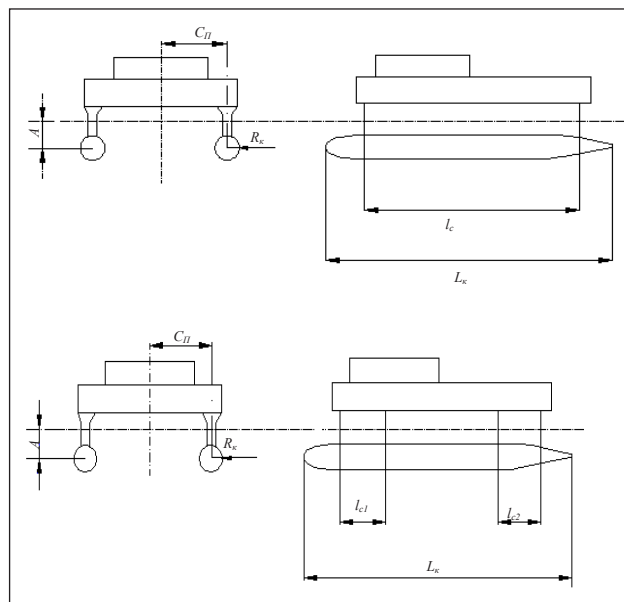


Рис. 1. С МПВ типу А (зверху) та СМПВ типу В (знизу)

Уважається, що судно не має швидкості й розташовано лагом до хвилі.

Торпеди вважаються круговими циліндрами, а стійки – вертикальними еліптичними циліндрами (рис. 1).

$$\text{Радіус корпусів } R_k = \sqrt{\frac{V_k}{\pi \cdot l_k}},$$

де $l_k V_k$ – довжина та об'єм корпусу. Умови параметричної бортової хитавиці відображено у формулі (1), згідно з роботою [6], для суден типу А;

$$\omega_1 = (2,0-2,2)n_0, \quad (1)$$

де ω_1 – частота першого тону коливань води в об'ємі між корпусами [7],

n_0 – частота власних коливань згідно з працями [6; 14].

Загальновідомі залежності для розрахунку бортової хитавиці наведені в (2) згідно з роботою [9]:

$$D_{\theta 1} = \int_0^{\infty} |\Phi_{\theta}(\omega)|^2 S_r(\omega) d\omega; \quad |\Phi_{\theta}(\omega)| = k \frac{\theta_0(\omega)}{\alpha_0};$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\theta_0(\omega)}{\alpha_0} &= \frac{\kappa_{\theta\Sigma}(\omega) n_0^2}{\sqrt{(n_0^2 - \omega^2)^2 + 4\mu_{\theta\Sigma}(\omega)^2 n_0^2 \omega^2}}; \end{aligned} \right\} (2)$$

де $\omega, k = \frac{\omega^2}{g}$ частота та хвильове число елементарної гармоніки нерегулярних хвиль; $g=9,81$ м/сек – прискорення вільного падіння;

$\theta_0(\omega), |\Phi_{\theta}(\omega)|$ – АЧХ й передаточна функція; $S_r(\omega)^{\alpha_0}$ – спектральна щільність хвилеутворення; $\kappa_{\theta\Sigma} = \kappa_{\Sigma\theta W} \kappa_{\theta V}$ – повний корекційний коефіцієнт до збурюючого моменту; $\kappa_{\Sigma\theta W}(\omega)$ – складник коефіцієнтів, що визначається без урахування в'язкого демпфування на складник дифракційної частини збурюючого моменту [12]; $\kappa_{\theta V}$ – коефіцієнт, що враховує вплив в'язкого складника демпфування; $\mu_{\theta\Sigma} = \mu_{\theta W} + \hat{\mu}_{\theta V}$ – коефіцієнт лінійного демпфування при бортовій хитавиці [10]; $\mu_{\theta W}(\omega)$ – хвильовий складник коефіцієнта демпфування; $\hat{\mu}_{\theta V}$ – в'язкий складник коефіцієнта лінійного демпфування [11]. Використасмо формулу (3) для розрахунку значень коефіцієнтів [9]:

$$k_{\theta} = \frac{n_0^2}{g}; \quad \kappa_{\theta\Sigma}^* = \kappa_{\theta\Sigma W}^* \kappa_{\theta V}^*; \quad \mu_{\theta\Sigma}^* = \mu_{\theta W}^* + \hat{\mu}_{\theta V}^*. \quad (3)$$

Індекс «*» має такий самий сенс, як і в (2), але при резонансній частоті.

Визначення величин $\kappa_{\theta V}$ та $\hat{\mu}_{\theta V}$ висвітлено в роботі [12], а визначення пов'язаних із хвильовими ефектами величин $\kappa_{\Sigma\theta W}$ та $\mu_{\theta W}$ ми й розглянемо, використовуючи результати [1; 3; 5–8; 10].

Для визначення $N_{\theta W}$ та $\mu_{\theta W}$ коефіцієнтів хвильового демпфування ми застосуємо співвідношення Хаскінда-Ньюмана [1; 9]. Далі розрахункові величини для СМПВ типу А визначимо як величини з одним штрихом, наприклад, $\kappa_{\theta\Sigma} = \kappa'_{\theta\Sigma}$, а для СМПВ типу В – з двома штрихами й визначимо повний корекційний коефіцієнт $\kappa_{\theta\Sigma W}$, згідно з роботами [5–8], співвідношенням:

$$\kappa'_{\theta\Sigma W} = \sqrt{\left(\kappa_{\theta GL} - \frac{\omega^2}{n_0^2} \frac{q_{\theta}}{1 + q_{\theta}} \kappa_{\theta IN} \right)^2 + 4\mu_{\theta W}^2 \kappa_{\theta D}^2} \approx$$

$$\approx \kappa_{\theta GL} - \frac{\omega^2}{n_0^2} \frac{q_{\theta}}{1 + q_{\theta}} \kappa_{\theta IN}; \quad (4)$$

де величини $\kappa_{\theta GL}$ та $\kappa_{\theta IN}$ дорівнюють:

$$\left. \begin{aligned} \kappa_{\theta GL} &= \frac{r_{\Pi}}{h} \cdot \frac{\sin kC_{\Pi}}{kC_{\Pi}} \bar{\kappa}_{zGL} + \left(1 - \frac{r_{\Pi}}{h} \right) \bar{\kappa}_{\theta GL} \cos kC_{\Pi}; \\ \kappa_{\theta IN} &= \frac{r_{\Pi}}{r} \frac{\sin kC_{\Pi}}{kC_{\Pi}} \bar{\kappa}_{zIN} + \frac{r_c}{r} \bar{\kappa}_{\theta IN} \cos kC_{\Pi}; \end{aligned} \right\} (5)$$

У формулах (4) й (5) редуційні коефіцієнти $\kappa_{\theta D}, \bar{\kappa}_{zGL}$ та $\bar{\kappa}_{\theta GL}$; визначаються згідно з працею [5]:

$$\left. \begin{aligned} \kappa_{\theta D} &= \frac{r_{\Pi}}{r} \frac{\sin kC_{\Pi}}{kC_{\Pi}} \bar{\kappa}_{zD} + \frac{r_c}{r} \bar{\kappa}_{\theta D} \cos kC_{\Pi}; \\ \bar{\kappa}_{zGL} &= \exp(-kA) \frac{2 \sin \frac{kb_c}{2}}{kb_c} - \frac{2R_K}{b_c} \exp(-kA) \int_{\theta_z}^{\pi-\theta_z} \frac{\cos(kR_K \sin \theta_z) \cos \theta_z d\theta_z}{\exp(-kR_K \cos \theta_z)}; \\ \bar{\kappa}_{\theta GL} &= 1 - kA \exp(-kA) - \frac{1}{16R_K^4} \int_0^{R_K} \phi_R^3(z) \exp(-k(A+z)) dz; \\ \phi_R(z) &= \sqrt{R_K^2 - (R_K - z)^2}; \end{aligned} \right\} (6)$$

Інші коефіцієнти можна наближено прийняти: $\bar{\kappa}_{zIN} \approx \bar{\kappa}_{zD} \approx \bar{\kappa}_{zGL}$; $\bar{\kappa}_{\theta IN} \approx \bar{\kappa}_{\theta D} \approx \bar{\kappa}_{\theta GL}$; без суттєвих утрат відповідно до роботи [5].

Необхідні для розрахунку характеристики остійності розраховуються у формулах (7):

$$\left. \begin{aligned} r_{\Pi} &= \frac{\alpha_c l_c b_c C_{\Pi}^2}{V_1}; \quad r_c = \frac{\alpha_c^2 l_c b_c^3}{V_1}; \quad r = r_{\Pi} + r_c; \quad h = r + z_c - z_g; \\ z_c &= \frac{(V_1 - V_K) \frac{A}{2} + V_K A}{V_1}; \quad V_1 = \frac{V}{2}; \quad \sin \theta_z = \frac{bc}{2R_K} \end{aligned} \right\} (7)$$

де $\kappa_{\theta D}$ – редуційний коефіцієнт до головної частини збурюючого моменту [8; 10]; $\kappa_{\theta W}, \kappa_{\theta D}$ – редуційні коефіцієнти до інерційної й демпфуючого складника дифракційної частини збурюючого моменту [10]; $\bar{\kappa}_{zGL}$ – редуційний коефіцієнт до головної частини збурюючої сили при вертикальній хитавиці корпусу СМПВ типу А [5; 6]; $\bar{\kappa}_{\theta IN}, \bar{\kappa}_{\theta D}$ – редуційні коефіцієнти до інерційного демпфуючого складника частини збурюючої сили при вертикальній хитавиці СМПВ типу А; $\bar{\kappa}_{zIN}, \bar{\kappa}_{zD}$ – редуційні коефіцієнти до інерційного й демпфуючого складників дифракційної частини збурюючого моменту при бортовій хитавиці; l_c, b_c – довжина та найбільша ширина стійки СМПВ типу А; α_c – коефіцієнт повноти КВЛ; r – початковий поперечний метacentричний радіус; r_{Π}, r_c – переносний і власний складники початкового метacentричного радіуса [10]; z_c, z_g – апліката центра величини й центру тяжіння СМПВ; V – об'ємна водотоннажність СМПВ; h – початкова поперечна метacentрична висота; A – заглиблення осі корпусів [10]; C_{Π} – відстань між ДП зануреного корпусу й ДП. Можна формулу (4) для всього частотного діапазону привести до вигляду:

$$\kappa'_{\theta\Sigma W} \approx \bar{\kappa}'_{z\Sigma} \frac{\sin kC_{\Pi}}{kC_{\Pi}};$$

$$\bar{\kappa}'_{z\Sigma} \approx \bar{\kappa}_{zGL} - \bar{\kappa}_{zIN} \frac{\omega^2}{n_z^2} \cdot \frac{q_z}{1 + q_z}; \quad q_z = \frac{\lambda_{z1}}{M_1}, \quad (8)$$

де $\bar{\kappa}'_{z\Sigma}$ – повний коригуючий коефіцієнт для корпусу СМПВ типу А при вертикальній хитавиці; n_z – частота власних вертикальних коливань; M_1, λ_{z1} – маса й долучена маса одного корпусу СМПВ типу А при вертикальній хитавиці.

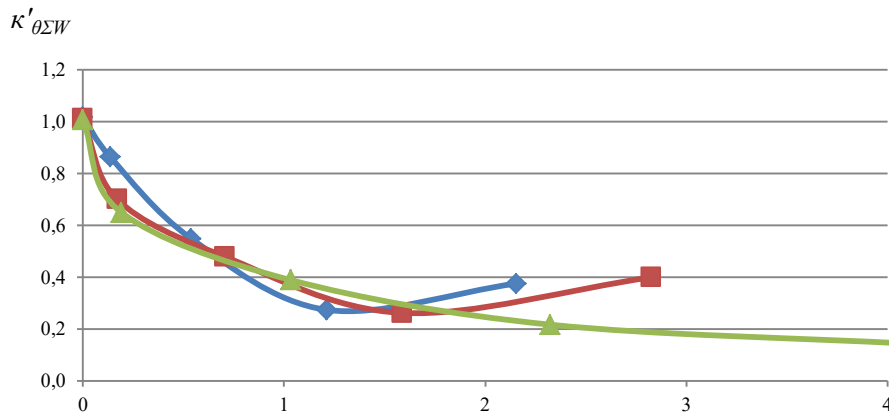


Рис. 2. Залежність повного редуційного $\kappa'_{\theta\Sigma W}$ від частотного параметра kC_{Π} при змінному співвідношенні A/C_{Π} для СМПВ типу А; λ_p – довжина хвилі: 1 – $A/C_{\Pi}=0,75$; 2 – $A/C_{\Pi}=0,65$; 3 – $A/C_{\Pi}=0,55$

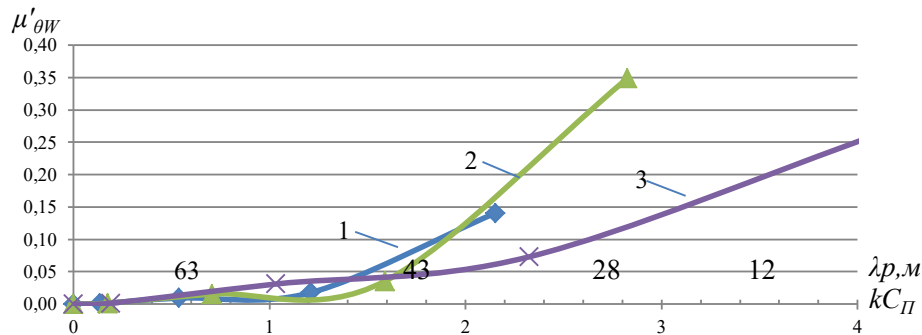


Рис. 3. Залежність безрозмірного коефіцієнта хвильового демпфування $\mu'_{\theta W}$ від частотного параметра kC_{Π} при зміні співвідношення A/C_{Π} для СМПВ типу А: 1 – $A/C_{\Pi}=0,75$; 2 – $A/C_{\Pi}=0,65$; 3 – $A/C_{\Pi}=0,55$

На рис. 2 наведено розрахований, згідно з формулою (8), графік залежності повного редуційного $\kappa'_{\theta\Sigma W}$ для СМПВ типу А у функції величини kC_{Π} при параметрі A/C_{Π} .

Проміжні редуційні коефіцієнти $\bar{\kappa}_{z2z}$, $\bar{\kappa}_{\theta\theta}$, $\bar{\kappa}_{\theta z}$ практично не залежать від A/C_{Π} , а на графіку повного редуційного коефіцієнта $\kappa'_{\theta\Sigma W}(kC_{\Pi})$ з'являється ділянка зростання зі зменшенням довжини хвилі λ_p . Такий самий ефект помічено для проміжного редуційного коефіцієнта $\kappa_{\theta\Pi} = \kappa_{\theta\Pi}(kC_{\Pi})$.

Ступінь цього зростання тим менший, чим менший параметр A/C_{Π} . За результатами розрахунків чим більша відстань між корпусами, тим менший ступінь впливу особливостей обводів на редуційні коефіцієнти.

Коефіцієнт хвильового демпфування СМПВ типу А при бортовій хитавиці $\mu'_{\theta W}$ визначається з використанням співвідношення Хаскінда-Ньюмана [9]:

$$\kappa'_{\theta\Sigma W} \rho g k h V = \sqrt{2N'_{\theta W} \frac{\rho g^2}{\omega} I'_{\Pi P}}; \quad (9)$$

$$2N'_{\theta W} = -\frac{M_{\Delta W \theta}}{\dot{\theta}}; \quad I'_{\Pi P} = \frac{2}{V} (I_K V_K + I_C V_C),$$

де $M_{\Delta W \theta}$ – хвильовий демпфуючий момент; $N'_{\theta W}$ – коефіцієнт лінійного при бортовій хитавиці СМПВ типу А; $\dot{\theta}$ – ордината кутової швидкості при бортовій хитавиці СМПВ; $I'_{\Pi P}$ – приведена довжина для СМПВ типу А.

Ураховуючи $\mu'_{\theta W} = \frac{N'_{\theta W}}{\rho V r_{x^*}^2 n_{\theta}}$, після очевидних перетворень знайдемо коефіцієнт хвильового демпфування $\mu'_{\theta W}$ за формулою:

$$\mu'_{\theta W} = \frac{\kappa_{\theta\Sigma W}^2 (kh)^2 V}{2r_{x^*}^2 I'_{\Pi P}} \cdot \frac{\omega}{n_{\theta}}, \quad \text{где } r'_{x^*} = \Gamma_{x^*}. \quad (10)$$

Очевидно, що коефіцієнт хвильового демпфування досягає максимуму при мінімальних довжинах хвиль. Водночас зі збільшенням параметра C_{Π} збільшується величина $\mu_{\theta W}$. Повний редуційний коефіцієнт $\kappa'_{\theta\Sigma W}$ для СМПВ типу В використаємо у співвідношенні з [3]:

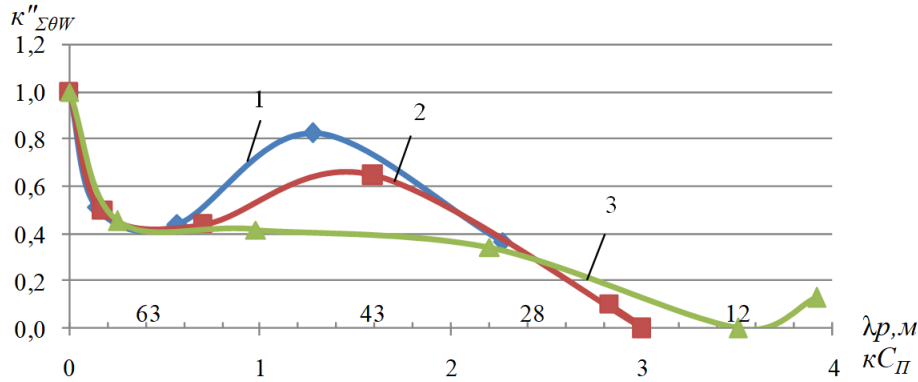


Рис. 4. Залежність повного редукційного коефіцієнта $\kappa''_{\Sigma\theta W}$ від частотного параметра κC_{II} при зміні співвідношення A/C_{II} для СМПВ типу В: 1 – $A/C_{II}=0,75$; 2 – $A/C_{II}=0,65$; 3 – $A/C_{II}=0,55$

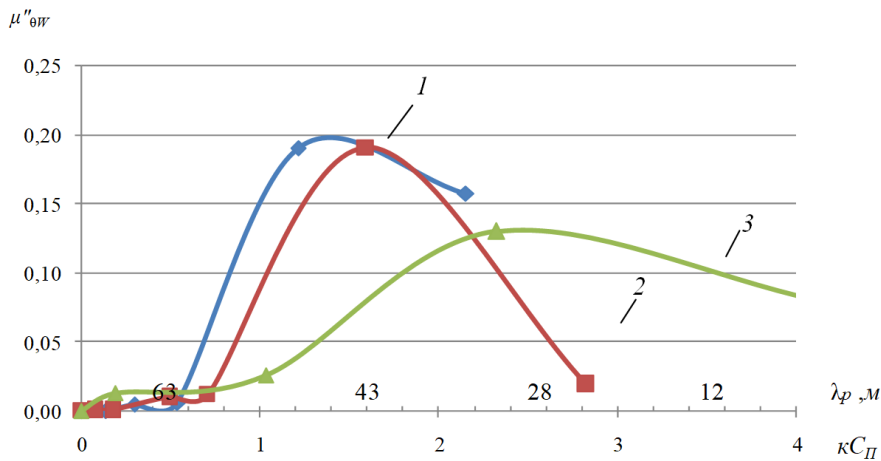


Рис. 5. Залежність коефіцієнтів хвильового демпфування $\mu''_{\theta W}$ від частотного параметра κC_{II} при зміні співвідношення A/C_{II} для СМПВ типу В: 1 – $A/C_{II}=0,75$; 2 – $A/C_{II}=0,65$; 3 – $A/C_{II}=0,55$

$$\kappa''_{\Sigma\theta W} = \exp(-kA) \cdot \frac{\sin \kappa C_{II}}{\kappa C_{II}} |1 - c\kappa C_{II}|;$$

$$c = \frac{2 \left(V_K + \frac{\lambda_{zK}}{\rho} \right)}{V} \cdot \frac{C_{II}}{h}; \quad \lambda_{zK} = a_{zK} \rho \pi R_K^2 l_K,$$

де λ_{zK} – прилучена маса корпусу СМПВ типу В при вертикальних коливаннях, а $a_{zK} \approx 1,3$.

На рис. 4 видно згладжування екстремумів при збільшенні параметра C_{II} .

Коефіцієнт хвильового демпфування для СМПВ типу В $\mu''_{\theta W}$ будемо шукати на основі формули (10), де приведена довжина стійки визначається так:

$$l''_{PP} = \frac{2}{V} (V_K l_K + V_{c1} l_{c1} + V_{c2} l_{c2}),$$

де l_{c1} , l_{c2} – довжини носової та кормової стійок СМПВ типу В із зануреними об'ємами та V_{c1} , V_{c2} .

Розрахункова залежність для коефіцієнта хвильового демпфування $\mu''_{\theta W}$ СМПВ типу В при частоті зовнішнього збурення $\omega = \sqrt{gk}$ дорівнює:

$$\mu''_{\theta W} = \frac{\kappa''_{\Sigma\theta W} (kh)^2 V}{2r_{X''}^2 l''_{PP}} \cdot \frac{\omega}{n_{\theta}}. \quad (11)$$

З рис. 5 можна зробити висновок, що особливості форми мають тим менший вплив на коефіцієнт хвильового демпфування й повний редукційний коефіцієнт, чим більший параметр C_{II} .

Отже, знаючи величини повних редукційних коефіцієнтів і коефіцієнтів хвильового демпфування для СМПВ типів А та В й урахувавши додатково, відповідно до роботи [11], вплив в'язких складників коефіцієнтів демпфування СМПВ на бортову качку, за формулою (3) можна розрахувати АЧХ бортової качки СМПВ обох

типів на регулярному хвилюванні за відсутності ходу й заспокоювачів хитавиці.

Висновки. Отже, на основі викладеного вище можемо резюмувати таке:

1. У результаті виконаного дослідження розроблена порівняно проста наближена методика для розрахунку редуційних коефіцієнтів, що використовуються для розрахунку бортової хитавиці СМПВ в режимі основного резонансу й у положенні лагом до набігаючих нерегулярних хвиль

і за відсутності ходу, що відповідає аварійному стану судна.

2. Розрахунок повного й поправочного коефіцієнта $k''_{\Sigma 0W}$ для СМПВ типу А виявляє, що значення збільшується при зменшенні довжини хвилі. Подібні обчислення для типу В СМПВ показують, що на ділянці довжин хвиль від ∞ до 63 м повна корекція коефіцієнта різко зменшується, а в інтервалі від 63 м до 28 м досягає максимуму, потім знижується до 0 на довжині хвилі 15–12 м.

Список літератури:

1. Батуев А.Д. Коэффициент сопротивления, присоединённый момент инерции и возмущающий момент цилиндрического катамарана с большим клиренсом. *Труды КТИРПиХ*. Калининград: КТИРПиХ, 1972. Вып. 44. С. 50–60.
2. Батуев А.Д. К выбору главных размерений промысловых катамаранов с учётом бортовой качки. *Труды КТИРПиХ*. Калининград: КТИРПиХ, 1975. Вып. 59. С. 96–103.
3. Батуев А.Д. Расчётная оценка кажущегося крена судна с малой площадью ватерлинии. *Труды КТИРПиХ*. Калининград: КТИРПиХ, 1981 Вып. 93. С. 30–38.
4. Бойко А.П. Особенности решения задачи проектирования судна с малой площадью ватерлинии. *Збірник наукових праць НУК*. Миколаїв: НУК, 2009. № 2. С. 10–17.
5. Коваленко Б.П. Влияние формы шпангоутов на параметры качки. *Труды ЦНИИ морского флота*. Ленинград: Транспорт, 1973. Вып. 182. С. 98–105.
6. Орлов Ю.Ф., Попов И.Ф., Украинский Б.С. Редукционные коэффициенты к главной части возмущающей силы бортовой и поперечно-горизонтальной качки понтонов прямоугольной и цилиндрической формы. *Труды ГИИВТ*. Горький: ГИИВТ, 1974. Вып. 133. Часть 2. С. 20–38.
7. Прикладные задачи динамики судов на волнении / И.К. Бородай, Г.В. Виленский, В.А. Мореншильдт и др. Ленинград: Судостроение, 1989. 262 с.
8. Рахманин Н.Н., Прытков Ю.К. Качка полупогруженных буровых платформ. Многокорпусные суда / под ред. В.А. Дубровского. Ленинград: Судостроение, 1978. С. 97–105.
9. Севастьянов Н.Б. Остойчивость промысловых судов. Ленинград: Судостроение, 1970. 200 с.
10. Соломенцев О.И., Кондратьева Л.Ю. Проектная оценка амплитуд бортовой качки судов с малой площадью ватерлинии в режиме основного резонанса. *Збірник наукових праць НУК*. Миколаїв, 2015. Вид. 5. С. 2–4.
11. Соломенцев О.И. О структуре дифференциальных уравнений вертикальной и бортовой качки СМПВ с нелинейным демпфированием. *Вісник НУК за 2010 р.* Миколаїв: НУК, 2011. С. 141–150.
12. Соломенцев О.И., Теляга Л.С. Нелинейное демпфирование интенсивной бортовой качки катамарана и судна с аутриггерами. *Збірник наукових праць НУК*. Миколаїв: НУК, 2011. № 4. С. 3–14.
13. Шапошников В.М. Метод расчёта волновых нагрузок, действующих на двухкорпусные суда с малой площадью ватерлинии (СМПВ). *Сборник НТО им. акад. А.Н. Крылова*. Ленинград: Судостроение, 1989. Вып. 465. С. 58–71.
14. Шевелев Г.Г. О явлении субгармонической бортовой качки двухкорпусного судна с малой площадью ватерлинии. *Сборник НТО им. акад. А.Н. Крылова*. Ленинград: Судостроение, 1978. Вып. 278. С. 56–66.
15. Murtedjo M., Djatmiko E.D. Prediction of Motion Characteristics of SWATH Type Floating Structure Using Two Dimensional Frank Close-fit Technique. *Jurnal Mekanikal*. 2004. Desember. Bil. 18. P. 46–65.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕДУКЦИОННЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДЛЯ РАСЧЕТА БОРТОВОЙ КАЧКИ СУДНА ТИПА СМПВ

В статье получены практические приближённые зависимости для определения редуционных коэффициентов для расчета качки СМПВ. Использовалось разделение волнового возмущения на главную и дифракционную части, а также соотношение Хаскинда-Ньюмана для расчета.

Ключевые слова: судно с малой площадью ватерлинии, бортовая качка, соотношение Хаскинда-Ньюмана для плоской задачи, редуционный коэффициент.

**THE INVESTIGATION OF THE REDUCTION COEFFICIENTS
FOR ROLL CALCULATIONS OF THE SWATH SHIP**

The practical approximate dependences are obtained for determining the corrective coefficients for calculating the roll of the SWATH vessel. Wave perturbation separation into the main and diffraction parts, as well as the Haskind-Newman ratio for the calculation were used.

Key words: *SWATH ship, roll, Haskind-Newman equation, corrective coefficient.*

ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

УДК 621.38

Домнич В.И.

Таврический национальный университет имени В.И. Вернадского

ТЕПЛОВАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАДИАТОРОВ С ГНУТЫМИ ПРИЗМАТИЧЕСКИМИ РЕБРАМИ ПРИ ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ КОНВЕКЦИИ

В статье приведены результаты исследования теплоотдачи и аэродинамического сопротивления групповых радиаторов охлаждения полупроводниковых приборов, отличающихся высокой эффективностью, технологичностью и низкой себестоимостью. Исследовано влияние параметров оребрения на интенсивность теплоотдачи в диапазоне скоростей воздушного потока 0,2–5 м/с, приведены формулы по расчету коэффициента теплоотдачи и температур отдельных компонентов. Приведены рекомендации по повышению эффективности теплоотдачи.

Ключевые слова: радиатор, охлаждение, теплоотдача, температура, аэродинамическое сопротивление.

Постановка проблемы. Воздушное охлаждение полупроводниковых приборов (ПП) средней и большой мощности связано с широким использованием радиаторов различного конструктивного исполнения. Наиболее часто для этих целей используют радиаторы игольчатого и пластинчатого типов. Основным элементом их конструкции является плоское основание, на котором с одной (односторонние) или двух (двухсторонние) сторон расположены элементы оребрения в виде конусных иголок (игольчатые) или плоских пластин (пластинчатые). Основными недостатками этих радиаторов является их высокая материалоемкость, низкая технологичность (способ изготовления – литье) и необходимость дополнительной механической обработки посадочных поверхностей под ПП.

Изложение основного материала исследования. Автором предложены и исследованы более простые конструкции радиаторов в виде плоских поверхностей, по периферии которых методом гибки сформированы ребра призматической формы (рис. 1).

Благодаря хорошим массогабаритным характеристикам, высокой технологичности и низкому аэродинамическому сопротивлению для радиоэлектронной (РЭА) и электронно-вычислительной аппаратуры (ЭВА) такие радиаторы достаточно перспективны.

Геометрические параметры исследованных радиаторов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Геометрические параметры радиаторов

№	A	B	H					C	
1	92	92	40	4	0	3	4	0,61	0,17
2	92	92	40	8	0	3	4	0,62	0,16
3	82	82	40	5	0	3	3	0,64	0,17
4	96	96	40	6	0	3	8	0,62	0,18
5	96	96	30	6	0	3	8	0,66	0,125
6	96	96	20	6	0	3	8	0,71	0,079
7	96	96	40	5	5	3	5	0,66	0,117
8	96	96	40	5	10	3	5	0,68	0,115
9	94	94	40	5	0	3	5	0,66	0,12
10	94	94	25	5	0	3	5	0,72	0,067
11	200	52	40	3	0	3	5	0,7	0,1
12	200	52	25	3	0	3	5	0,77	0,072

Тепловой расчет таких радиаторов с одним, симметрично расположенным источником тепла, рассмотрен в работе В.И. Домнича [1]. Суть теплового расчета заключается в оценке реальной температуры критической зоны ПП с учетом его геометрических параметров и конкретных условий эксплуатации. В данной работе приводятся результаты исследования теплоотдачи групповых радиаторов, на основании которых расположены несколько источников тепловыделения. Такие конструкции находят все большее применение в устройствах питания и силовых установках различных изделий.

Исследование радиаторов проводилось в аэродинамической трубе; скорость воздуш-

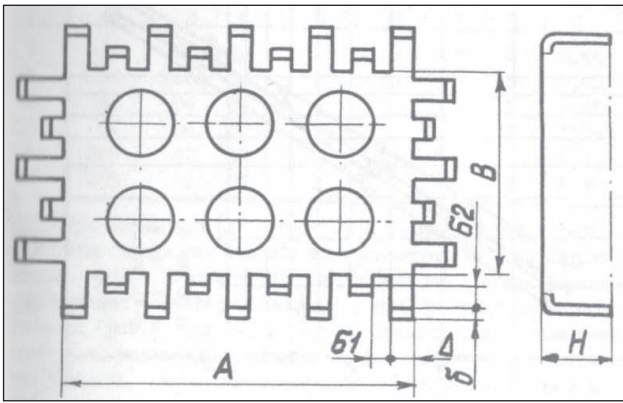


Рис. 1. Конструкция исследованных радиаторов с плоским основанием и периферийным гнутым обрешением

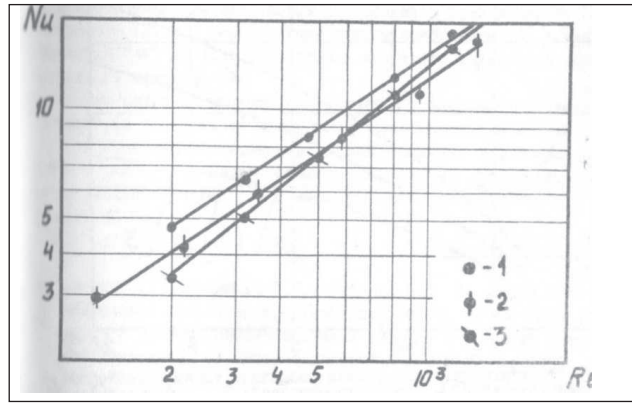


Рис. 2. Влияние геометрических факторов на коэффициент теплоотдачи: 1 – рад. № 4; 2 – рад. № I; 3 – рад. № 6

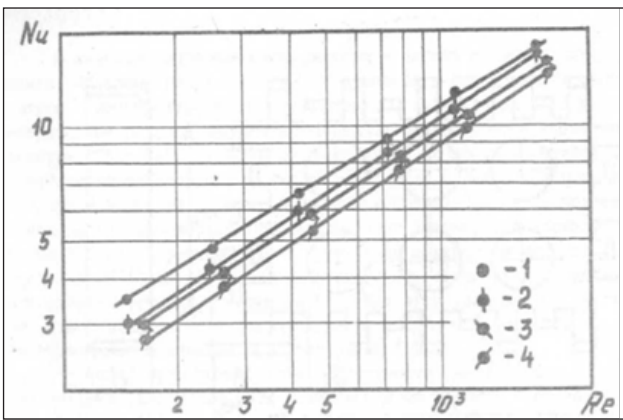


Рис. 3. Влияние ориентации радиаторов на коэффициент теплоотдачи: 1 – рад. № II; 2 – рад. № 12: – поперечная ориентация; 3 – рад. № II; 4 – рад. № 12 – продольная ориентация

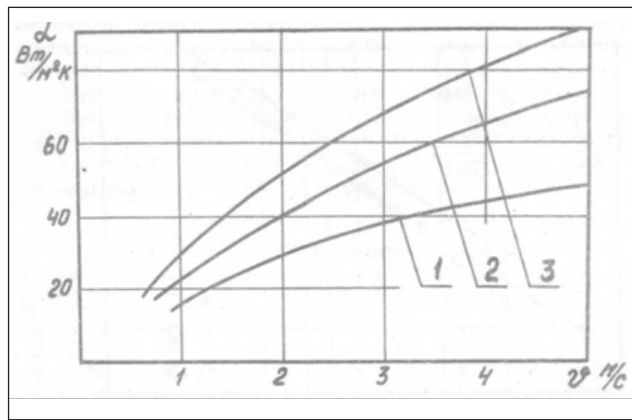


Рис. 4. Эффективность теплоотдачи различных типов радиаторов; 1 – пластинчатый; 2 – игольчато-штыревой; 3 – периферийным гнутым обрешением

ного потока варьировалась в пределах от 0,2 до 5 м/с путем плавного изменения мощности приводного вентилятора центробежного типа. Измерение температурного поля радиатора осуществлялось медь-константовыми термомпарами, которые обладают линейной вольт-температурной характеристикой в исследованном диапазоне температур.

Оценка аэродинамического сопротивления радиаторов осуществлялась путем измерения потерь статического давления на исследуемом участке до и после радиатора с помощью чувствительных манометров.

Среднеповерхностный коэффициент теплоотдачи определялся из выражения

$$\alpha_k = \frac{P_{\Sigma}}{S(t_{cn} - t_c)} - \alpha_{\lambda} \quad (1)$$

где P_{Σ} – суммарная мощность тепловыделения всех ПП, установленных на радиаторе; S – охлаждаемые поверхности радиатора и ПП

с креплениями; t_c – температура окружающей среды; t_{cn} – среднеповерхностная температура системы радиатор + ПП + элементы крепления; α_{λ} – коэффициент теплоотдачи излучением, который определялся по методике I.

Результаты измерений обрабатывались на основе общепринятой для вынужденной конвекции системы чисел подобия

$$Nu = CRe^n \quad (2)$$

где в качестве определяющего геометрического размера в критериях Нуссельта и Рейнольдса принимался полупериметр обтекания ребра.

При исследовании радиаторов с прямоугольной формой основания установлена зависимость их теплоотдачи от ориентации в воздушном потоке. При продуве вдоль меньшей стороны радиатора его теплоотдача значительно выше, чем при продуве вдоль большей стороны (рис. 3, линии I и 2), что объясняется ростом теплоотдачи с основания радиатора. При этом среднеповерхностный коэф-

коэффициент теплоотдачи, как и для радиаторов с квадратной формой основания, существенно зависит от высоты ребер (рис. 3, линии 3 и 4).

На рис. 4 приведено сопоставление среднеповерхностных коэффициентов теплоотдачи в зависимости от скорости воздушного потока для одинаковых по габаритам пластинчатого (1), штыревого (2) и с периферийным гнутым оребрением (3) радиаторов. В качестве двух первых выбирались радиаторы с оптимальными соотношениями теплоотдающих элементов. Значения коэффициента теплоотдачи для пластинчатого и штыревого радиаторов рассчитывались по методике [2].

Как видно из рисунка 4, коэффициент теплоотдачи исследованных радиаторов значительно выше, чем у пластинчатых и штыревых.

В пределах исследованной области режимных параметров воздуха $V = (0,2-5 \text{ м/с})$ в канале сечением $300 \times 150 \text{ мм}$ аэродинамическое сопротивление радиаторов с периферийным гнутым оребрением не превышало 40 Па , что предопределяет незначительные затраты энергии на привод вентиляторного оборудования.

Поиск возможностей дальнейшей интенсификации теплоотдачи описываемых радиаторов показал интересный результат: при развороте ребер на сторонах, ориентированных перпендикулярно воздушному потоку, на 90 градусов (при условии превышения ширины ребра над его толщиной, что всегда имеет место для таких радиаторов) интенсивность теплоотдачи радиаторов возрастала. Такой результат объясняется дополнительной турбулизацией воздушного потока винтообразными поверхностями нижних кромок передних (по ходу воздуха) ребер.

Хотя описываемые эксперименты были выполнены с групповым радиатором с односторонним оребрением, есть все основания полагать, что данный эффект даже в большей степени характерен для радиаторов с двухсторонним оребрением, так как в этом случае указанный режим течения воздуха будет обеспечиваться вдоль обеих сторон его основания.

С точки зрения технологичности операция разворота ребер выполняется легко, так как все радиаторы выполнялись из высокотеплопроводящего алюминиевого сплава АМг2.

Список литературы:

1. Домнич В.И., Зиньковский Ю.Ф. Конструирование РЭС. *Тепловые и влажностные режимы*. К.: Техника, 1992. 240 с.
2. Домніч В.І., Зіньковський Ю.Ф. *Тепловологозахист електронних апаратів*. Навчальний посібник, 2001. 238 с.
3. Керн Д., Краус А. *Развитые поверхности теплообмена*. М.: Энергия, 2007. 464 с.
4. Роткоп Л.Л., Спокойный Ю.Е. *Обеспечение тепловых режимов при конструировании РЭС*. М.: Радио, 1976. 232 с.
5. Резников Г.В. Расчет и конструирование систем охлаждения ЭВМ. М.: Радио и связь, 1988. 244 с.

ТЕПЛОВА ЕФЕКТИВНІСТЬ РАДІАТОРІВ ІЗ ГНУТИМИ ПРИЗМАТИЧНИМИ РЕБРАМИ ПІД ЧАС ПРИМУСОВОЇ КОНВЕКЦІЇ

У статті приведені результати дослідження тепловіддачі та аеродинамічного опору групових радіаторів охолодження напівпровідникових приладів, що мають високу ефективність, технологічність та низьку собівартість. Досліджено вплив параметрів ребер на інтенсивність тепловіддачі в діапазоні швидкостей повітряного потоку $0,2-5 \text{ м/с}$. Наведені формули розрахунку тепловіддачі та надані рекомендації щодо її підвищення.

Ключові слова: радіатор, охолодження, тепловіддача, температура, аеродинамічний опір.

THERMAL EFFICIENCY OF RADIATORS WITH CONVENIENT PRIZMATIC RIBBONS AT PREMIUM CONVECTION

The article presents the results of the study of heat transfer and the aerodynamic resistance of group radiators for cooling semi-refinery devices that are distinguished by high efficiency, adaptability and low cost. The influence of the finning parameters on the heat transfer intensity in the range of air flow velocities of $0,2-5 \text{ m/s}$ is investigated, formulas are given for calculating the coefficient of solubility and temperatures of individual components. The recommendations for improving the efficiency of heat transfer are given.

Key words: radiator, cooling, heat transfer, temperature, aerodynamic resistance.

РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

УДК 691.7.068.4

Омецинська Н.В.

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

ОСОБЛИВОСТІ СУМІСНОЇ ПОВЕДІНКИ СПЕКТРАЛЬНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ПЕРЕДАВАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОДНОМОДОВИХ ОПТИЧНИХ ВОЛОКОН

У статті проводиться аналіз особливостей сумісної поведінки спектральних залежностей передавальних характеристик одномодових оптичних волокон та її застосування в задачі синтезу оптичних волокон із поліпшеними характеристиками методом багатofакторного перебору параметрів.

Ключові слова: волоконно-оптичний лінійний тракт, передавальні характеристики, синтез ОВ, багатofакторний перебір параметрів, коефіцієнти Селмейєра.

Постановка проблеми. Задача підвищення пропускної спроможності волоконно-оптичних лінійних трактів пов'язана із задачею покращення передавальних характеристик лінійного одномодового оптичного волокна (далі – ООВ). Оскільки оптичні волокна (далі – ОВ) можуть виготовлятися за добре відпрацьованими технологіями, залишається актуальною задачею попередня розробка нових типів ОВ з поліпшеними характеристиками. Аналіз електродинамічних характеристик світловоду базується на розв'язанні хвильових рівнянь для напрямлених ним мод – ЕМ-хвиль, які переносять оптичне випромінення, промодульоване корисним сигналом, і тим самим забезпечують передачу інформації. Розв'язок хвильових рівнянь залежить від профілю ПЗ волокна. Оскільки точний аналітичний розв'язок відомий лише у випадку кількох найпростіших типів ППЗ, для розв'язання цих рівнянь вдаються до наближених методів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Особливості сумісної поведінки спектральних залежностей передавальних характеристик ООВ у своїх роботах досліджували І.В.О. Сергієнко, В.Б. Катоко, О.О. Манько, О.В. Власов, М.О. Котенко.

Постановка завдання. Виділити складові частини коефіцієнта хроматичної дисперсії ООВ та провести аналіз вкладу кожної з них в повну хроматичну дисперсію; провести аналіз особливостей сумісної поведінки спектральних залежностей передавальних характеристик ООВ.

Виклад основного матеріалу дослідження. Аналіз основних складників хроматичної дис-

персії ООВ. Відповідно до D – коефіцієнта хроматичної дисперсії ОВ, обчисленого на довжині λ_0 носійної хвилі,

$$D(\lambda) = \frac{d\tau(\lambda)}{d\lambda} = -\frac{\lambda}{c} \frac{d^2(\beta/k)}{d\lambda^2}, \text{ пс}/(\text{нм} \cdot \text{км}) \quad (1),$$

де $\tau(\lambda) = 1/v_{gp}(\lambda)$, пс/км, – погонне групове запізнення спектральної складової частини імпульсу, яка відповідає довжині хвилі λ (тривалість групової затримки спектрального складника на одиниці довжини її пробігу по волокну), $v_{gp}(\lambda)$ – групова швидкість моди на довжині хвилі λ (швидкість перенесення енергії);

β/k – ефективний показник заломлення моди, що направляється світловодом;

$k = \omega/c$ – хвильове число у вільному просторі;

c – швидкість світла у вакуумі.

Розрахунок коефіцієнта хроматичної дисперсії ООВ потребує двократного диференціювання за довжиною хвилі знайденого шляхом розв'язання характеристичного рівняння світловоду коефіцієнта β фази моди. Проаналізуємо особливості спектральної залежності дисперсії ООВ.

Запишемо формулу (1) для хроматичної дисперсії ООВ у вигляді

$$D(\lambda) = \frac{d\tau(\lambda)}{d\lambda} = \frac{d}{d\lambda} \left(\frac{1}{v_{gp}} \right) = \frac{1}{c} \frac{dn_{gp, \text{ef}}}{d\lambda} = -\frac{d^2 n_{gp, \text{ef}}}{c d\lambda^2} = -\frac{2\pi}{c\lambda^2} \frac{d}{dk} \left(\frac{d\beta}{dk} \right) \quad (2),$$

де $\tau(\lambda) = 1/v_{gp}$, пс/км, – погонне групове запізнення спектральної складової частини імпульсу, яка відповідає довжині хвилі λ , нм, і v_{gp} – групова швидкість моди;

β – коефіцієнт фази напрямленої волоконною модою;

$k = \omega/c = 2\pi/\lambda$ – хвильове число у вакуумі;

$n_{\text{эф}} = \beta/k$ – ефективний ПЗ напрямлюваної волоконної моди;

$$v_{\phi} = \omega/\beta = c/(\beta/k) = c/n_{\text{эф}} \quad (3)$$

$n_{\text{гр.эф}} = d\beta/dk$ – ефективний груповий показник заломлення моди

$$v_{\text{гр}} = d\omega/d\beta = c/(d\beta/dk) = c/n_{\text{гр.эф}} \quad (4),$$

величина якого пов'язана з ефективним показником заломлення

$$\begin{aligned} n_{\text{гр.эф}} &= \frac{d\beta}{dk} = \frac{d[k \cdot (\beta/k)]}{dk} = n_{\text{эф}} + k \frac{dn_{\text{эф}}}{dk} = \\ &= n_{\text{эф}} + \dot{E} \frac{dn_{\text{эф}}}{dE} = n_{\text{эф}} - \gg \frac{dn_{\text{эф}}}{d} \end{aligned} \quad (5).$$

Розрахунок передавальних характеристик ООВ зазвичай здійснюють за припущення про незалежність функції профілю ПЗ від довжини хвилі, λ . Відповідно до (1) залежність ППЗ від λ зумовлюється лише спектральними залежностями максимальної величини ПЗ в сердцевині та ПЗ в оболонці, $n_1(\lambda)$ та $n_2(\lambda)$ відповідно, і функція профілю $f(\rho)$ залежить лише від ρ .

Відповідно до (2) обчислення коефіцієнта хроматичної дисперсії ООВ потребує двократного диференціювання дисперсійної залежності $\beta = \beta(k)$ моди. За припущення про незалежність функції ППЗ від довжини хвилі у виразі хроматичної дисперсії можна виділити три основні складові частини. Для цього виразимо фазовий коефіцієнт моди через фазовий параметр волокна згідно з:

$$\beta = k \left[n_2^2 + (n_1^2 - n_2^2) B \right]^{1/2} \quad (6)$$

Звідси, з урахуванням того, що за вказаного припущення дисперсійна характеристика моди, $B(V)$, залежить від хвильового числа k лише посередньо залежності від k нормованої частоти V , (1.10), можна одержати:

$$n_{\text{гр.эф}} = \frac{d\beta}{dk} = \frac{n_2 n_{\text{сп}2} + \frac{1}{2} \left[B + \frac{d(BV)}{dV} \right] (n_1 n_{\text{сп}1} - n_2 n_{\text{сп}2})}{\sqrt{n_2^2 + (n_1^2 - n_2^2) B}} \quad (7),$$

де n_j та $n_{\text{сп}j}$ – показник заломлення та, відповідно, груповий показник заломлення в матеріалі оболонки, $j=2$, і сердцевини, $j=1$ (величина n_1 відповідає точці профілю ПЗ, де показник заломлення має максимальне значення).

Диференціюючи вираз (7) по k , після громіздких перетворень для коефіцієнта дисперсії, D , з урахуванням (6), (4) і виразу $\lambda = 2\pi/k$, отримаємо:

$$D = \left[D_M + D_{\text{хв}} + D_{\text{гр}} + D_{\text{залишок}} \right], \frac{nc}{\text{нм} \cdot \text{км}} \quad (8)$$

Матеріальна складова частина D_M повної дисперсії зумовлена нелінійною залежністю показника заломлення матеріалів світловоду від довжини хвилі оптичного випромінювання. Її величина визначається, головним чином, дисперсій-

ними властивостями матеріалів, із яких виготовлено сердцевину й оболонку волокна:

$$D_M = \frac{n_1}{n_{\text{эф}}} \left[A \cdot M_1 + \frac{n_2}{n_1} (1-A) \cdot M_2 \right] \approx A \cdot M_1 + (1-A) \cdot M_2 \quad (9)$$

$$A = \frac{1}{2} \left(B + \frac{d(BV)}{dV} \right); \quad M_j = -\frac{\lambda}{c} \frac{d^2 n_j}{d\lambda^2}, \frac{nc}{\text{км} \cdot \text{нм}} \quad (j=1,2) \quad (10)$$

Тут M_j – питома дисперсія в об'ємному зразку однорідного скла оболонки, $j=2$, та сердцевини, $j=1$ (береться однорідне скло з ПЗ n_1 , що відповідає точці профілю ПЗ із найбільшим значенням). Наближена рівність пов'язана з оцінкою $n_2 < n_{\text{эф}} = \beta/k < n_1$ для ефективного ПЗ світловоду з малим значенням відносної різниці ПЗ світловоду, Δ , та з наближеною заміною одиницею відношення групового ПЗ до ПЗ стекол на основі плавленого кварцу $\approx 1,01$ у використовуваному волоконно-оптичному зв'язку діапазоні довжин хвиль.

У випадку східчастого світловоду величини A та $1-A$ є відносними частками потужності поля моди в сердцевині та в оболонці, відповідно, матеріальна складова частина дисперсії світловоду, (9), становить деяку середню величину між значеннями питомої хроматичної дисперсії двох об'ємних оптично однорідних середовищ – одне з них відповідає матеріалу оболонки з показником заломлення n_2 , а інше – діелектрику зі значенням показника заломлення n_1 , яке відповідає максимальному значенню ПЗ в сердцевині.

Хвильоводна складова частина $D_{\text{хв}}$ повної дисперсії (або структурна дисперсія світловоду) – складник хроматичної дисперсії, що визначається напрямлювальними властивостями світловодної структури, які залежать від форми ППЗ волокна:

$$\begin{aligned} D_{\text{хв}} &= \frac{-n_{\text{сп}1}^2 \Delta}{c\lambda n_{\text{эф}}} V \frac{d^2(BV)}{dV^2} \approx \frac{-n_{\text{сп}1}^2 \Delta}{c\lambda n_1} V \frac{d^2(BV)}{dV^2} = \\ &= -\frac{1}{\pi c a} \sqrt{\frac{\Delta}{8}} \left(\frac{n_{\text{сп}1}}{n_1} \right)^2 V^2 \frac{d^2(BV)}{dV^2} \end{aligned} \quad (11)$$

Величина і поведінка спектральної залежності хвильоводної складової частини дисперсії залежать переважно від конкретного виду функції профілю ПЗ, якою визначається спектральна залежність $B(V)$. Значення $D_{\text{хв}}$ залежить також і від величин конструктивного радіуса сердцевини, a , та відносної різниці ПЗ хвильоводу, Δ . За наближеного розрахунку цього складника спектральною залежністю величини Δ можна нехтувати. Хвильоводна складова частина повної дисперсії, на відміну від матеріальної, з'являється навіть за відсутності залежності показника заломлення матеріалів світловоду від довжини хвилі.

Профільна складова частина $D_{\text{гр}}$ повної дисперсії спричинена залежністю від довжини хвилі відносної різниці ПЗ волокна, Δ :

$$D_{sp} = \frac{n_1^2}{n_{ef}} \frac{1}{c} \frac{d\Delta}{d\lambda} \left[\frac{n_{sp1}}{n_1} - \frac{\lambda}{4\Delta} \frac{d\Delta}{d\lambda} \right] \cdot \left[V \frac{dB}{dV} + V \frac{d^2(BV)}{dV^2} \right] \approx$$

$$\approx n_1 \frac{1}{c\lambda} \left(\lambda \frac{d\Delta}{d\lambda} \right) \left[\frac{n_{sp1}}{n_1} - \frac{\lambda}{4\Delta} \frac{d\Delta}{d\lambda} \right] \cdot \left[V \frac{dB}{dV} + V \frac{d^2(BV)}{dV^2} \right]. \quad (12)$$

Величина D_{np} пропорційна малій величині $\lambda \cdot d\Delta/d\lambda$ і в багатьох випадках нею нехтують порівняно зі складниками D_m та $D_{xв}$. Четвертий доданок у виразі (8) для повної хроматичної дисперсії світловоду є залишковим членом:

$$D_{залишкова} = \frac{n_{sp1}^2}{n_{ef}} \frac{1}{c\lambda} \left\{ 2\Delta \left[A \left(1 + \frac{n_{sp1}^2 - n_{sp2}^2}{n_{sp1}^2} \frac{1}{2\Delta} \right) - B \right] - \left[\frac{n_{sp\,ef}^2}{n_{sp1}^2} - \frac{n_{sp2}^2}{n_{sp1}^2} \right] \right\} \quad (13).$$

Цю величину важко класифікувати, але проведені нами розрахунки для ОВ із конкретними профілями ПЗ показують, що її вклад у значення D повної хроматичної дисперсії світловоду незначний.

У виразах (10) – (13) значення n_j , n_{spj} , $d^2n_j/d\lambda^2$ ($j=1,2$) можна обчислити за формулами Селмейєра для спектральної залежності ПЗ компонентного скла на основі плавненого кварцу. Отримані на базі електронної теорії дисперсії теоретичні результати щодо дисперсійних властивостей діелектричного середовища добре узгоджуються з експериментальними результатами з вивчення дисперсії в матеріалах, які використовуються для виготовлення ОВ.

В основу класичної теорії дисперсії покладена дія ЕМ-хвиль оптичного діапазону на зв'язані електрони атомів з урахуванням їхнього гальмування (дисипації енергії). Кожна молекула діелектрика розглядається як система загасаючих гармонічних осциляторів із різними частотами власних коливань. Іони значно масивніші за електрони та здійснюють коливання лише під дією низькочастотного (інфрачервоного) випромінювання. Електрична складова частина поля поширюваної в діелектрику ЕМ-хвилі поляризує його молекули, внаслідок чого їхні електронні структури починають коливатися із частотою хвилі. Внаслідок коливання випромінюються хвилі тієї самої частоти, які інтерферують із первісною хвилею. Через інерційність коливань електронних структур вторинне випромінювання має накопичуване з пройденою відстанню запізнення за фазою, тому результуюча хвиля отримує сумарний фазовий зсув відносно, і фазова швидкість поширення ЕМ-хвиль залежатиме від частоти – середовище матиме дисперсію. Всі реальні середовища мають малу чи велику дисперсію, безпосередньо пов'язану з поглинанням енергії ЕМ-хвилі при її поширенні. Чистий кварц є основним матері-

алом, що застосовується у вигляді кварцового скла (плавлений кварц, із хімічною формулою SiO_2) для виробництва ОВ. Особливо важливі для волоконно-оптичного зв'язку із застосуванням кварцового скла хвилі близького та середнього інфрачервоного діапазону. Експериментальні результати з вимірювання ПЗ об'ємних зразків із плавненого кварцу з високою точністю апроксимуються у цьому діапазоні довжин хвиль тричленною формулою Селмейєра, в якій враховано два електронні резонанси в ультрафіолетовій частині спектра й один атомний резонанс – в інфрачервоній:

$$n^2 - 1 = \sum_{j=1}^3 \frac{A_j \lambda^2}{\lambda^2 - l_j^2} \quad (14),$$

де A_j та l_j – постійні для цього діелектрика коефіцієнти Селмейєра, які знаходяться підгонкою заміряних значень ПЗ об'ємного зразка скла. Зауважимо, що значення 9,0 мкм резонансної довжини хвилі, що відповідає характерному періоду коливань в міжатомному зв'язку окислу Si–O, не узгоджується зі значенням $l_3=9,9$ мкм, і це пояснюється двома причинами. По-перше, формула (14) дає найкращу відповідність із результатами експерименту в обмеженій ділянці спектра, досить далекій від резонансів. По-друге, ця апроксимація при $q=3$ містить лише три резонансні складники, натомість реально існує деяка повніша множина резонансів, вплив яких необхідно підсумувати. Тому величини l_j є усередненими значеннями резонансних довжин хвиль.

ОВ виготовляють із високоякісних кварцових стекол, легованих різними окислами, наприклад, бору (B_2O_3), германію (GeO_2), фосфорного ангідриду (P_2O_5), фтору (F) тощо. Германій і фосфор підвищують показник заломлення скла на основі кварцу, а фтор і бор – знижують. Домішки ведуть до появи додаткових резонансів, внаслідок чого змінюються значення коефіцієнтів Селмейєра. Отже, хоча внесення домішок дозволяє змінювати ПЗ скла на основі чистого кварцу, слід мати на увазі, що вони можуть вносити додаткову дисперсію та збільшувати загасання за рахунок додаткових резонансів.

Шляхом двократного диференціювання за довжиною хвилі формули (14) одержимо вираз для питомої дисперсії скла на основі плавненого кварцу:

$$M = \frac{d}{d\lambda} \left(\frac{n_{sp}}{c} \right) = - \frac{\lambda}{c} \frac{d^2 n}{d\lambda^2} =$$

$$= \frac{1}{\lambda c} \left\{ - \frac{4\lambda^4}{n} \sum_{i=1}^3 \frac{A_i l_i^2}{(\lambda^2 - l_i^2)^3} + n_{sp} \left(\frac{n_{sp}}{n} - 1 \right) \right\} \quad (15),$$

де M , пс/(нм·км), – питома дисперсія скла (питоме розширення світлового імпульсу у вигляді

хвильового пакету на однорідних плоских хвилях за його поширення в об'ємному склі);

n_{gp} – груповий показник заломлення в об'ємному склі, вираз якого, аналогічний до (2.16), набуває вигляду:

$$n_{gp} = n - \lambda \frac{dn}{d\lambda} = n + \frac{\lambda^2}{n} \sum_{i=1}^3 \frac{A_i I_i^2}{(\lambda^2 - I_i^2)^2} \quad (16)$$

Після диференціювання (7) одержимо вираз для величини S_M , пс/(нм²·км) – дисперсії другого порядку об'ємного скла (крутизни дисперсії в об'ємному склі), який з урахуванням (16) можна записати у такий спосіб:

$$S_M = \frac{dM}{d\lambda} = \frac{1}{\lambda^2 c} \left\{ \frac{8\lambda^4}{n} \sum_{i=1}^3 \frac{A_i I_i^2 (I_i^2 + 2\lambda^2)}{(\lambda^2 - I_i^2)^4} - \left(\frac{n_{gp}}{n} - 1 \right) \left(2 - \frac{n_{gp}}{n} n_{gp} \right) \right\} \quad (17)$$

$$= +2 \frac{n_{gp}}{n} \frac{M}{\lambda}$$

На рис. 1 показано, на довжинах хвилі 1,3 та 1,55 мкм, залежність ПЗ кварцового скла від концентрації легувальної домішки, окислу германію (GeO₂) чи фтору (F). Ці залежності побудовано за результатами розрахунку ПЗ за тричленною формулою Селмейєра (14). Як видно з рисунка, за малих значень концентрацій домішки відповідні залежності наближаються до лінійних.

Для стекел на основі плавленого кварцу (SiO₂), легованого відповідними домішками, розраховані за формулами (14), (16), (15) спектральні залежності показника заломлення n та групового показника заломлення n_{gp} і величини питомої хроматичної дисперсії відповідно зображено на рис. 3, рис. 2 у вигляді графіків. Коефіцієнти Селмейєра за вказаних на рисунках мольних концентрацій конкретних домішок взято; їхні значення відповідають експериментальним даним Кобаяші та даним, отриманим Флемінгом. Як видно з графіків, зображених на рис. 2, спектральних залежностей показника заломлення n та групового показника заломлення n_{gp} скла на базі плавленого кварцу, в діапазоні використовуваної волоконно-оптичним зв'язком частині оптичного спектра зі збільшенням довжини хвилі показник заломлення монотонно спадає, і фазова швидкість хвилі зростає. Тобто, таке скло має нормальну дисперсію показника заломлення. Відповідно $n_{gp} > n$, (18), і групова швидкість хвиль є меншою від фазової.

У випадку імпульсів на однорідних плоских хвилях, що поширюються в об'ємному діелектрику, величина розширення імпульсу пропорційна питомій дисперсії діелектрика M , пс/(нм·км), яка пропорційна згідно з формулою (17) похідній за довжиною хвилі від групового показника заломлення n_{gp} в об'ємному склі. Як видно з графіків, зображених на рис. 3, спектральних залежностей питомої дисперсії M скла на базі плавленого

кварцу, в діапазоні використовуваної волоконно-оптичним зв'язком частині оптичного спектра ця величина може змінювати знак. Відповідно, імпульс за проходження через відповідне об'ємне середовище зазнаватиме нормальної дисперсії групових швидкостей, якщо $M < 0$ (спектральні складники імпульсу з меншими частотами рухаються з більшими груповими швидкостями порівняно з високочастотними і заповнюють його передній фронт), або аномальної дисперсії при $M > 0$.

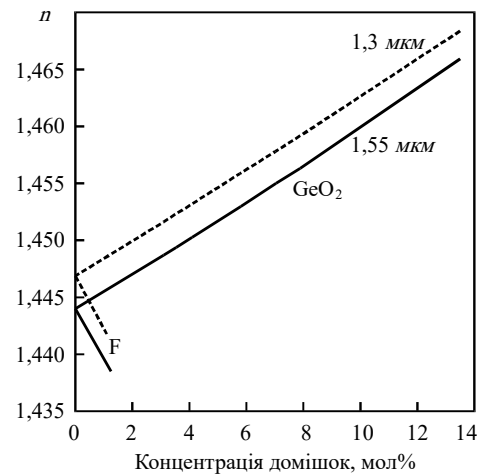


Рис. 1. Залежність ПЗ скла на основі плавленого кварцу (SiO₂) від концентрацій домішок GeO₂ та F, на довжині хвилі 1.3 та 1.55 мкм

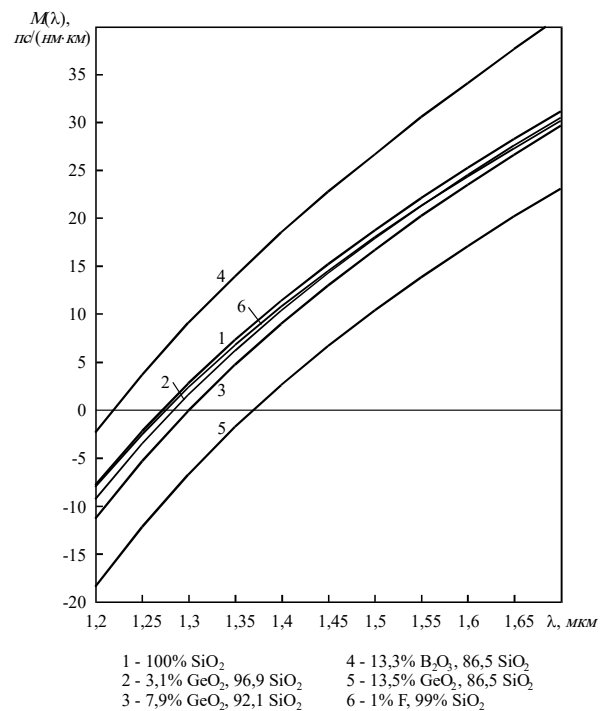


Рис. 2. Спектральна залежність питомої хроматичної дисперсії скла на основі плавленого кварцу (SiO₂) за різних концентрацій домішок (у молях)

Згідно з розрахунком за формулами (16), (17), для найпоширеніших у виготовленні ООВ двокомпонентних стекол на базі SiO_2 з домішками окислу германію (GeO_2) та з домішками фтору (F) (рис. 1), за концентрацій домішок достатньо малих, але таких, що забезпечують майже 1% відносного підвищення ПЗ чистого плавленого кварцу (7,9% GeO_2) та відповідно – 1% його відносного зниження (3% F – розрахунок за лінійної апроксимації ПЗ залежно від концентрації домішки фтору), відмінність між питомими дисперсіями в об'ємних зразках стекол відносно невелика. На довжині хвилі 1,55 мкм найбільше значення різниці між дисперсіями компонентних стекол, разом із чистим плавленим кварцом, складає $\sim 1,8$ пс/(км·нм) (рис. 2). Матеріальна складова частина дисперсії світловоду, (9), виготовленого з цих стекол, дорівнює деякому середньому значенню питомих дисперсій у цих стеклах, тому її величина за вибору різних концентрацій домішок змінюється лише незначною мірою.

Висновки. Виділено складові частини коефіцієнта хроматичної дисперсії ООВ та проведено

аналіз вкладу кожної з них у повну хроматичну дисперсію, що уможливило пошук конструктивних параметрів ООВ із заданою спектральною залежністю дисперсії. Розроблено інженерну методику врахування матеріальної дисперсії за розрахунку величини повної хроматичної дисперсії волоконного світловоду. Створено розширену порівняно з відомою з публікацій таблицю коефіцієнтів Селмейєра для тричленної спектральної залежності показника заломлення компонентного скла, що була розрахована інтерполяцією коефіцієнтів за їхніми відомими значеннями для декількох значень концентрації окислу германію та домішки фтору.

Виявлено особливості сумісної поведінки спектральних залежностей передавальних характеристик ООВ: інтегральних, які визначаються інтегруванням по поперечному перерізу світловоду поперечної хвильової функції та її похідної; коефіцієнта хроматичної дисперсії ООВ, що розраховується двохкратним диференціюванням за довжиною хвилі коефіцієнта фази напрямлюваної моди.

Список літератури:

1. Власов О.М., Омечинська Н.В., Сергієнко І.В.О. Підвищення пропускної спроможності волоконно-оптичних лінійних трактів на одномодових світловодах. *Матеріали VII наукової конференції ДУІКТ «Сучасні тенденції розвитку технологій в інфокомунікаціях та освіті»*. Харків, 25–26 листопада, 2010. С. 132–137.
2. Манько А.А. Методы улучшения дисперсионных характеристик спектрально-селективных оптических элементов на основе рассеяния света. *Зв'язок*. 2012. № 4. С. 32–35.
3. Sergijenko I.-V., Ometsyns'ka N. Optimal values of chirp parameter of optical transmitters to compensation of the chromatic dispersion in tracts. *Матеріали 6-й Международной молодежной научно-технической конференции «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций «РТ-2010»*, 19–24 апреля 2010. Севастополь. 2010. С. 47.
4. Optical interfaces for single channel STM-64 and other SDH systems with optical amplifiers T Recommendation G.691. ITU 5. Fibre optic communication system. 2006.

ОСОБЕННОСТИ СОВМЕСТИМОГО ПОВЕДЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПЕРЕДАЮЩИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОДНОМОДОВЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

В статье проводится анализ особенностей совместимого поведения спектральных зависимостей передающих характеристик одномодовых оптических волокон и его применения в задаче синтеза оптических волокон с улучшенными характеристиками методом многофакторного перебора параметров.

Ключевые слова: волоконно-оптический линейный тракт, передающие характеристики, синтез ОВ, многофакторный перебор параметров, коэффициенты Селмейера.

FEATURES OF JOINT MOVEMENT OF SPECTRAL CONTRIBUTION OF THE TRANSITION SPECIFICATION OF ONE-MOVED OPTICAL FIBERS

In the article an analysis of the singularities of the joint behavior of the spectral dependences of the transmitting characteristics of single-mode optical fibers and its application in the problem of synthesis of the optical fibers with improved characteristics is carried out by the method of multivariable parameter checking.

Key words: fiber-optic linear path, transmitting characteristics, synthesis of OV, multifactor parsing, Selmeyer coefficients.

ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

УДК 004.925.86+621.51.003.13

Борисенко В.Д.

Миколаївський національний університет імені В.О. Сухомлинського

Устенко І.В.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Кузьма К.Т.

Миколаївський національний університет імені В.О. Сухомлинського

УЗГОДЖЕННЯ ОБВОДІВ СПИНКИ Й КОРИТЦЯ ПРОФІЛІВ ЛОПАТОК ОСЬОВИХ КОМПРЕСОРІВ ІЗ ВХІДНИМИ ТА ВИХІДНИМИ КРОМКАМИ

Робота присвячена вдосконаленню геометрії профілів лопаток осьових компресорів у місцях переходу їх вхідних і вихідних кромок до обводів спинки й коритця. Задача розв'язується шляхом знаходження числовим методом точок стикування кіл вхідних і вихідних кромок зі сплайнами Анселона-Лорана, якими подаються сукупності точок, розташованих на обводах спинки й коритця профілю.

Ключові слова: осьовий компресор, узгодження, вхідна та вихідна кромки, спинка, коритце.

Постановка проблеми. Проектування та виготовлення газотурбінних двигунів є складною науково-технічною проблемою. Одним із основних компонентів цих двигунів є осьові компресори – газодинамічні машини, призначені для стискування повітря, яке відбувається за умови, що рух повітря має дифузійний характер. У зв'язку з цим компресори дуже чутливі навіть до незначних огріхів, які можуть мати місце в геометрії їх профілів. На підприємствах, які проектують і виготовляють компресори, напрацьовані певні підходи до геометричного моделювання профілів робочих і напрямних лопаток. Упровадження у виробництво сучасного технологічного устаткування висуває певні вимоги до якості подання профілів лопаток. Те, на що раніше майже не звертали увагу, з появою високошвидкісних п'ятикоординатних обробних центрів поставило перед проектантами певні проблемні питання. Передусім це стосується узгодження вхідних і вихідних кромок профілів, які описуються дугами кіл, з обводами спинки й коритця та, зокрема, визначення так званих лімітаційних точок, де саме й відбувається стикування дуг кіл вхідної та вихідної кромки зі спинкою й коритцем профілю.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасній літературі з прикладної геометрії можна знайти достатньо різноманітних, ефективних методів геометричного моделювання плоских і просторових кривих [5; 7]. При цьому застосовуються явні, неявні, параметричні форми подання кривих, у тому числі в натуральній параметризації [2]. У роботі [1] зроблена спроба розв'язати подібну задачу, але, як з'ясувалося пізніше, безпосередньо між вхідною кромкою та обводом спинки була ділянка прямолінійної форми. Це з'ясувалося в результаті розрахунку течії робочої речовини в решітці профілів. Епюра розподілу швидкості по профілю біля вхідної кромки мала незадовільний характер. Засобами OpenGL вдалося подивитися на вхідну ділянку профілю під час багатократного її збільшення. Це послугувало підставою для розроблення нового методу узгодження вхідної та вихідної кромки з обводами спинки й коритця.

Отже, на перший погляд поставлена мета роботи є досить простою. У дійсності довелося витратити певні зусилля на розв'язання доволі складного й водночас важливого питання.

Постановка завдання. Метою статті є розроблення методу вдосконалення профілів лопаток осьових компресорів, обводи яких подаються сукуп-

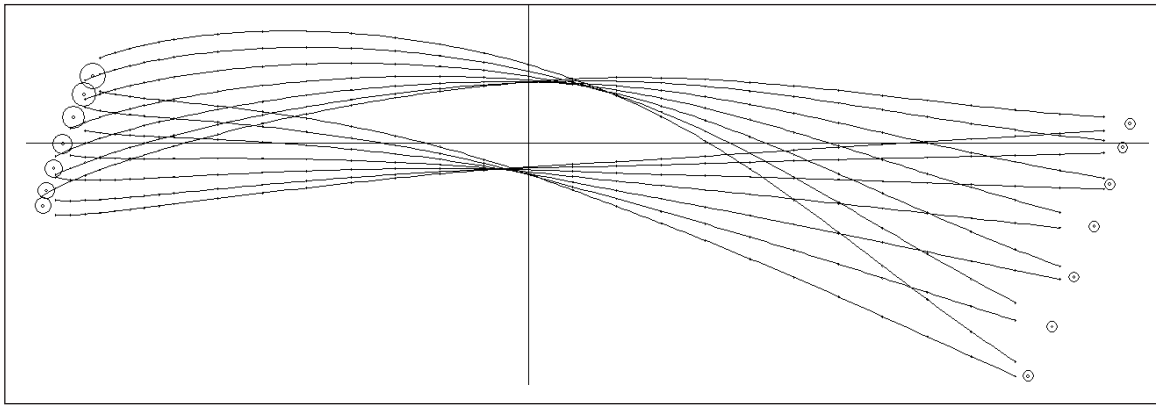


Рис. 1. Вихідні профілі плоских перерізів лопатки компресора

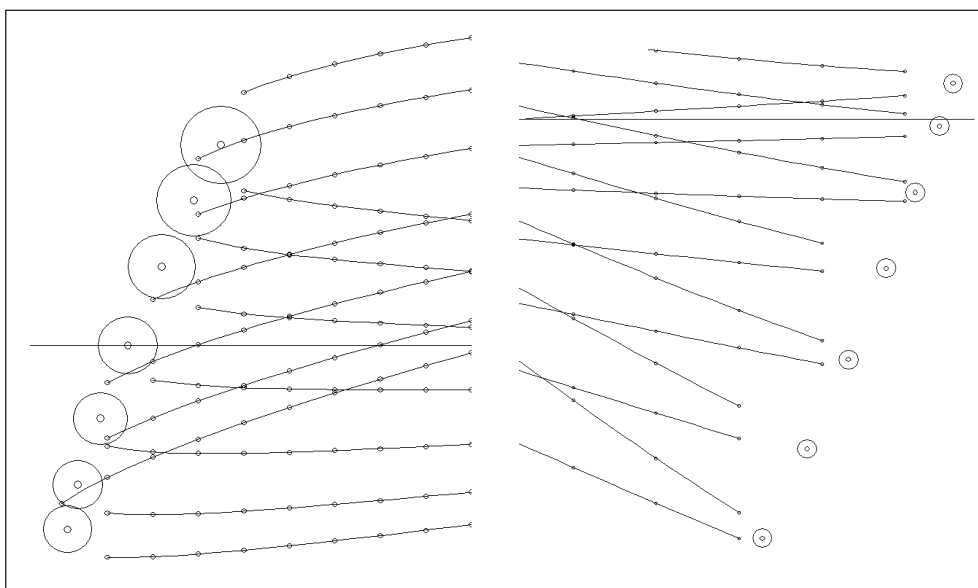


Рис. 2. Вхідні та вихідні ділянки профілів

ністю дискретних точок, аналітичне доведення цих обводів до дуг кіл вхідних і вихідних кромок, визначення так званих лімітаційних точок, необхідних під час виготовлення лопаток осьових компресорів на сучасному технологічному устаткуванні.

Виклад основного матеріалу дослідження. Формування просторової лопатки осьового компресора відбувається шляхом розподілу по висоті проточної частини певної сукупності профілів плоских перерізів. Профілі цих перерізів задаються в головній координатній системі, зв'язаній з кореневим перерізом лопатки. Початок координатної системи знаходиться в центрі ваги перерізу. Профілі всіх вищерозташованих перерізів визначаються в координатній системі кореневого перерізу лопатки (рис. 1).

З одного боку, це зручно, адже точки, які визначають обводи профілів, мають однакові абсциси.

Але, з іншого боку, це призводить до ситуації, коли прикінцеві точки не закінчуються на колах вхідних і вихідних кромок, а це є неприпустимим під час оброблення лопаток на сучасному технологічному обладнанні, яке висуває підвищені вимоги до якості геометричного моделювання профілів поперечних перерізів лопаток компресорів.

Це проявилось насамперед у посиленні вимог до точності узгодження вхідних і вихідних кромок з обводами спинки й коритця, знаходженні точних значень координат лімітаційних точок, загущенні точок на вхідній і вихідній кромках, забезпеченні плавності проходження вектора, нормального до поверхні пера лопатки, як уздовж обводів профілів, так і по висоті лопатки.

Задоволення цих вимог має виконуватися та реалізовуватися на базі відповідного математичного апарату, який допускає надійну реалізацію

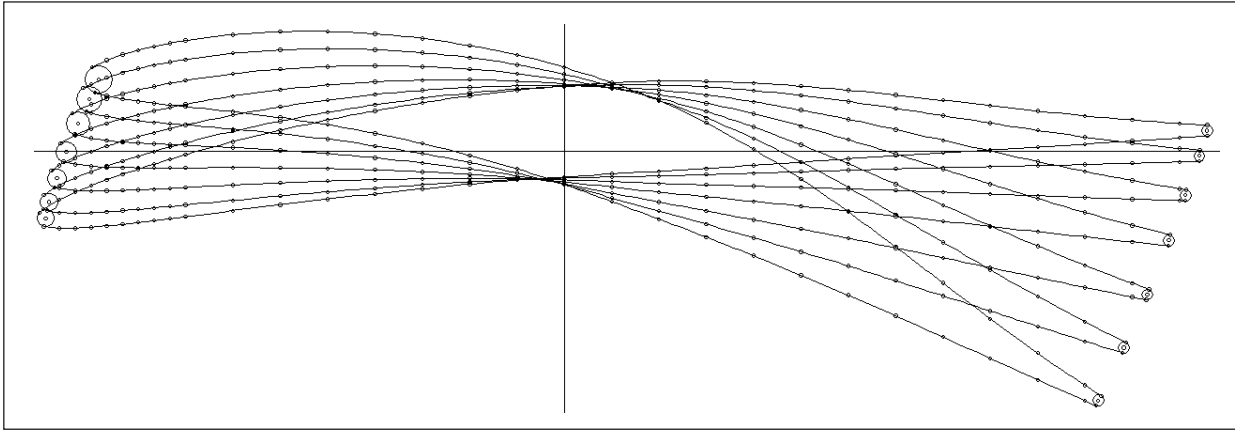


Рис. 3. Удосконалені профілі плоских перерізів лопатки осевого компресора

на комп'ютері завдяки застосуванню стійких числових обчислювальних процесів.

Сукупність із семи профілів, розташованих у центральній координатній системі кореневого перерізу, показана на рис. 1. На рис. 2 у збільшеному масштабі показані ділянки профілів лопатки в місцях розташування вхідних і вихідних кромки, які описуються дугами кіл.

Візуалізація профілів показала, що існують деякі огріхи подання кривих обводів, особливо в місцях їх спряження з вхідними та вихідними кромками.

Отже, виникають задачі, пов'язані з удосконаленням геометрії профілів лопаток осевих компресорів, зі згладжуванням вихідних даних обводів спинки й коритця, заданих дискретною сукупністю точок, і забезпеченням їх сполучення з дугами кіл, які описують вхідні та вихідні кромки плоских перерізів лопаток осевих компресорів.

Для згладжування координат точок обводів профілю застосовуються інтерполяційно-апроксимаційні сплайни, отримані з використанням алгоритму Анселона-Лорана, основні положення якого викладені в джерелах [3; 4; 8]. У роботі застосовується сплайн непарного степеня.

Під час побудови інтерполяційного сплайну $L(x)$ розв'язується задача, яка визначається такими умовами [3]:

$$L(x_i) = y_i, \quad i = 1, \dots, N;$$

$$\int_{x_1}^{x_N} \left(\frac{d^p L}{dx^p} \right)^2 dx = \min,$$

а під час побудови апроксимаційного сплайну $L_\alpha(x)$ – задача, яка відповідає умовам мінімуму відхилень від вихідних точок:

$$\alpha \int_{x_1}^{x_N} \left(\frac{d^p L_\alpha}{dx^p} \right)^2 dx + \sum_{i=1}^N [L_\alpha(x_i) - y_i]^2 = \min,$$

де N – кількість точок x_i, y_i , які необхідно згладити; p – параметр, який керує степенем сплайну ($2p - 1$); a – параметр згладжування.

Для одержання поліноміального подання серії сплайн-функцій на інтервалі $[x_j, x_{j+1}]$ використовується залежність, яка включає до себе коефіцієнти розкладу сплайну:

$$L_j(x) = \sum_{k=0}^{2p-1} A_j^{(k)} \frac{(x - x_j)^k}{k!}, \quad j = 1, \dots, N - 1,$$

де j – номер відрізка інтервалу;

$A_j^{(k)}$ – коефіцієнти розкладу сплайну на j -му відрізку.

На базі алгоритму Анселона-Лорана розроблено підпрограму побудови інтерполяційних та апроксимаційних сплайнів.

Поставлена задача розв'язується так. Для деякої точки A плоского перерізу профілю визначаються її координати за умови, що відомий кут ϕ , який вимірюється від горизонтальної осі в напрямку протилежному руху годинникової стрілки:

$$x_A = x_{O_i} - r_i \cos \phi;$$

$$y_A = y_{O_i} + r_i \sin \phi,$$

де O_i – центр кола вхідної кромки i -го перерізу; r_i – радіус кола вхідної кромки i -го перерізу.

У цій самій точці визначається кут нахилу дотичної ψ , який дорівнює $\psi = \pi/2 - \phi$.

Координати точки A додаються до масиву координат точок, якими задається обвід спинки профілю. За новим масивом координат будується сплайн Анселона-Лорана. За бажанням користувача можна будувати інтерполяційний або апроксимаційний сплайн. Вибір типу сплайну залежить від необхідності згладжування координат вихідних точок профілю.

Кут нахилу дотичної до сплайну в точці A дорівнює:

$$\beta = \arctg L'_\alpha(x_A).$$

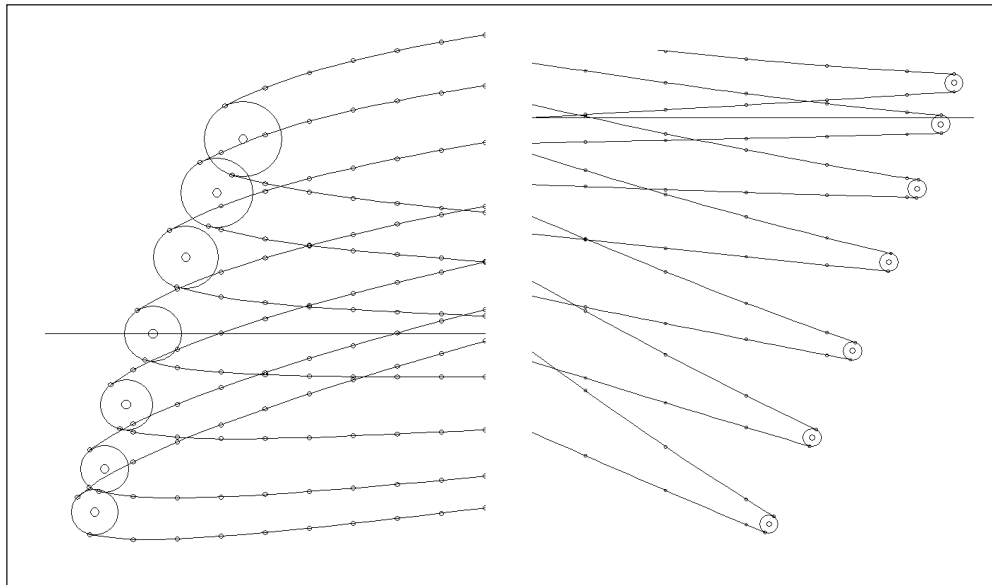


Рис. 4. Удосконалені вхідні та вихідні ділянки профілів

Отриманий кут β порівнюється з кутом ψ . Якщо різниця цих кутів перевищує наперед задану точність розрахунків, то береться нове значення кута ϕ . Для надання процесу вибору кута ϕ упорядкованого характеру застосовано вискоефективний алгоритм розв'язання трансцендентних рівнянь, запропонований у роботі [6]. Цей алгоритм сполучає безвідмовність бісекції з асимптотичною швидкістю методу січних.

Узгодження вхідної кромки профілю з коритцем виконується аналогічним чином. Висловлене також стосується й узгодження вихідної кромки зі спинкою й коритцем профілю.

На рис. 3 показані профілі компресорної лопатки, вхідні та вихідні ділянки яких узгоджені з обводами спинки й коритця профілів. З розгляду рисунку випливає, що вказані обводи доведені до кіл кромки із явним визначенням лімітаційних точок.

На рис. 4 у збільшеному масштабі показані вхідні та вихідні ділянки профілів лопатки, що розглядається, отримані після проведення зазначених вище заходів. Порівнюючи данні, наведені на рис. 2 і 4, можна відмітити якісне покращення профілів, що, як відмічалось вище, матиме позитивний вплив на виготовлення лопаток компресорів на високошвидкісних обробних центрах.

Для більш наочного підтвердження працездатності запропонованого методу вдосконалення профілів компресорних лопаток на рис. 5 показано вхідну ділянку профілю кореневого перерізу. На цьому рисунку чітко видно лімітаційну точку 1, а сама ділянка 12 має криволінійний характер,

вона плавно переходить у коло вхідної кромки профілю.

Зазначимо, що узгодження обводів спинки й коритця профілю з вхідними та вихідними кромками виконано із застосуванням спеціально розробленого комп'ютерного коду. Усі рисунки є скриншотами цього коду.

Висновки. Запропонований метод узгодження кіл вхідної та вихідної кромки профілів зі згладженими обводами спинки й коритця підтвердив свою працездатність і дав змогу ліквідувати огріхи в завданні обводів профілів лопаток осьових компресорів, що доводиться виконаними розрахунками й отриманими графічними результатами.

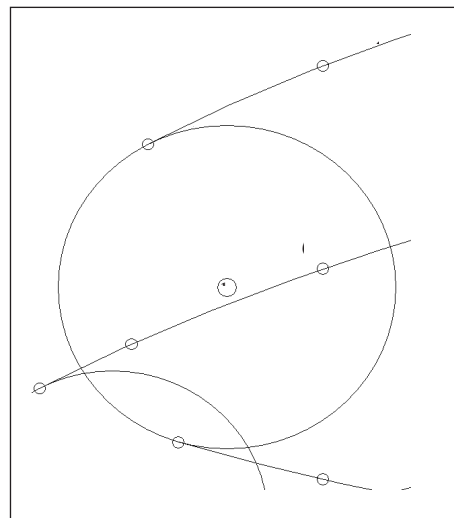


Рис. 5. Вхідна ділянка профілю кореневого перерізу лопатки

Список літератури:

1. Борисенко В.Д., Устенко С.А., Спіцин В.А. Удосконалення геометрії профілів лопаток осевих компресорів. *Сборник научных трудов: межведомственный научно-технический сборник*. Спецвыпуск. Киев: Випол, 2004. С. 49–54.
2. Борисенко В.Д., Устенко С.А., Устенко І.В. Геометричне моделювання кривих ліній і поверхонь у натуральній параметризації. Миколаїв: МНУ, 2018. 220 с.
3. Василенко В.А. Сплайн-функции: теория, алгоритмы, программы. Новосибирск: Наука, 1983. 214 с.
4. Лоран П.Ж. Аппроксимация и оптимизация. Москва: Мир, 1975. 496 с.
5. Савелов А.А. Плоские кривые. Москва: Государственное издательство физико-математической литературы, 1960. 294 с.
6. Форсайт Дж., Малькольм М., Моулер К. Машинные методы математических вычислений. Москва: Мир, 1980. 279 с.
7. Шикин Е.В., Каменецкий М.М. Кривые на плоскости и в пространстве. Москва: Фазис, 1997. 325 с.
8. Laurent P.J., Anselone P.M. A general method for construction of interpolating or smoothing spline-functions. M.R.C. Technical Report 834. University of Wisconsin, 1967, Numerical Mathematics, 12 (1968). P. 66–82.

СОГЛАСОВАНИЕ ОБВОДОВ СПИНКИ И КОРЫТЦА ПРОФИЛЕЙ ЛОПАТОК ОСЕВЫХ КОМПРЕССОРОВ С ВХОДНЫМИ И ВЫХОДНЫМИ КРОМКАМИ

Работа посвящена совершенствованию геометрии профилей лопаток осевых компрессоров в местах перехода их входных и выходных кромок к обводам спинки и корытца. Задача решается путем нахождения численным методом точек стыковки окружностей входных и выходных кромок со сплайнами Анселона-Лорана, которыми описываются совокупности точек, расположенных на обводах спинки и корытца профиля.

Ключевые слова: осевой компрессор, согласование, входная и выходная кромки, спинка, корытце.

MATCHING OF THE PRESSURE AND SUCTION PROFILES OF AXIAL FLOW COMPRESSORS BLADE WITH LEADING AND TRAILING EDGES

The work is devoted to improving the geometry of the profiles of axial compressor blades at the points of transition of their leading and trailing edges to the pressure and suction contours. The problem is solved by finding the joining points of the circles of the leading and trailing edges with Anselon-Laurent splines, which describe the sets of points located on the pressure and suction contours of the profile.

Key words: axial flow compressor, matching, leading and trailing edges, pressure and suction profiles.

УДК 004.75

Гіоргізова-Гай В.Ш.Національний технічний університет України
«Київський політехнічний Інститут імені Ігоря Сікорського»**Шеренковський А.О.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний Інститут імені Ігоря Сікорського»**ШЛЮЗ У СИСТЕМІ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ**

У статті на основі аналізу еталонних моделей від найбільш впливових організацій, які займаються стандартизацією архітектури Інтернету речей (англ. Internet of Things, IoT), і пропозицій від лідерів ринку IoT виділено перелік основних функцій і характеристик шлюзів IoT і запропоновано критерії їх класифікації та порівняння. Запропоновані критерії покликані допомогти розробникам IoT-систем вибирати шлюзи необхідної функціональності й технічних характеристик за пропозиціями численних постачальників.

Ключові слова: шлюзи IoT, Інтернет речей, моделі архітектури IoT, критерії порівняння, туманні обчислення.

Постановка проблеми. Ринок Інтернету речей розглядається аналітиками як найбільш перспективний у найближчому десятилітті. Прогнозований загальний економічний ефект IoT вимірюється трильйонами доларів США [1]. Тому сьогодні велика кількість виробників пропонує компоненти для IoT рішень, серед яких важливе місце посідають шлюзи. При цьому функції шлюзів і їх призначення в різних IoT проектах суттєво відрізняються.

Загалом шлюзи IoT являють собою мережеве обладнання, яке знаходиться на кордоні між ОТ (англ. Operational Technology) – апаратно-програмними комплексами для контролю й управління фізичними процесами, та ІТ (англ. Information Technology) – системами й мережами для створення, обробки, зберігання, забезпечення безпеки й обміну будь-якими формами електронних даних. Але, на відміну від більш звичних для ОТ та ІТ компонентів (датчики, контролери, модеми, маршрутизатори, протоколи каналів зв'язку, IoT-платформи), аналітичні огляди для шлюзів практично відсутні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зараз стандартизацією архітектури IoT займається багато організацій. Серед найбільш впливових можна виділити такі:

Міжнародний союз електрозв'язку – сектор стандартизації в галузі телекомунікацій (англ. International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector, ITU-T).

Всесвітній форум IoT (англ. IoT World Forum, IWF) – щорічна міжнародна конференція з Інтер-

нету речей, що спонсорується галуззю та об'єднує представників бізнесу, державних структур, провідних академічних закладів і провідних експертів галузі, таких як IBM, Intel, Cisco, Samsung тощо з метою просування IoT на ринок.

Національний інститут стандартів і технологій США (англ. The National Institute of Standards and Technology, NIST).

Консорціум індустріального Інтернету (англ. Industrial Internet Consortium, ІІС) – некомерційна група з відкритим членством, організована компаніями AT&T, Cisco, General Electric, IBM та Intel, що прагне усунути бар'єри між різними технологіями, забезпечити максимальний доступ до великих даних і вдосконалити інтеграцію фізичного й цифрового середовища.

Еталонна модель IoT від ITU-T. Еталонна модель IoT від Міжнародного союзу електрозв'язку (ITU-T) описана в Рекомендації Y.2060 [6, с. 6]. На відміну від більшості інших еталонних та архітектурних моделей, описаних у літературі, модель ITU-T деталізує фактичні фізичні компоненти екосистеми IoT, зосереджуючи увагу на тих елементах екосистеми IoT, які повинні бути з'єднані, інтегровані, керовані та надані додаткам. Детальна специфікація екосистеми описує вимоги до можливостей IoT.

На рис. 1 зображена еталонна модель IoT від ITU-T, що складається з чотирьох рівнів плюс можливість управління й безпеки, які діють між рівнями.

Рівень додатку складається з усіх додатків, що взаємодіють з IoT-пристроями.



Рис. 1. Еталона модель IoT за рекомендацією Y.2060

Рівень підтримки послуг і підтримки додатків дає можливості, які використовуються додатками. До прикладів належить спільне опрацювання даних та управління БД.

Рівень мережі виконує дві базові функції. Можливості мережі належать до взаємодії пристроїв і шлюзів. Транспортні можливості належать до транспорту інформації служб і додатків IoT, а також інформації управління й контролю IoT.

Рівень пристроїв включає в себе різноманітні пристрої, оснащені датчиками, і підтримує широкий спектр бездротових і дротових технологій передачі даних і мережевих протоколів. Можливості обробки даних у таких пристроїв, як правило, обмежені. До цього ж рівня належать і шлюзи, які з'єднують пристрої з мережами зв'язку. Шлюзи виконують необхідну трансляцію між протоколами, що використовуються в мережах зв'язку і пристроях.

Рівень можливостей управління охоплює функції управління пристроями та мережею, тобто управління несправностями, управління конфігурацією, управління обліком, управління показниками роботи й управління безпекою.

Рівень можливостей безпеки включає загальні можливості забезпечення безпеки, які не залежать від додатків.

За рекомендацією Y.2060 пристрої можуть спілкуватись між собою декількома шляхами.

Перша можливість – зв'язок між пристроями через шлюз. Наприклад, за допомогою шлюзу пристрій із підтримкою Bluetooth може здійснювати зв'язок із пристроєм збирання даних або пристроєм загального призначення, що використовують Wi-Fi. Друга можливість – зв'язок по мережі зв'язку без шлюзу. Наприклад, якщо всі пристрої підтримують Bluetooth, вони можуть управлятися з комп'ютера, планшета або смартфона з підтримкою Bluetooth. Третя можливість – прямий зв'язок пристроїв між собою через окрему локальну мережу, тоді як зв'язок із зовнішньою мережею здійснюється через шлюз LAN.

Рекомендація Y.2067 [7, с. 5] закріплює вимоги до шлюзів IoT, які зазвичай розпадаються на три категорії:

Шлюз підтримує різні технології доступу до пристроїв, даючи пристроям змогу обмінюватися даними один із одним і з мережею Інтернет або корпоративною мережею, що містить додатки IoT. Такі схеми доступу можуть, наприклад, включати ZigBee, Bluetooth і Wi-Fi тощо.

Шлюз підтримує необхідні мережеві технології як для локальних, так і для глобальних мереж. Ці технології можуть включати в себе Ethernet і Wi-Fi на території організації, а також стільниковий зв'язок, Ethernet, xDSL і кабельний доступ до Інтернету і глобальних корпоративних мереж.

Шлюз підтримує взаємодію з додатками, управління мережею й функції безпеки.



Рис. 2. Еталона модель Всесвітнього форуму IoT

Дві перші вимоги включають у себе трансляцію протоколів між різними мережевими технологіями і стеками протоколів. Третя вимога зазвичай називається функцією IoT-агента. По суті, IoT-агент надає функціональність високого рівня від імені IoT-пристроїв, таку як організація або резюмування даних із декількох пристроїв для передачі в IoT-додатки, забезпечення протоколів і функцій безпеки та взаємодія із системами управління мережею.

Еталонна модель Всесвітнього форуму IoT. Комітет з архітектури Всесвітнього форуму IoT, що складається з лідерів індустрії, включаючи IBM, Intel та Cisco, в жовтні 2014 року опублікував еталонну модель IoT. Ця еталонна модель є корисним доповненням до моделі ITU-T. Якщо документи ITU-T основну увагу приділяють рівням пристрою та шлюзу й описують верхні рівні лише в загальних рисах, то IWF стурбований більш масштабним питанням розроблення додатків, проміжного програмного забезпечення й функцій підтримки для корпоративного Інтернету речей.

IWF вважає еталонну модель IoT прийнятною в галузі базовою структурою, спрямованою на стандартизацію концепцій і термінології, визначення необхідного функціоналу та проблем, які потребують вирішення до того, як галузь зможе реалізувати цінність IoT.

Запропонована семирівнева модель IWF зображена на рис. 2 й добре описана у праці [8].

Рівень 1 утворюють фізичні пристрої та контролери, які можуть керувати кількома пристроями. Рівень 1 моделі IWF приблизно відповідає рівню пристрою в моделі ITU-T (рис. 1).

Рівень 2 моделі IWF приблизно відповідає рівню мережі в моделі ITU-T. Основна відмін-

ність у тому, що модель IWF зараховує шлюзи до рівня 2, тоді як у моделі ITU-T вони належать до рівня 1. Оскільки шлюз є мережовим пристроєм і пристроєм зв'язку, зарахування його до рівня 2 виглядає більш логічним.

З логічного погляду цей рівень реалізує зв'язок пристроїв між собою та між пристроями й низькорівневою обробкою на рівні 3. З фізичного погляду цей рівень складається з мережових пристроїв, таких як маршрутизатори, комутатори, шлюзи і брандмауери, що використовуються для створення локальних і глобальних мереж і підключення до Інтернету. Цей рівень дає пристроям змогу здійснювати зв'язок один із одним і за допомогою більш високих логічних рівнів обмінюватися даними з прикладними платформами, такими як комп'ютери, пристрої дистанційного управління і смартфони.

Рівень 3 описує первинну обробку даних на рівні периферійних обчислень, які іноді називається туманними обчисленнями (Fog Computing) [2]. Туманні обчислення й туманні служби, як очікується, стануть відмінною характеристикою IoT. Туманні обчислення представляють у сучасних мережових технологіях тренд, протилежний хмарним обчисленням. У туманних обчисленнях велике число окремих інтелектуальних об'єктів здійснює зв'язок із туманними мережевими структурами, які здійснюють обчислення і зберігають ресурси поряд із периферійними пристроями в IoT. Туманні обчислення вирішують проблеми, що виникли внаслідок діяльності тисяч або мільйонів «розумних» пристроїв, включаючи проблеми безпеки, конфіденційності, обмежених можливостей мережі й затримки. Термін «туманні обчислення» обраний тому, що туман стелиться по землі, тоді як хмари знаходяться високо в небі.

Рівень 4 – рівень накопичення даних. Дані, що надійшли з різних пристроїв, профільтовані й оброблені рівнем периферійних обчислень, поміщаються в сховище, де будуть доступні для більш високих рівнів. Ще один погляд на рівень накопичення даних полягає в тому, що він є кордоном між інформаційними технологіями (ІТ) та операційними технологіями (ОТ).

Рівень 5 займається перетворенням накопичених даних. Основними операціями, що виконуються на цьому рівні, є такі:

- перетворення «даних у русі» в «дані у спокої»;
 - перетворення формату з мережевих пакетів у реляційні таблиці БД;
 - перехід від обчислень за подіями до обчислень за запитом;
- значне зниження обсягу даних за рахунок фільтрації й вибіркового зберігання.

Рівень 6 містить додатки будь-якого типу, що використовують дані IoT на вході або керують IoT-пристроями. Як правило, додатки взаємодіють із рівнем 5 і з «даними у спокої», тому їм не обов'язково функціонувати на швидкостях мережі.

Рівень 7 з'явився в результаті визнання того факту, що IoT буде корисний лише тоді, коли з ним зможуть взаємодіяти люди. Цей рівень може включати кілька додатків та обмін даними й/або керуючою інформацією по Інтернету чи корпоративній мережі.

Треба підкреслити, що модель передбачає також спрощений режим роботи системи IoT, який дає можливість додаткам оминати проміжні рівні й безпосередньо взаємодіяти з рівнем 3 або навіть із рівнем 2. У такому випадку логічно дати шлюзам можливість здійснювати також і функції периферійних/туманних обчислень. Компанія Cisco, яка бере активну участь в IWF, явно позиціонує свої шлюзи як пристрої, що проводять аналітику даних і реагують на події.

Еталонні моделі NIST та ІІС. Якщо МСЕ-Т і IWF намагаються надати всеохоплюючі моделі IoT з урахуванням перспектив його розвитку, то моделі Національного інституту стандартів і технології США [3, с. 22; 4, с. 2] та консорціуму індустріального Інтернету [5, с. 38] можна розглядати як певне спрощення й деталізацію попередніх для конкретного застосування.

Модель ІІС для шлюзів виділяє функції аналітики краю, що по факту є додаванням до можливостей шлюзу рівня туманних обчислень із моделі IWF. У моделі NIST шлюз одразу називається агрегатором і належить до апаратного забезпечення, що займається дослідженням даних від

датчиків. Його визначають як певний сервер, що знаходиться в безпосередній близькості до речей.

Усі розглянуті еталонні моделі віддають шлюзу функції створення локальних мереж для підключення неінтелектуальних пристроїв та узгодження протоколів під час взаємодії між ОТ та ІТ. Мережа пристроїв може мати як стандартний TCP/IP стек протоколів і бути реалізована за допомогою Wi-Fi мережі або дротового підключення, так і бути не IP мережею та підключати датчики за допомогою таких технологій, як Bluetooth, ZigBee або 6LoWPAN тощо. Усі моделі, крім ІТУ, визначають для шлюзів функції безпеки й управління на рівні пристроїв і мережі, модель ІТУ – тільки на рівні пристроїв. Також усі організації зі стандартизації, окрім ІТУ, надають шлюзам ще й функції аналітики краю між ОТ та ІТ.

Аналіз пропозицій ринку IoT. Як можна побачити з огляду пропозицій [9–16], лідери ринку IoT Intel, Hewlett Packard, Cisco, Dell Technologies, а також компанії, які на цьому ринку недавно, – Huawei, NEXCOM, Monnit, Davra Networks тощо, підтримують увесь спектр перерахованих функцій. Усі з розглянутих виробників пропонують як універсальні шлюзи для використання в різних галузях промисловості, так і рішення для окремих вертикалей ринку. Лінійки шлюзів, що пропонуються, включають як малопотужні енергоефективні моделі для «легких» економних проєктів, наприклад, NEXCOM, молодші моделі Dell та Intel, так і промислові моделі, спрямовані на аналітику та зберігання великих об'ємів даних, найяскравішим представником останніх є конвергентні системи Hewlett Packard. Серйозні постачальники наділяють свої шлюзи ПЗ для інтеграції у власні (Eurotech, Davra Networks) або сторонні хмарні платформи, наділяють шлюзи власними платформами й ПЗ для захисту й управління пристроями та мережею (Hewlett Packard, Cisco, Dell, Huawei) або підтримують рішення від сторонніх компаній. Деякі виробники (Hewlett Packard, Cisco, Huawei) пропонують власні рішення для аналітики, обробки, зберігання й візуалізації великих обсягів даних, інші – забезпечують програмно-апаратні платформи для сторонніх рішень, що вже зарекомендували себе на ринку IoT.

Постановка завдання. Для спрощення вибору шлюзів від численних виробників під час проєктування IoT-систем необхідна систематизація їх функцій, формування критеріїв їх класифікації та порівняння.

Виклад основного матеріалу дослідження. Узагальнюючи аналіз еталонних моделей IoT, можна

виділити перелік наведених нижче функцій і характеристик шлюзів. Важливо підкреслити, що сьогодні більшість виробників особливо в старших моделях своїх шлюзів забезпечує можливості як первинної обробки даних, до якої зазвичай зараховують обробку подій і прийняття рішень у режимі реального часу, нормалізацію й фільтрацію даних для подальшої передачі на хмарний сервер, так і повноцінну аналітику зі зберіганням і візуалізацією даних.

1. Підтримка первинних і периферійних/туманних обчислень.

У якості критеріїв вибору варто звернути увагу на таке:

Підтримка шлюзом надійної спеціалізованої ОС (наприклад, від Wind River, Cisco, Microsoft).

Наявність у фірми розробника шлюзу готових додатків для обробки даних, якість і можливості цих додатків, а також можливість підтримки їх цією моделлю шлюзу.

Наявність у фірми розробника платформ для розроблення замовником власного додатку зі зручними інтерфейсами прикладного програмування (API) та комплектами розробки ПЗ.

Можливості вибору ОС, мов і засобів програмування для реалізації власного додатка забезпечують адаптацію до потреб проекту.

2. Підтримка необхідних технологій доступу до пристроїв для обміну даними між ними та з корпоративними або хмарними додатками IoT. Тут відображаються можливості збирання даних із різних джерел, їх інтеграції, уніфікації представлення протоколів і форматів даних. У цьому пункті варто звернути увагу на таке:

Максимальна кількість пристроїв, із якими може взаємодіяти шлюз.

Перелік інтерфейсів із пристроями, в який можуть входити як сучасні протоколи дротових і бездротових мереж (Ethernet, Wi-Fi, Zigbee, 6LoWPAN, Bluetooth Low Energy тощо), так й успадковані протоколи (BACNet, Modbus і CANbus тощо).

Перелік інтерфейсів із зовнішнім сервером додатків, у який можуть входити протоколи дротових і бездротових мереж: Ethernet, Wi-Fi, протоколи стільникового зв'язку тощо.

Підтримка GPS разом зі стільниковим зв'язком забезпечить ефективну роботи з мобільними об'єктами з географічною прив'язкою, наприклад, транспортом.

Наявність хорошого інтерфейсного профілю, заснованого на реалізації універсального самоналаштування (англ. Universal Plug and Play, UPnP), що визначає протокол для взаємодії з різними пристроями.

3. Функції маршрутизатора. Оскільки шлюз є вузлом стандартної IP мережі під час взаємодії із сервером обробки даних, то він зобов'язаний підтримувати мінімальні функції маршрутизатора. Водночас низка виробників (наприклад, Cisco, Intel, Huawei) позиціонує деякі моделі своїх шлюзів як повноцінні багатопортові маршрутизатори. У цьому випадку можна виділити такі можливості:

Підтримка маршрутизації між декількома провідними чи Wi-Fi локальними IoT мережами.

Підтримка поширених функцій IP маршрутизаторів – протоколів маршрутизації, DHCP, таблиць доступу, міжмережових екранів тощо.

4. Функції управління кінцевими пристроями мережею й додатками.

Управління пристроями включає можливості їх виявлення й аутентифікації, конфігурацію, діагностику, оновлення прошивки та/або ПЗ, управління робочим статусом пристрою.

Управління мережею включає можливості управління її моніторингом і конфігурацією, виявлення й керування перевантаженнями, керування трафіком, вимогами QoS.

Управління додатками включає можливості керування їх установленням і видаленням, виконанням оновлень, резервним копіюванням, відстеженням та усуненням несправностей.

5. Функції безпеки пристроїв, мережі й додатків. Як підкреслюється всіма без винятку авторами, ці функції для IoT є життєво важливими.

Захист на рівні ПЗ включає авторизацію, аутентифікацію, конфіденційність і цілісність даних програми, захист недоторканності приватного життя, аудит безпеки й антивірусний захист.

Захист на рівні мережі включає авторизацію, аутентифікацію, конфіденційність даних, конфіденційність і цілісність даних сигналізації.

Захист на рівні пристрою включає аутентифікацію, авторизацію, перевірку цілісності пристрою, управління доступом, захист конфіденційності й цілісності даних.

Функції управління й безпеки всі крупні вендори забезпечують засобами власних платформ, власних ОС, таких як Wind River Linux, Windows 10 IoT, Cisco IOS, додатковими апаратними засобами (Dell, Cisco), власними пакетами ПЗ, а також підтримкою стандартних рішень і сертифікованих рішень від сторонніх компаній.

6. Інші характеристики.

У рамках подібної функціональності шлюзи можуть відрізнятися технічними характеристиками, серед яких можна виділити такі:

Обчислювальна потужність, об'єми пам'яті і її типи, що важливо врахувати під час планування реалізації на шлюзі додатків.

Форм фактор – компактність і форма конструктивного виконання, що важливо врахувати під час планування місця розташування шлюзу.

Умови експлуатації. Одні пристрої придатні лише для роботи у звичайних приміщеннях, інші – розраховані на роботу в широкому діапазоні температур, в умовах підвищеної вологості, запиленості.

Варто також звернути увагу на те, що ринок послуг і пристроїв IoT зазвичай поділяють на два великі сегменти: *промисловий* і *споживчий*, які відрізняються вимогами до ціни, надійності, безпеки, потужності, масштабованості. У цих рамках вендори можуть надавати як універсальні пристрої, так і пристрої для конкретних вертикалей ринку в складі комплексних рішень. Більшість виробників орієнтуються на промисловий ринок, хоча молодші моделі їхніх рішень, наприклад,

Intel, Dell, цілком підходять для простих економічних рішень, а продукція таких компаній, як Google чи Samsung, передусім орієнтована на споживчий ринок.

Висновки. Моделі архітектури IoT корисні як для постачальників, що розробляють функціональні елементи всередині моделі, так і для замовників, допомагаючи їм виробляти свої вимоги й оцінювати пропозиції постачальників. Розглянуті моделі визначають основні функції шлюзів і їх місце в екосистемі IoT.

Сьогодні на ринку IoT присутня велика кількість визнаних і менш відомих виробників, також щороку з'являються нові. Різні виробники пропонують як окремі моделі, так цілі модельні ряди шлюзів, які загалом охоплюють увесь спектр перерахованих функцій. Тому гадаємо, що запропоновані критерії класифікації та порівняння допоможуть розробникам IoT проектів вибирати шлюзи необхідної функціональності й технічних характеристик за пропозиціями різних постачальників.

Список літератури:

1. The Internet of Things: Mapping the Value Beyond the Hype. 2015. *Офіційний сайт McKinsey Global Institute*. URL: http://www.mckinsey.com/insights/business_technology/the_internet_of_things_the_value_of_digitizing_the_physical_world (дата звернення: 17.06.2018).
2. Transformation to a Next Generation IoT. 2015. *Офіційний сайт міжнародного форуму IoT*. URL: <https://www.iotwf.com/resources/108> (дата звернення: 17.06.2018).
3. Voas J., Kuhn R. et al. Internet of Things (IoT) Trust Concerns. NIST Cybersecurity White Paper. October, 2018. URL: <https://csrc.nist.gov/CSRC/media/Publications/white-paper/2018/10/17/iot-trust-concerns/draft/documents/iot-trust-concerns-draft.pdf> (дата звернення: 17.06.2018).
4. Voas J. Networks of Things, NIST Special Publication (SP) 800-183, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, July 2016. URL: <https://www.actiac.org/system/files/NIST%20SP%20800-183.pdf> (дата звернення: 17.06.2018).
5. The Industrial Internet of Things. 2017. *Офіційний сайт консорціуму індустріального Інтернету*. URL: http://www.iiconsortium.org/IIIC_PUB_G1_V1.80_2017-01-31.pdf (дата звернення: 17.06.2018).
6. Recommendation Y.2060. Overview of the Internet of Things. ITU-T, Geneva. June 2012.
7. Recommendation Y.2067. Common Requirements and Capabilities of a Gateway for Internet of Things Applications. ITU-T, Geneva. June 2014.
8. Stallings W. The Internet of Things: Network and Security Architecture, The Internet Protocol Journal Vol. 18, No 4, Desember 2015.
9. Dell змінює економіку Інтернету речей з новими компактними шлюзами Edge Gateway. 2017. *Офіційний сайт компанії Dell*. URL: www.dell.com/learn/ua/ru/uacorp1/press-releases/dell-changing-economy-of-iot-with-new-compact-gateways-edge-gateway (дата звернення: 17.06.2018).
10. Короткий огляд апаратних платформ, типових архітектурних рішень і послуг для корпоративних інформаційних систем. 2018. *Офіційний сайт компанії Hewlett Packard*. URL: <https://h20195.www2.hp.com/v2/GetPDF.aspx/c04771945.pdf> (дата звернення: 17.06.2018).
11. Пятницких А. Облачные технологии в автоматизации: комплексный подход от Eurotech. *Control Engineering Россия*. 10.2016. С. 62. URL: <https://controlengrussia.com/internet-veshhej/eurotech/> (дата звернення: 17.06.2018).
12. Huawei AR Series Agile Gateways Brochures. 2017. *Офіційний сайт компанії Huawei*. URL: http://www.huawei.com/minisite/iot/img/hw_ar_series_agile_gateways_brochure_en.pdf (дата звернення: 17.06.2018).
13. О'Доннелл Л. 15 наиболее продвинутых производителей оборудования Интернета вещей. 2017. URL: <http://www.pcweek.ua/themes/detail.php?ID=155790> (дата звернення: 17.06.2018).

14. IoT Gateway. 2018. *Офіційний сайт компанії NEXCOM*. URL: <http://www.nexcom.com/Products/industrial-computing-solutions/iot-solutions/iot-gateway> (дата звернення: 17.06.2018).
15. Cisco IoT Networking. 2017. *Офіційний сайт компанії Cisco*. URL: <https://www.cisco.com/c/dam/en/us/products/collateral/se/internet-of-things/brochure-c02-734481.pdf> (дата звернення: 17.06.2018).
16. Технологія Intel IoT Gateways. 2018. *Офіційний сайт компанії Intel*. URL: <https://software.intel.com/ru-ru/iot/hardware/gateways> (дата звернення: 17.06.2018).

ШЛЮЗ В СИСТЕМЕ ІНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

В статье на основе анализа эталонных моделей наиболее влиятельных организаций, которые занимаются стандартизацией архитектуры Интернета вещей (англ. Internet of Things, IoT), и предложений лидеров рынка IoT выделен перечень основных функций и характеристик шлюзов IoT, предложены критерии их классификации и сравнения. Критерии призваны помочь разработчикам IoT-систем выбирать шлюзы необходимой функциональности и технических характеристик из предложений многочисленных поставщиков.

Ключевые слова: шлюз IoT, Интернет вещей, модели архитектуры IoT, критерии сравнения, туманные вычисления.

GATEWAY IN THE INTERNET OF THINGS SYSTEM

In the article, based on the analysis of reference models of the most influential organizations that are engaged in standardization of the architecture of the Internet of Things (IoT), and offers from IoT market leaders, a list of the main functions and characteristics of IoT gateways is highlighted, and criteria for their classification and comparison are proposed. The criteria are designed to help IoT system developers choose the gateways of the required functionality and technical characteristics from the offers of numerous vendors.

Key words: IoT gateway, Internet of things, IoT architecture models, comparison criteria, fog computing.

УДК 004.89: 004.9

Говорущенко Т.О.

Хмельницький національний університет

Павлова О.О.

Хмельницький національний університет

Боднар М.А.

Хмельницький національний університет

СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ СЕМАНТИЧНОГО АНАЛІЗУ СПЕЦИФІКАЦІЙ ВИМОГ ДО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

У статті проводиться дослідження сучасних проблем семантичного аналізу специфікацій вимог до програмного забезпечення (ПЗ). Проведене дослідження довело необхідність розроблення інтелектуального агента на основі онтологічного підходу для автоматизації семантичного розбору (парсингу) природомовної специфікації.

Ключові слова: програмне забезпечення (ПЗ), специфікація вимог до програмного забезпечення, семантичний аналіз, розбір (парсинг) специфікацій, інтелектуальний агент.

Постановка проблеми. Практично всі сфери людської діяльності сьогодні пов'язані з комп'ютерними системами, основою яких є програмне забезпечення (далі – ПЗ). Натепер у світі витрачається більше ніж 250 млрд. USD щорічно на розроблення приблизно 175 тис. програмних проєктів [1]. При цьому значна кількість (до 70%) програмних проєктів є неуспішними [1].

Значна кількість помилок уноситься в ПЗ на етапі формування та формулювання вимог унаслідок інформаційних утрат через неповне та різне розуміння потреб і контексту інформації. Такі помилки становлять 10–23% всіх помилок, причому чим більший обсяг ПЗ, тим більше помилок уноситься саме на цьому етапі [2, с. 637]. У роботах [3; 4] підтверджується факт, що причини майже всіх інцидентів і катастроф, пов'язаних із ПЗ, містяться саме у специфікації вимог до ПЗ. У праці [4] описано результати експерименту, проведеного для підтвердження гіпотези, що збої та помилки ПЗ, написаного різними розробниками за однією специфікацією, статистично незалежні. У результаті такого експерименту встановлено, що версії ПЗ, написані різними розробниками за однаковими вимогами, містили низку спільних помилок, пов'язаних із помилками або неточностями вимог (специфікації). Але чим раніше буде виявлено дефект, тим дешевше обійдеться його виправлення. Витрати на виправлення некоректних вимог, виявлених після випуску продукту, майже в 100 разів перевищують витрати на виправлення недоліків специфікації, виявлених на більш ранніх етапах життєвого циклу ПЗ [2, с. 27].

Отже, успішність реалізації програмного проєкту (як вчасне виконання програмного проєкту в рамках виділеного бюджету та з реалізацією всіх необхідних можливостей і функцій [1]) суттєво залежить від специфікації вимог до ПЗ, оскільки саме вона містить усі вимоги й особливості розроблюваного ПЗ. Таке експериментальне свідчення безпосередньо призводить до необхідності поглиблення аналізу специфікації вимог. Тоді *нині актуальною проблемою є аналіз специфікацій вимог до ПЗ (особливо її нефункційних вимог) з метою підвищення успішності та якості розроблюваного за специфікацією ПЗ.*

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз відомих методів, призначених для роботи з вимогами та специфікаціями (Using natural language processing technique, Using CASE analysis method, QAW-method, Using global analysis method, O'Brien's approach, Method to discover missing requirement elicitation, Selection of elicitation technique, Comparison and categorization of requirements elicitation techniques, Techniques for ranking and prioritization of software requirements) [5–7], показав, що всі вони спрямовані на контроль за реалізацією вимог, тобто на верифікацію ПЗ до вимог специфікації, але жоден із них не виконує валідації вимог до потреб замовника. Тому використання таких методів для аналізу специфікацій може призвести до розроблення коректного ПЗ, яке, проте, не буде якісним унаслідок невідповідності всім потребам замовників, ураховуючи сучасне визначення якості (як здатність ПЗ

задовольнити заявлені й передбачувані потреби замовників під час його використання за певних умов [8]).

Аналіз наявних автоматизованих засобів, призначених для роботи з вимогами та специфікаціями (IBM Rational RequisitePro, IBM Rational/Telelogic DOORS, Borland Caliber RM, Sybase PowerDesigner, Open Source Requirements Management Tool, пакет засобів компанії LDRA, Sigma Software, DEVPRO, CASE.Аналитик), проведений у роботі [9], показав, що деякі з них спрямовані на контроль за реалізацією вимог у коді (тобто на верифікацію), деякі – на перевірку специфікації на достовірність, повноту й несуперечливість її інформації, але жоден із них також не перевіряє відповідність вимог специфікації потребам замовника.

У роботах [10; 11] розроблено інтелектуальний агент для аналізу нефункційних характеристик у специфікаціях вимог до ПЗ, призначений для аналізу специфікацій вимог до ПЗ на предмет достатності їх інформації щодо нефункційних характеристик-складників якості ПЗ. Але недоліком такого рішення є те, що сьогодні вибір інформації щодо нефункційних характеристик зі специфікації вимог до реального ПЗ реалізується вручну, хоча необхідним є автоматизований семантичний розбір природомовної специфікації на предмет пошуку атрибутів, необхідних для визначення нефункційних характеристик-складників якості ПЗ.

Постановка завдання. Проведений аналіз відомих методів і засобів, призначених для роботи з вимогами та специфікаціями, виявив, що натеper невирішеною є проблема аналізу специфікацій вимог до ПЗ на предмет відповідності вимог потребам замовника з метою підвищення якості ПЗ, розроблюваного за специфікаціями. Для вирішення такої проблеми варто розв'язати завдання автоматизації семантичного розбору (парсингу) природомовної специфікації для встановлення відповідності вимог специфікації потребам замовника. Тому метою дослідження є аналіз відомих методів і рішень семантичного аналізу специфікацій вимог до ПЗ.

Виклад основного матеріалу дослідження. *Аналіз відомих методів семантичного аналізу специфікацій вимог до ПЗ.* Сьогодні відомі різні підходи до семантичного аналізу специфікацій. Так, у праці [12] запропоновано методику, що забезпечує автоматичну допомогу розробникам шляхом трансформації природомовних вимог за допомогою UML-діаграм. Автори [12] зосереджуються на створенні діаграм діяльності й послідовності

на основі природомовних специфікацій вимог до ПЗ. Стандартний POS-тагер і парсер аналізують вимоги англійською мовою, надані користувачами, і «витягують» із них фрази, дії тощо. Запропонований у роботі [12] метод зменшує розрив між неформальною природною мовою та формальною мовою моделювання.

Стаття [13] присвячена вирішенню проблеми перетворення бізнес-специфікацій, написаних природною мовою, у формальні моделі, придатні для використання під час розроблення інформаційних систем. Автори пропонують метод перетворення природомовних специфікацій на основі стандарту Semantics of Business Vocabulary and Business Rules (SBVR). Цей підхід є унікальним у поєднанні Model-Driven Engineering (MDE), когнітивної лінгвістики та конфігурації на основі знань, яка дає змогу надійного семантичного оброблення специфікацій та інтеграції з наявними інструментами MDE для підвищення продуктивності й часу розроблення ПЗ за специфікацією. Метод, запропонований у праці [13], забезпечує зменшення ручної формалізації специфікацій.

Методологія, запропонована у роботі [14], складається з чотирьох процесів, а саме: розбір (парсинг) вимог (PR), відображення вимог із використанням матриці (RMM), додавання вимог до шаблону специфікації та інспекція третьою стороною. Запропонована методологія є ефективною для мінімізації неоднозначності вимог.

Автори [15] пропонують механізм автоматизації відображення вимог у формальні представлення за допомогою маркування семантичної ролі. Автори описують перший загальнодоступний набір даних для цього завдання, використовують ієрархічну структуру, що дає можливість анотувати концепцію вимог, а також обговорюють, як маркування семантичної ролі може бути адаптоване для аналізу програмних вимог. Механізм, викладений у праці [15], може бути використаний для відображення природомовних функційних вимог спочатку в специфікаціях, а потім у програмному коді, але абсолютно не підходить для нефункційних вимог.

У роботі [16] запропоновано підхід до автоматичного видобування семантичної інформації зі специфікацій вимог до ПЗ шляхом поєднання методів маркування семантичної ролі та моделювання знань предметної галузі. Автор [16] вибрав численні дієслова з доступних специфікацій у галузі електронної комерції й побудував семантичні рамки для цих дієслів. Потім обрані речення були позначені вручну, і результат використаний як навчальна вибірка для машинного навчання.

Під час процесу маркування автором приймався послідовний спосіб, під час якого попередні мічені результати використовувались для побудови динамічних характеристик для ідентифікації наступних семантичних ролей. Запропонований підхід є ефективним і надійним для моделювання мінливості та спільності функційних вимог, але не підходить для роботи з нефункційними вимогами.

Автори [17], використовуючи методи машинного навчання, розробили технологічний процес, який приймає як входи природомовні артефакти (наприклад, специфікації вимог до ПЗ). Цей процес автоматично визначає відповідні речення безпеки в артефактах і класифікує їх відповідно до цілей безпеки або явно викладених або передбачуваних речень. Авторами класифіковано 10963 речень із шести різних специфікацій і видобуто з них відповідні цілі безпеки. Аналіз показав, що 46% речень мають стосунок до безпеки, з них 28% чітко вказують на безпеку, а 72% речень – на функціональні вимоги з наслідками безпеки. Грунтуючись на такому аналізі, автори розробили контекстно-залежні шаблони, на основі яких можна створювати набір функціональних вимог безпеки, заповнюючи ключову інформацію з релевантних пропозицій безпеки.

У праці [18] розроблено метод для налаштування і створення комбінованого парсера (аналізатора) для оброблення та аналізу природомовних специфікацій, який об'єднує переваги формальних парсерів, що використовуються для оброблення описів із жорстко визначеним синтаксисом (наприклад, вихідний (сирцевий) код програми) та є дуже точними й ефективними під час оброблення формальної частини, а також аналітиків, розроблених для оброблення природних мов, які добре розуміють вільний текст. Отриманий текстовий аналізатор базується на Parsing Expression Grammars. Запропонований у праці [18] підхід дає змогу побудувати ефективний синтаксичний аналізатор для аналізу природомовних специфікацій вимог до промислового ПЗ.

Автори [19] розробили методологію та інструмент QuARS (Аналізатор якості специфікацій вимог) для систематичного й автоматичного аналізу природомовних вимог. QuARS дає змогу виконувати початковий аналіз вимог з метою автоматичного виявлення потенційних лінгвістичних дефектів, які можуть викликати проблеми інтерпретації на наступних етапах розроблення ПЗ. Цей інструмент також може частково підтримувати аналіз узгодженості та повноти шляхом кластеризації вимог відповідно до конкретних тем.

У праці [20] представлено онтологічний підхід до автоматизованої перевірки та вимірювання вимог до ПЗ, який використовується для виявлення невідповідностей, непослідовності й недоліків вимог до ПЗ. Для цього розроблено метамодель вимог – онтологію вимог, яка надає основу для валідації та інструмента підтримки, а також забезпечує концептуалізацію знань щодо вимог. Отже, онтологія вимог дає змогу документувати структуровані, багаторазові, однозначні, простежувані, повні й узгоджені вимоги відповідно до стандарту IEEE для специфікації вимог до ПЗ. Розроблена онтологія вимог може використовуватись інженером вимог як інструмент для висвітлення невідповідностей, неповноти та якісних недоліків вимог.

Автори [21] представляють прототип семантичної системи, що використовується для надання допомоги інженерам із вимог щодо видобування вимог з використанням напівформального представлення. Семантична система використовує поняття, відносини й аксіоми онтології предметної галузі, щоб надати список пропозицій, на основі яких інженер може розробити вимоги. Розроблена семантична система ефективно підтримує інженерів вимог у визначенні добре структурованих вимог.

У статті [22] запропоновано підхід до підтримки процесу інженерії вимог у процесі розробки ПЗ шляхом застосування онтології. У цій роботі подана онтологія з урахуванням особливостей методології Scrum. Під час аналізу особливостей інженерії вимог у рамках методології Scrum встановлено, що основні зусилля зосереджені на аналізі функційного складника, тому нефункційні вимоги часто не задокументовані. Беручи до уваги високу частоту оновлення вимог під час роботи відповідно до методології Scrum, можемо сказати, що застосування запропонованого підходу дає змогу швидко контролювати простежуваність і повноту вимог.

У дослідженні [23] запропоновано структуру для інтеграції різномірних вимог за допомогою онтологій. Цей підхід ґрунтується на загальній моделі вимог користувачів, яка використовувала три наявні напівформальні мови UML, MCT і MERISE і цілеорієнтовані мови. Розроблений у праці [23] метод фокусується на мінімізації впливу неоднорідності вимог на якість ПЗ.

Отже, як показав проведений аналіз, усі розглянуті методи семантичного аналізу специфікацій вимог до ПЗ не забезпечують перевірки відповідності вимог специфікації потребам замовника (валідації), тому не спрямовані на підвищення якості розроблюваного за специфікацією ПЗ.

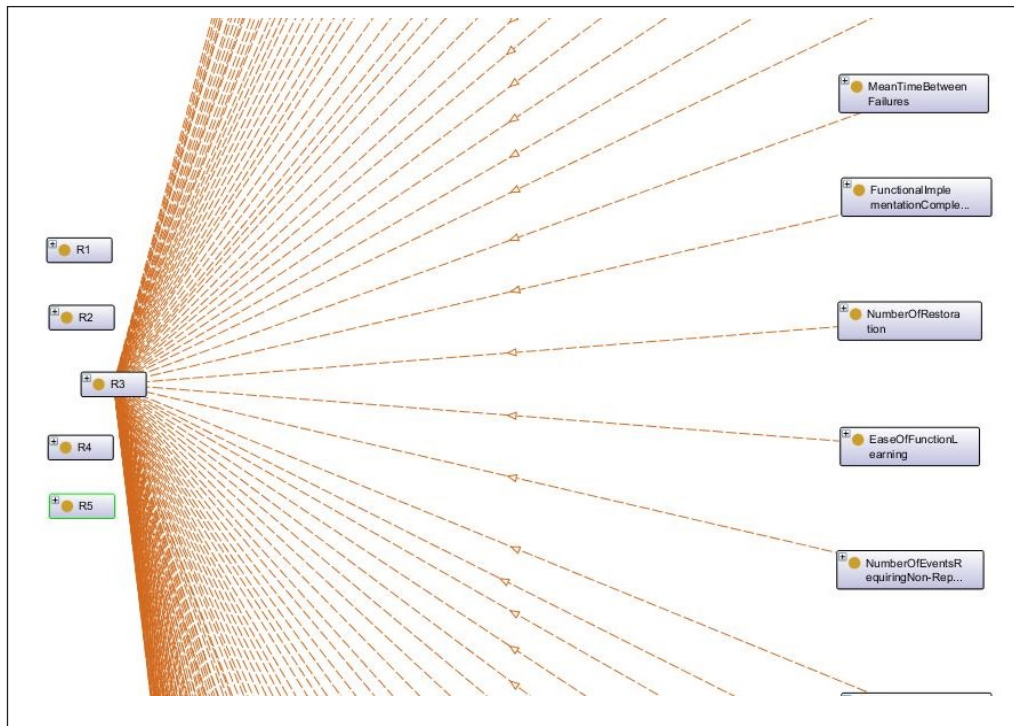


Рис. 1. Фрагмент онтології предметної галузі «Інженерія програмного забезпечення» (частина «Специфікація вимог до ПЗ (атрибути якості)») – шаблон специфікації вимог до ПЗ з погляду наявності атрибутів для нефункційних характеристик-складників якості ПЗ

Концепція запропонованого рішення. Для автоматизації семантичного розбору природомовної специфікації з метою перевірки відповідності її вимог потребам замовника необхідно виконати її формалізацію, наприклад, із використанням онтологій, оскільки саме онтології забезпечують системний підхід до вивчення предметної галузі, можливість цілісного подання інформації предметної галузі, виявлення дублювань і прогалів у знаннях на основі візуалізації відсутніх логічних зв'язків, можливість доступу, розуміння й аналізу інформації інтелектуальними агентами. Формалізацію специфікації вимог до ПЗ потрібно виконувати, враховуючи, на видобування яких саме вимог буде спрямовуватись семантичний аналіз (парсинг) специфікації. Якщо автоматизований семантичний розбір природомовної специфікації буде проводитись на предмет пошуку атрибутів, необхідних для визначення нефункційних характеристик-складників якості ПЗ (для розвитку рішень, запропонованих у роботах [10, 11]), то для формалізації специфікації вимог можуть бути використані структурна модель специфікації вимог до ПЗ (з погляду наявності атрибутів) і базова (універсальна) онтологічна модель предметної галузі «Інженерія програмного забезпечення» (частина «Специфікація вимог до ПЗ

(атрибути якості)»), розроблені в праці [24] на основі стандарту ISO 29148 [25].

На основі базової (універсальної) онтологічної моделі предметної галузі «Інженерія програмного забезпечення» (частина «Специфікація вимог до ПЗ (атрибути якості)») розроблено базову онтологію предметної галузі «Інженерія програмного забезпечення» (частина «Специфікація вимог до ПЗ (атрибути якості)») – рис. 1. У цій онтології атрибути, необхідні для визначення нефункційних характеристик-складників якості ПЗ, представлені з урахуванням розподілу за розділами специфікації, за рахунок чого розроблена онтологія є шаблоном специфікації вимог до ПЗ з погляду наявності атрибутів (котрий може опрацьовуватись як фахівцями, так й автоматизованими засобами для роботи зі специфікаціями або інтелектуальними агентами) та надає візуальні підказки користувачу про місце розташування тих чи інших атрибутів у специфікації вимог до ПЗ.

Висновки. Оскільки успішність реалізації програмного проекту суттєво залежить від специфікації вимог до ПЗ, то актуальною є проблема аналізу специфікацій вимог до ПЗ (особливо її нефункційних вимог) з метою підвищення успішності та якості розроблюваного за специфікацією ПЗ. Проведений аналіз відомих методів і засо-

бів, призначених для роботи з вимогами та специфікаціями, показав, що сьогодні невирішеним є завдання автоматизації семантичного розбору (парсингу) природомовної специфікації для встановлення відповідності вимог специфікації потребам замовника.

Проведено аналіз методів семантичного аналізу специфікацій вимог до ПЗ, який показав, що всі вони не забезпечують перевірки відповідності вимог специфікації потребам замовника (валідації), тому не спрямовані на підвищення якості розроблюваного за специфікацією ПЗ.

Тоді для автоматизації семантичного розбору природомовної специфікації з метою перевірки відповідності її вимог потребам замовника

необхідно виконати її формалізацію, наприклад, із використанням онтологій. Для такої формалізації запропоновано використати раніше розроблені структурну й онтологічну моделі специфікації вимог до ПЗ, на основі яких розроблено онтологію предметної галузі «Інженерія програмного забезпечення» (частина «Специфікація вимог до ПЗ (атрибути якості)»), що буде основою інтелектуального агента для автоматизованого семантичного розбору природомовної специфікації на предмет пошуку атрибутів, необхідних для визначення нефункційних характеристик-складників якості ПЗ, на розроблення якого будуть спрямовані подальші дослідження авторів.

Список літератури:

1. Hastie Shane, Wojewoda Stéphane. Standish Group 2015 Chaos Report – Q&A with Jennifer Lynch. URL: <http://www.infoq.com/articles/standish-chaos-2015> (Last accessed: January 9, 2019).
2. Макконнелл С. Совершенный код. Мастер-класс. Москва: Русская редакция, 2013. 896 с.
3. Hazard analysis of complex spacecraft using systems-theoretic process analysis / T. Ishimatsu and others. *Journal of Spacecraft and Rockets*. 2014. Vol. 51. No. 2. P. 509–522.
4. Levenson N. Software challenges in achieving space safety. *Journal of the British Interplanetary Society*. 2009. Vol. 62. P. 265–272.
5. Fatwanto A. Software requirements specification analysis using natural language processing technique. *The 13-th IEEE International Conference on Quality in Research: Proceedings* (Yogyakarta, June 25–28, 2013). Yogyakarta (Indonesia), 2013. P. 105–110.
6. Rehman T., Khan M.N.A., Riaz N. Analysis of requirement engineering processes, tools/techniques and methodologies. *International Journal of Information Technology and Computer Science*. 2013. Vol. 5. No. 3. P. 40–48.
7. A comparison of requirements specification methods from a software architecture perspective / L. Bass, J. Bergey, P. Clements, P. Merson, I. Ozkaya, R. Sangwan. URL: http://resources.sei.cmu.edu/asset_files/TechnicalReport/2006_005_001_14786.pdf (Last accessed: January 9, 2019).
8. ISO/IEC 25010:2011. Systems and software engineering. Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE). System and software quality models. [Introduced 01.03.2011]. Geneva (Switzerland), 2011. 34 p. (International standard).
9. Говорущенко Т.О., Павлова О.О. Сучасні проблеми оцінювання початкових етапів життєвого циклу програмного забезпечення. *Електротехнічні та комп'ютерні системи*. 2018. № 27 (103). С. 165–175.
10. Hovorushchenko T., Pavlova O. Method of Activity of Ontology-Based Intelligent Agent for Evaluating the Initial Stages of the Software Lifecycle. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2019. Vol. 836. P. 169–178.
11. Павлова О.О., Говорущенко Т.О., Іванов О.В. Діяльність інтелектуального агента для оцінювання інформації у специфікаціях вимог до програмного забезпечення. *Штучний інтелект*. 2018. № 2. С. 66–75.
12. Gulia S., Choudhury T. An Efficient Automated Design to Generate UML Diagram From Natural Language Specifications. *The 6-th International Conference on Cloud System and Big Data Engineering: Proceedings* (Noida, January 14–15, 2016). Noida (India), 2016. P. 641–648.
13. Formalising natural language specifications using a cognitive linguistic/configuration based approach / M. Selway, G. Grossman, W. Mayer, M. Stumptner. *Information Systems*. 2015. Vol. 54. P. 191–208.
14. Ali S.W., Ahmed Q.A., Shafi I. Process to Enhance the Quality of Software Requirement Specification Document. *The International Conference on Engineering and Emerging Technologies: Proceedings* (Lahore, February 22–23, 2018). Lahore (Pakistan), 2018. P. 113–118.
15. Software requirements as an application domain for natural language processing / T. Diamantopoulos, M. Roth, A. Symeonidis, E. Klein. *Language Resources and Evaluation*. 2017. Vol. 51. Issue 2. P. 495–524.
16. Wang Y. Semantic Information Extraction for Software Requirements using Semantic Role Labeling. *The IEEE International Conference on Progress in Informatics and Computing: Proceedings* (Nanjing, December 18–20, 2015). Nanjing (China), 2015. P. 332–337.

17. Hidden in Plain Sight: Automatically Identifying Security Requirements from Natural Language Artifacts / M. Riaz, J. King, J. Slankas, L. Williams. *The 2-nd IEEE International Requirements Engineering Conference: Proceedings* (Karlskrona, August 25–29, 2014). Karlskrona (Sweden), 2014. P. 183–192.

18. Iwama F., Nakamura T., Takeuchi H. Constructing Parser for Industrial Software Specifications Containing Formal and Natural Language Description. *The 34-th International Conference on Software Engineering: Proceedings* (Zurich, June 02–09, 2012). Zurich (Switzerland), 2012. P. 1012–1021.

19. An automatic tool for the analysis of natural language requirements / S. Gnesi, G. Lami, G. Trentanni, F. Fabbrini, M. Fusani. *Computer Systems Science and Engineering*. 2005. Vol. 20. Issue 1. Pp. 53–62.

20. Siegemund K. Contributions to Ontology-Driven Requirements Engineering: dissertation. Dresden, 2014. 249 с.

21. Ontology-Driven Guidance for Requirements Elicitation / S. Farfeleder, T. Moser, A. Krall, T. Stalhane, I. Omoroniya, H. Zojer. *Lecture Notes in Computer Science*. 2011. Vol. 6644. P. 212–226.

22. Murtazina M.Sh., Avdeenko T.V. The ontology-driven approach to support the requirements engineering process in Scrum framework. *CEUR-WS*. 2018. Vol. 2212. P. 287–295.

23. Integration of Heterogeneous Requirements using Ontologies / A. Mustafa, W.M.N. Wan-Kadir, N. Ibrahim, A. Shah, M. Younas. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. 2018. Vol. 9. No. 5. P. 213–218.

24. Говорущенко Т.О. Теоретичні та прикладні засади інформаційної технології оцінювання достатності інформації щодо якості у специфікаціях вимог до програмного забезпечення: дис. ... докт. техн. наук: спец. 05.13.06. Хмельницький, 2018. 441 с.

25. ISO/IEC/IEEE 29148:2011. Systems and software engineering. Life cycle processes. Requirements engineering. [Introduced 01.12.2011]. Geneva (Switzerland), 2011. 28 p. (International standard).

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ СЕМАНТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СПЕЦИФИКАЦИЙ ТРЕБОВАНИЙ К ПРОГРАММНОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ

В статье проведено исследование современных проблем семантического анализа спецификаций требований к программному обеспечению (ПО). Проведенное исследование показало необходимость разработки интеллектуального агента на основе онтологического подхода для автоматизации семантического разбора (парсинга) спецификации, написанной естественным языком.

Ключевые слова: программное обеспечение (ПО), спецификация требований к программному обеспечению, семантический анализ, разбор (парсинг) спецификаций, интеллектуальный агент.

CURRENT PROBLEMS OF SEMANTIC ANALYSIS OF THE SOFTWARE REQUIREMENTS SPECIFICATIONS

The article deals with the current problems of semantic analysis of the software requirements specifications. The conducted research has proved the necessity of developing the ontology-based intelligent agent for automating the semantic parsing of the natural-language specifications.

Key words: software, software requirements specification (SRS), semantic analysis, parsing of the SRS, intelligent agent.

Киричек Г.Г.

Запорізький національний технічний університет

Курай В.І.

Запорізький національний технічний університет

КЛІЄНТ-СЕРВЕРНА СИСТЕМА ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄКТІВ

У роботі розглянуто питання розбиття й порівняння зображень з метою реалізації високоефективного доступу до елементів. Для досягнення поставленої мети використовується рекурсивне розбиття двовимірного простору, робота з клієнт-серверною архітектурою та фреймворком Django.

Ключові слова: арі, сегментація, розпізнавання об'єктів, сервер, клієнт.

Постановка проблеми. Візуальна інформація – тип інформації, що сприймається, інтерпретується й обробляється людським мозком, третина кортикальної ділянки якого присвячена її обробці. Цифрова обробка зображень, як комп'ютерна технологія, здійснює автоматичну обробку, маніпулювання та інтерпретацію візуальної інформації. Технології обробки зображень відіграють важливу роль у багатьох аспектах повсякденного життя, в техніці, науці й таких галузях, як медична діагностика, дистанційне зондування, робототехніка тощо. Тому питання компактного подання зображень і забезпечення високоефективного доступу до елементів під час ідентифікації їх відмінностей є ключовими вимогами до подібних систем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Технології та інструменти, які застосовують під час проведення досліджень у цьому напрямі, є такими: штучні нейронні мережі, перцептивні хеш-алгоритми, бібліотеки для роботи із зображеннями типу OpenCV та способи подання зображень, що зберігаються, у вигляді структур даних [1; 2]. Ділянка обробки цифрових зображень розвивається за двома напрямками: вдосконалення механізмів обробки й маніпуляції над графічною інформацією та аналіз даних для їх подальшого сприйняття машиною [3].

Процес кластеризації зображень, пошуку в них однорідних ділянок є сегментацією, яка вважається першим етапом аналізу зображень. Наведемо її загальну математичну модель. Нехай $D(m * n)$ – растр або ділянка поля зору, на якій задано зображення. $B(i, j)$; $D_k \subset D$ – k -го об'єкта, де $k = 1, 2, \dots, s$; $D_\phi \subset D$ – ділянка фону. Уважаємо, що растр або поле зору можна представити як у формулі 1.

$$D_1 \cup D_2 \cup \dots \cup D_\phi = D, D_i \cap D_j = \emptyset, i \neq j. \quad (1)$$

Розглянемо дискретне зображення $B(i, j)$, де $i = 0, \dots, m, j = 0, \dots, n$, яке є сукупністю зображень окремих об'єктів і фону та наведене у формулі 2.

$$B(i, j) = H_1(i, j) + \dots + H_s(i, j) + H_\phi(i, j), \quad (2)$$

де s – кількість об'єктів; $H_k(i, j)$ – зображення k -го об'єкта, $k = 1, 2, \dots, s$; $H_\phi(i, j)$ – зображення фону. Задача сегментації полягає в побудові предикату, наведеного у формулі 3.

$$\pi(i, j) = \begin{cases} k, & \text{якщо } (i, j) \in D_k \\ 0, & \text{якщо } (i, j) \in D_\phi \end{cases} \quad (3)$$

На етапі сегментації відбувається групування розрізнених ділянок чи фрагментів зображення в ділянку, яка належить одному об'єкту, або поділ ділянки зображення на ділянки, що належать різним об'єктам [3]. Групування здійснюється за різними ознаками, такими як яскравість; колір; текстура; рух в одному напрямку, з однаковою швидкістю тощо. Визначивши методи сегментації, які основані на пошуку меж регіонів; бінаризації зображень; марківському випадковому полю та пошуку регіонів, зупинимося на тих методах, які знаходять регіони безпосередньо, об'єднуючи сусідні пікселі в регіони за схожістю параметрів. Ці методи лежать в основі методів: злиття регіонів; злиття-розщеплення регіонів; «водорозділу». Метод злиття-розщеплення полягає в розщепленні зображення на квадрати й проведенні аналізу їх однорідності. Результат злиття-розщеплення – структура з інформацією про квадрати, наприклад, дерево квадрантів, у якому кожен внутрішній вузол має 4 нащадки. Метод дерева квадрантів – структури даних, які використовуються для подання двовірних просторових даних, це дерево, зі збільшенням глибини якого збільшується кількість елементів дерева. Алгоритм має таку залежність часу виконання $O(u + p + q)$, де u – кількість полігонів, p – периметр полігонів, роздільна здатність зображення [4]. Причини вибору цього методу розбиття такі: компактне подання зображення; високоефективний доступ до елементів. Як програмний метод розглянемо Python – інтерпретовану об'єктна-

орієнтовану мову програмування, що підтримує пакети модулів і декілька парадигм програмування: об'єктно-орієнтовану, процедурну, функціональну та аспектно-орієнтовану [5]. На вибір Python вплинули підтримка Python об'єктно-орієнтованого підходу, простота синтаксису та наявність убудованих функцій і структур даних. Далі проведемо вибір рішень і технологій для реалізації клієнт-серверної архітектури системи.

Постановка завдання. Метою роботи є впровадження клієнт-серверної системи визначення об'єктів з використанням методу дерева квадрантів. Об'єктом дослідження є процес реалізації клієнт-серверної системи визначення об'єктів. Предметом – моделі, методи та інструментальні засоби обробки цифрових зображень і реалізації клієнт-серверних систем. Методи дослідження базуються на моделюванні системи та схем взаємодії її модулів, вимірах основних характеристик системи й характеристик дерева квадрантів. Для досягнення поставленої мети визначено завдання: проведення досліджень і реалізація методу обробки зображень; рекурсивне розбиття зображень за допомогою дерева квадрантів; порівняння результатів розбиття двох зображень та отримання результуючого зображення; автоматизація процесу обробки зображень з використанням клієнт-серверної архітектури. Параметри для роботи системи: вхідні зображення, порогові значення кольору й розміру квадрата – повинні передаватися за допомогою використання API запитів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Конкретні завдання в проекті реалізуються через обрану методологію, що визначає процес розроблення. Популярними є каскадна, інкрементна та гнучка моделі. До гнучкої зараховують методи: Scrum і Kanban. Scrum розбиває складні завдання та візуалізує їх у робочому процесі. Його краще застосовувати, коли потрібно регулярно подати нові версії та оновлення клієнтам. Тому використовуємо Scrum, яка є адаптивною, орієнтована на роботу в невеликих командах і проста в застосуванні.

Створення архітектури є процесом формування структурованого рішення, що відповідає технічним та операційним вимогам. Ознайомившись із архітектурними стилями, прийняли рішення використати два шаблони для реалізації

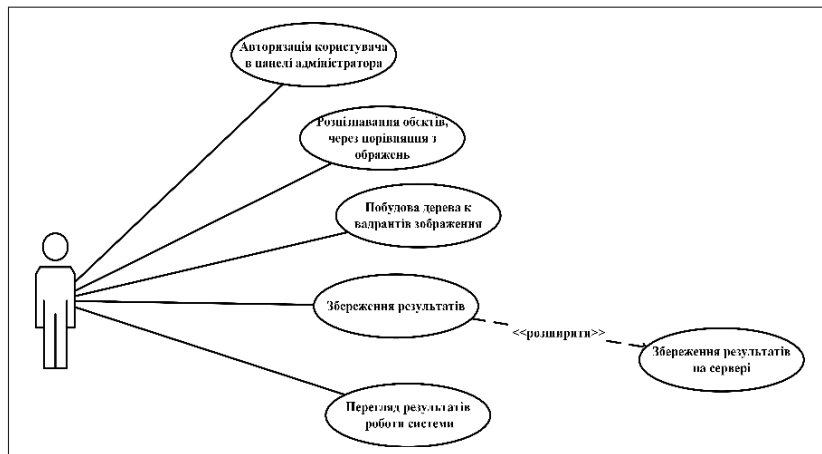


Рис. 1. Діаграма варіантів використання системи

системи: клієнт-серверну архітектуру й об'єктно-орієнтований підхід. Це обґрунтовано вимогами до системи: збереженням результатів роботи на сервері; взаємодією за допомогою API запитів; залученням самостійних, придатних для повторного використання об'єктів під час створення додатків.

Так як мовою програмування обрано Python, у роботі розглянуто два веб-фреймворки: Django та Flask [6]. Django – для веб-додатків мовою Python, який використовує шаблон проектування MVC. Він складається з одного або декількох додатків, що ізолюють один від одного. Для роботи з базою даних (далі – БД) Django використовує власний ORM (Object Relational Mapping), у якому модель даних описується класами Python і по якій генерується схема бази даних. Flask – мікрофреймворк, основою якого є інструментарій Werkzeug і Jinja2. Поширюється відповідно до умов ліцензії BSD. Django дає більш можливостей для швидкого розроблення складних веб-додатків, має API для роботи з базою та зручний і легкий й налаштуванні інтерфейс адміністратора сайту, тому саме він обраний як веб-фреймворк. PostgreSQL і MySQL є об'єктно-реляційними системами керування базами даних і надають широкий спектр можливостей для проектів Django. Але PostgreSQL має більш можливостей інтеграції з обраним фреймворком Django [7].

Виконаємо моделювання системи визначення об'єктів і наведемо діаграму варіантів її використання (рис. 1). У Web-додатку, побудованому за архітектурою клієнт-сервер, послуги надає Web-сервер, а клієнтом є браузер, або текстовий редактор, підключений до Інтернету.

Розглянувши загальну модель клієнт-серверної архітектури, перейдемо до моделювання архітек-

тури реалізованого додатка, враховуючи взаємодію між користувачем і компонентами системи (рис. 2).

Після вибору основних компонентів системи перейдемо до її реалізації. Для реалізації розбиття зображення створено декілька класів. Для початку розбиття створено клас ImageSeparator із методом виклику separate_image. Код конструктора класу наведено в лістингу 1.

Лістинг 1 – Код конструктора

```
class ImageSeparator:
    def __init__(self, img_path: str,
                 min_color_distance: int = 10,
                 min_quad_size: int = 10):
        self.min_quad_size = min_quad_size
        self.min_color_distance = min_color_distance
        self.quad_tree_rectangles = []
        with Image.open(img_path) as img:
            self.width = img.width
            self.height = img.height
            self.pixels = img.load()
```

Як аргументи передаємо: img_path – шлях до зображення; min_color_distance – мінімальну різницю кольорів; min_quad_size – мінімальне значення розміру вузла дерева. Метод separate_image класу ImageSeparator застосовуємо для розбиття зображень.

Під час опису процесу розпаралелення обчислень розглянуто особливості CPython під час використання потоків і процесів. Він оптимізований для роботи в однопоточному режимі й має нюанси під час роботи в багатопоточному режимі, що пов'язані з GIL (global interpreter lock), який не дає декільком потокам виконувати одночасно код Python. Багатопоточне виконання займає більше часу [5]. Причини використання GIL: однопоточні сценарії виконуються швидше; проста реалізація й інтеграція бібліотек на C. У лістингу 2 наведено функцію separate_image(), що використовує процеси для розпаралелення.

Лістинг 2 – Функція separate_image()

```
def separate_image(self):
    leafes = self.create_initial_leafs(self.width, self.height)
    queue = Queue()
    proceses = []
    for leaf in leafes:
        worker = ImageSeparatorWorker(self.min_color_distance,
                                       self.min_quad_size, self.pixels, queue)
        p = Process(target=worker.split_
```

```
rectangle, args=(leaf,))
    proceses.append(p)
    p.start()
    for p in proceses:
        self.quad_tree_rectangles.extend(
            self.yield_from_process(queue, p))
    return self.quad_tree_rectangles
```

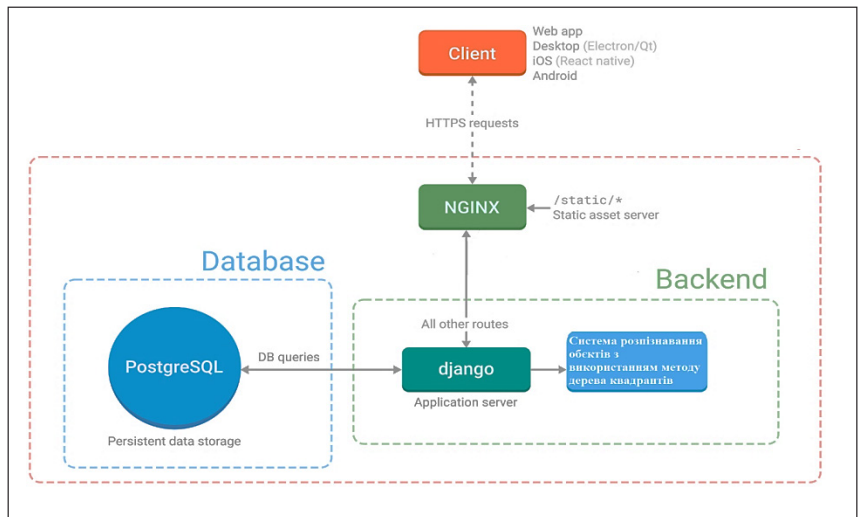


Рис. 2. Схема взаємодії компонентів системи

У separate_image використовується початкове розбиття зображення на 4 рівні частини [8]. Для обробки в циклі створюється клас ImageSeparatorWorker та окремий процес, якому в конструктор передається split_rectangle.

Розглянемо структуру проекту та його налаштування (рис. 3).

У проекті для роботи з базою даних використана Django ORM – техніка програмування, призначена для перетворення несумісних типів даних в об'єктно-орієнтованих мовах програмування. Для роботи з алгоритмом створено дві моделі, код наведено в лістингу 3.

Лістинг 3 – Створення моделей для роботи з базою даних

```
class ImageQuadTree(models.Model):
    image = ImageField()
    quad_tree_repr = JSONField(blank=True, null=True)
    quad_tree_image = ImageField(blank=True)
    min_color_distance = models.IntegerField(
        validators=[MinValueValidator(5)], default=7)
    min_quad_size = models.IntegerField(
        validators=[MinValueValidator(9)], default=16)
class ImageQuadTreeCompare(models.Model):
    first_image = models.ImageField()
    second_image = models.ImageField()
    quad_tree_diff_repr = JSONField(blank=True, null=True)
    quad_tree_diff_image = ImageField(blank=True)
    min_color_distance = models.IntegerField(
        validators=[MinValueValidator(5)], default=7)
    min_quad_size = models.IntegerField(
        validators=[MinValueValidator(9)], default=16)
```

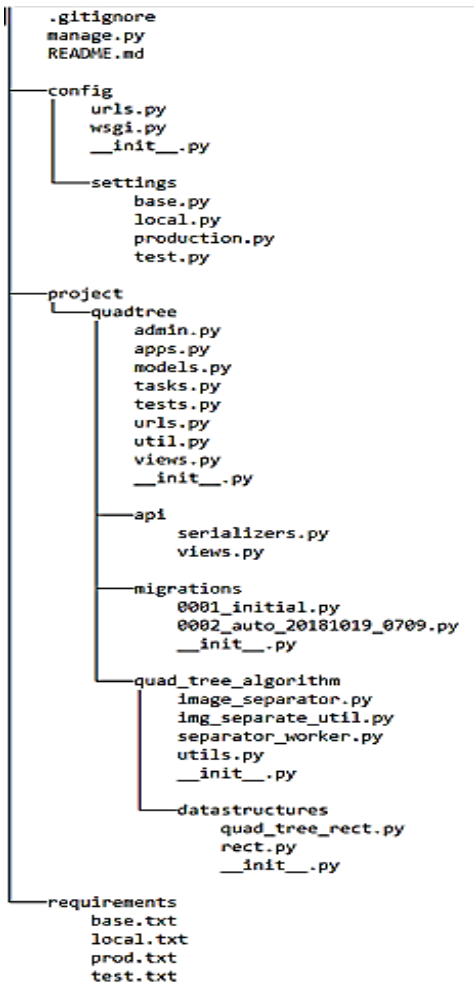



Рис. 3. Структура проекту

Після створення моделей виконуємо команди: `manage.py makemigrations` – створення нових міграцій на основі змін у моделях; `manage.py migrate` – застосування міграцій, відкат міграцій і виведення статусу міграцій. Варто розглядати міграції як систему контролю версій для бази даних. Додаток Django admin використовує моделі для автоматичного створення частини сайту, призначеної для створення, перегляду, оновлення й видалення записів у БД. Для реалізації REST системи використаємо Django Rest Framework. API DRF складається з 3-х шарів: серіалізатора, виду (view) і маршрутизатора. Серіалізатор: перетворює інформацію, що зберігається в базі даних і визначена моделями Django, у формат, який легко й ефективно передається через API. Код серіалізатора для порівняння зображень наведено на лістингу 4.

Лістинг 4 – Код серіалізатора

```
class QuadTreeCompareSerializer(serializers.ModelSerializer):
    class Meta:
        model = ImageQuadTreeCompare
        fields = '__all__'
```

```
read_only_fields = ('min_color_distance',
                    'min_quad_size',)
```

Вид визначає функції, які доступні через API. У системі реалізовано два view підкласи API, в кожному перевизначено метод `post()`. Користувач системи за допомогою HTTP методу POST робить запит, передавши зображення та необхідні параметри. Код view наведено в лістингу 5.

Лістинг 5 – Код view для порівняння зображень

```
class ImageQuadTreeView(APIView):
    serializer_class = QuadTreeSerializer
    def post(self, request):
        serializer = QuadTreeSerializer(data=request.data)
        if serializer.is_valid():
            quad_tree = serializer.save()
            data = process_image_quad_tree_separation(
                quad_tree.id)
            return Response(serializer.to_representation(data),
                            status=status.HTTP_201_CREATED)
        return Response(serializer.errors,
                        status=status.HTTP_400_BAD_REQUEST)
```

Маршрутизатор визначає url-адреси, які надають доступ до кожного view і зберігаються у файлі `url.py`. Після отримання коду моделей, серіалізатора та view перейдемо до перевірки роботи системи [8; 9]. Приклад результату роботи системи наведено на рис. 4. На вхід подано 2 зображення супутникових знімків аеропорту. Для кожного зображення побудовано дерева квадрантів і на виході згенеровано результуюче зображення з відмінностями між вхідними.

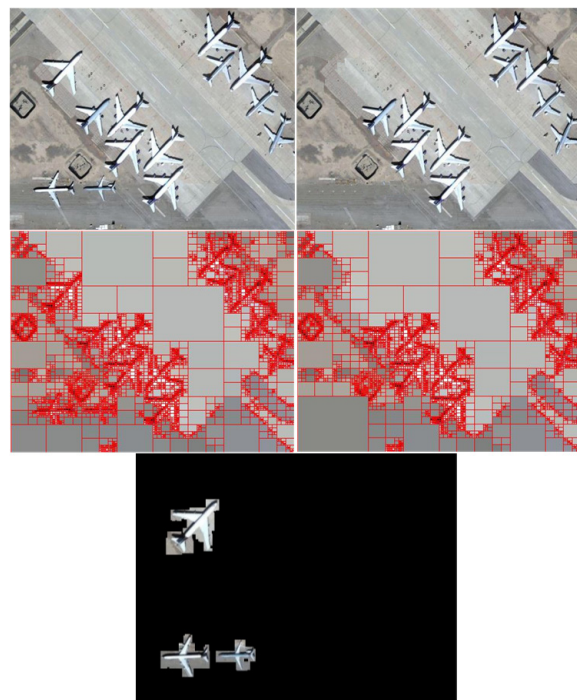


Рис. 4. Результат роботи системи

Для тестування системи використано метод написання unit-тестів. Це дає змогу швидко перевірити, чи не призвела зміна коду до появи помилок у вже протестованих місцях програми та чи полегшує усунення таких помилок. Тест, який перевіряє успіх створення об'єкта, наведено в лістингу 6.

```
Лістинг 6 – Тест успішного створення об'єкта
def test_split_valid_image(self):
    response = self.client.post(
        reverse('split'),
        data=self.valid_payload,
        format='multipart' )
    self.assertEqual(response.status_code,
        status.HTTP_201_CREATED )
```

Тест для перевірки правильної роботи системи, коли користувач передав невалідні дані на вхід, наведено в лістингу 7.

Лістинг 7 – Тест коректної відповіді в разі невалідних даних

```
def test_split_invalid_image(self):
    response = self.client.post(
        reverse('split'),
        data=self.invalid_payload,
        format='multipart' )
    self.assertEqual(response.status_code,
        status.HTTP_400_BAD_REQUEST )
```

Так створено набір unit-тестів для перевірки функціоналу системи, який полегшує внесення змін до проекту й перевірку їх на наявність помилок.

У розроблюваній системі існують ділянки коду, які виконуються як послідовно, так і паралельно. На лістингу 8 зображено створення процесів, їх запуск і після завершення їх роботи зчитування результатів.

Лістинг 8 – Розпаралелювання обчислень

```
queue = Queue()
proceses = []
```

```
for leaf in leafes:
    worker = ImageSeparatorWorker(self.min_color_distance,
        self.min_quad_size, self.pixels, queue)
    p = Process(target=worker.split_rectangle,args=(leaf,))
    proceses.append(p)
    p.start()
for p in proceses:
    self.quad_tree_rectangles.extend(
        self.yield_from_process(queue, p))
```

Як видно на лістингу, в кодї існують ділянки коду, що виконуються паралельно: розбиття ділянок зображення на дерева квадрантів; так само існують ділянки коду, які виконуються й послідовно – отримання даних із процесів, створення екземпляру класу Queue.

Кількість створюваних процесів залежить від кількості ділянок зображення, які треба розбити. Залежність між збільшенням числа процесів і швидкістю системи близька до лінійної [8]. Прискоренням паралельного алгоритму є відношення часу виконання кращого послідовного алгоритму до часу виконання паралельного алгоритму: $S = T_1/T_p$. Отже, прискорення для двох процесів дорівнює $11/6,92 = 1,58$, а для чотирьох – $11/3,78 = 2,91$.

Висновки. У роботі розроблено метод порівняння зображень на предмет їх відмінностей шляхом порівняння їх дерев квадрантів; удосконалено метод визначення із заданою точністю ділянок зображень, що відрізняються, способом отримання частини зображення у вигляді квадрантів, які включають у себе координати й колір частини зображення. Авторами впроваджена клієнт-серверна система визначення об'єктів з використанням методу дерева квадрантів. У ході подальших досліджень планується вдосконалення розроблених методів.

Список літератури:

1. Новейшие методы обработки изображений / А.А. Потапов, Ю.В. Гуляев, С.А. Никитов, А.А. Пахов, В.А. Герман. Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 496 с.
2. Zaitoun N.M., Aqel M.J. Survey on Image Segmentation Techniques. *Procedia Computer Science*. 2015. Vol. 65. P. 797–806.
3. Spann M., Wilson R. A quad-tree approach to image segmentation which combines statistical and spatial information. 1985. Vol. 18 (issue 3–4). P. 257–269.
4. Hunter G.M., Steiglitz K. Operations on Images Using Quad Trees. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 1979. Vol. PAMI-1 (issue 2). P. 145–153.
5. Dierbach Ch. Python as a first programming language. *Journal of Computing Sciences in Colleges*. 2014. Vol. 29 (issue 6). P. 153–154.
6. Greenfeld D., Greenfeld A. Two Scoops of Django: Best Practices for Django 1.8. 3rd ed. Chicago: Two Scoops Press, 2015.
7. Васильев А.Ю. Работа с PostgreSQL: настройка и масштабирование. 2017. URL: <https://postgresql.leopard.in.ua/> (дата звернення: 14.01.2019).
8. Kirichek G., Kurai V. Implementation quadtree method for comparison of images. Proceedings of 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET). 2018. Lviv-Slavske. Ukraine. February 20–24. P. 129–132.
9. Киричек Г.Г., Курай В.І. Визначення об'єктів з використанням дерева квадрантів. *Наукові праці ДонНТУ. Серія «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка»*. 2018. Вип. 1 (26). С. 19–24.

КЛИЕНТ-СЕРВЕРНАЯ СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕКТОВ

В работе рассмотрены вопросы разбиения и сравнения изображений с целью реализации высокоэффективного доступа к элементам. Для достижения поставленной цели используется рекурсивное разбиение двумерного пространства, работа с клиент-серверной архитектурой и фреймворком Django.

Ключевые слова: *api, сегментация, распознавание объектов, сервер, клиент.*

CLIENT-SERVER SYSTEM OF DETERMINATION OBJECTS

The paper deals with the question of the partitioning and comparison of images in order to implement highly effective access to the elements. To achieve this goal used recursive partitioning of the two-dimensional space, work with the client-server architecture and with the framework Django.

Key words: *api, segmentation, object recognition, server, client.*

УДК 519.6

Кисіль Т.М.

Хмельницький національний університет

Кучерук О.Я.

Хмельницький національний університет

ВИКОРИСТАННЯ FUZZY LOGIC TOOLBOX ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ РІВНЯ НАВЧАЛЬНОЇ МОТИВАЦІЇ

Метою дослідження є розроблення нечітко-множинної моделі оцінювання рівня навчальної мотивації студентів до вивчення математичної дисципліни. Для оцінювання навчальної мотивації студентів пропонується використати апарат нечіткої логіки. У статті представлено алгоритм формування лінгвістичної оцінки рівня мотивації до вивчення математичної дисципліни студентом. Наведено приклад реалізації нечіткого висновку за допомогою MatLab-інструментарію Fuzzy Logic Toolbox. Також подано результати кореляційного аналізу між рівнем мотивації та результатами вивчення дисципліни.

Ключові слова: нечітко-множинна модель, нечітка логіка, лінгвістична змінна, Fuzzy Logic Toolbox, мотивація.

Постановка проблеми. Сучасні тенденції й перспективи розвитку освіти спрямовані на формування висококваліфікованих, конкурентоспроможних випускників, здатних якісно вирішувати завдання професійного плану в короткі терміни, використовуючи креативні підходи сучасної науки.

Характерною рисою розвитку науки ХХІ ст. є зміна ролі математичних знань для фахівців різних напрямів і профілів. Математика та вища математична освіта в сучасних умовах відіграє особливу роль у підготовці майбутніх фахівців у галузі математики, інформатики, комп'ютерних та інформаційних технологій, техніки, економіки, управління як у плані формування певного рівня математичної культури, інтелектуального розвитку, так і в плані формування наукового світогляду, розуміння сучасної практичної спрямованості математичних дисциплін, оволодіння методами математичного моделювання [1].

Однією з перспективних тенденцій реформування вищої освіти сьогодні є впровадження компетентнісного підходу, який дає змогу досягнути нової якості професійної освіти і змінює траєкторію освітнього процесу в бік формування особистості фахівця. У рамках компетентнісного підходу якість математичної підготовки випускників закладів вищої освіти визначається математичною компетентністю, що призвело до посилення інтересу науковців до математичної компетентності фахівців різного профілю, яку на сучасному етапі розглядають із різних позицій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Різні аспекти математичної компетентності та

її формування розглядаються в дослідженнях багатьох вітчизняних і зарубіжних науковців, серед яких – Л. Загітова, Г. Ілларіонова, Л. Іляшенко, М. Манушкіна, М. Міншин, В. Плахова, Я. Стельмах, В. Шершньова, Д. Гельфанова, О. Комісаренко, М. Монгуш, Е. Дібрівна, Т. Березюк, Е. Габітова, Г. Серая, О. Ягова, О. Шалдибіна, Н. Глузман, І. Разлівінських, Н. Казачек, С. Раков, Р. Остапенко.

Різноманітність і різноплановість трактовок поняття «математична компетентність» відображає складність і багатогранність цього феномена, що пояснює й різні підходи до визначення структури математичної компетентності. Проте, незважаючи на відмінності у визначенні структурних компонентів, науковці сходяться в думці, що здатність досягати значних результатів у математичній діяльності визначається наявністю системи знань і вмінь, мотивів здійснення діяльності й ціннісних орієнтацій у галузі математики, а також сформованістю рефлексивно-оцінних умінь.

Якість математичної підготовки та, відповідно, рівень сформованості математичної компетентності значною мірою залежать від мотивації студента щодо вивчення певної математичної дисципліни.

С. Гончаренко визначає мотивацію як систему мотивів або стимулів, чинників, що детермінують конкретну діяльність, поведінку особистості [2, с. 48].

Діяльність будь-якої людини зазвичай полівмтована, і кожен мотив або група мотивів може

робити різний внесок у загальну мотивацію діяльності, а потім і в навчальну діяльність. Крім того, мотиви кожної людини не є сталими, а змінюються в часі під впливом різних чинників, тому мотиваційна сфера також змінюється, тобто є динамічною. Проте певні мотиви є стійкими й домінантними. Саме ці мотиви визначають спрямованість особистості та є ядром мотиваційної сфери.

Для успіху в процесі вивчення математичних дисциплін важливо, щоб у мотиваційній сфері студента стійкими й домінантними мотивами були передусім пізнавальні мотиви та, крім того, мотиви досягнення (прагнення до успіху й уникнення невдач).

Постановка завдання. Метою дослідження є розроблення нечітко-множинної моделі оцінювання рівня навчальної мотивації студентів вивчення певної математичної дисципліни.

Виклад основного матеріалу дослідження. Мотивація навчальної діяльності є латентною характеристикою особистості студента, діагностика якої завжди пов'язана з певними труднощами, оскільки її не можна прямо виміряти.

Як свідчить досвід, формування позитивної мотивації до вивчення математичних дисциплін – процес складний. Він залежить від низки факторів, зокрема, погоджуючись із деякими авторами [3], виділимо такі:

- інтерес до предмета й усвідомленість у необхідності здобуття математичних знань для майбутньої професійної діяльності;
- самооцінка власної здатності до самостійного опрацювання математичного матеріалу;
- якість дидактичного забезпечення навчальної дисципліни;
- обсяг навчального матеріалу, необхідного для засвоєння;
- рівень вимог викладача.

Під час оцінювання наведених факторів ми оперуємо результатами діагностичних методик (у вигляді анкет та інтерв'ю) й експертними висновками. Як правило, такі оцінки мають деяку частку невизначеності у зв'язку з лінгвістичною неоднозначністю, формалізацією критеріїв оцінювання, несуворими межами опису різних ознак. У зв'язку з цим висновки про рівень навчальної мотивації можуть мати певний ступінь неточності. Нечітке уявлення студентів про свої можливості та здібності, неминучі похибки діагностичних методик, суперечливі відповіді тощо роблять доцільним використання інтелектуальних систем, здатних працювати в умовах невизначеності й нечіткості одержаної інформації [4].

Людський спосіб міркувань, що спирається на природну мову, не може бути описаний у рамках традиційних математичних понять. Цим поняттям властива сувороднозначність інтерпретації, а все, що пов'язано з використанням природної мови, має багатозначну інтерпретацію [5].

Тому для оцінювання навчальної мотивації студентів пропонується використати апарат нечіткої логіки, яка ближча по духу до людського мислення і природної мови, ніж традиційні логічні системи. Вона забезпечує ефективні засоби відображення невизначеностей і неточностей реального світу.

У загальному вигляді нечітка логіка – це логіка, яка оперує лінгвістичними змінними за допомогою правил, зрозумілих людині та близьких за структурою до звичайної розмовної мови.

Алгоритм формування лінгвістичної оцінки рівня мотивації до вивчення математичної дисципліни студентом полягає в такому:

1. Опис вхідних і вихідних змінних (фазифікація (fuzzification)). Визначимо кожен із зазначених вище факторів, що впливають на рівень мотивації вивчення математичної дисципліни як лінгвістичну змінну.

Лінгвістична змінна характеризується набором (X, T, U, G, M) , у якому X – назва змінної; T – терм-множина змінної X , U – універсальна множина базових значень (ділянка, в якій визначені значення лінгвістичної змінної); G – синтаксичне правило (що породжують назву термів); M – семантичне правило (що задають функції належності нечітких термів) [6].

Нехай:

X_1 – вхідна лінгвістична змінна «інтерес до предмета». Її терм-множина $T_1 = \{\text{«низький»}, \text{«середній»}, \text{«високий»}\}$, $U = [0; 10]$;

X_2 – вхідна лінгвістична змінна «самооцінка власної здатності до самостійного опрацювання математичного матеріалу». Її терм-множина $T_2 = \{\text{«не здатний»}, \text{«частково потребує допомоги»}, \text{«здатний»}\}$, $U = [0; 10]$;

X_3 – вхідна лінгвістична змінна «обсяг і якість дидактичного забезпечення навчальної дисципліни». Її терм-множина $T_3 = \{\text{«мінімальне забезпечення»}, \text{«достатнє забезпечення»}, \text{«повне забезпечення»}\}$, $U = [0; 5]$;

X_4 – вхідна лінгвістична змінна «обсяг навчального матеріалу, необхідного для засвоєння». Її терм-множина $T_4 = \{\text{«малий»}, \text{«достатній»}, \text{«великий»}\}$, $U = [0; 5]$;

X_5 – вхідна лінгвістична змінна «рівень вимог викладача». Її терм-множина $T_5 = \{\text{«мало вимог»}, \text{«достатньо»}, \text{«високо»}\}$, $U = [0; 5]$;

гливий», «вимогливий», «дуже вимогливий»}, $U = [0; 10]$.

Як вихідну лінгвістичну змінну розглядаємо змінну Y – «рівень мотивації вивчення математичної дисципліни» з терм-множиною $T = \{\text{«низький»}, \text{«середній»}, \text{«високий»}\}$, $U = [0; 10]$.

2. Задання функцій належності нечітких термів. Під час визначення функцій належності нечітких термів для всіх вхідних і вихідної змінних використовувалася функція належності трапецієподібного виду, яка в загальному вигляді описується так:

$$\mu(x, a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a, \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x < b, \\ 1, & b \leq x < c, \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x < d, \\ 0, & x \geq d \end{cases}$$

де a, b, c, d – деякі числові параметри, що характеризують нижню основу трапеції (a, d) та верхню основу трапеції (b, c) і набувають довільних дійсних значень, упорядковані співвідношенням: $a < b < c < d$.

Моделювання здійснювалось із використанням спеціалізованого пакета Fuzzy Logic Toolbox програмного засобу MATLAB [7]. На рисунках 1–6 наведено графіки функцій належності нечітких термів для всіх вхідних і вихідної змінних.

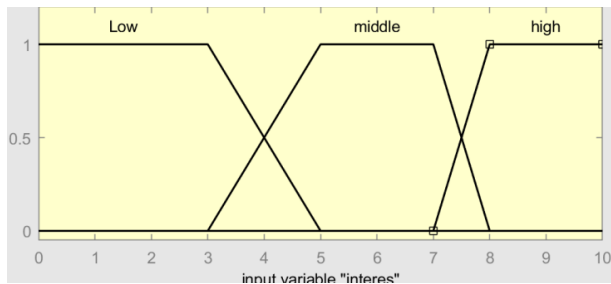


Рис. 1. Функції належності вхідної лінгвістичної змінної «інтерес до предмета»

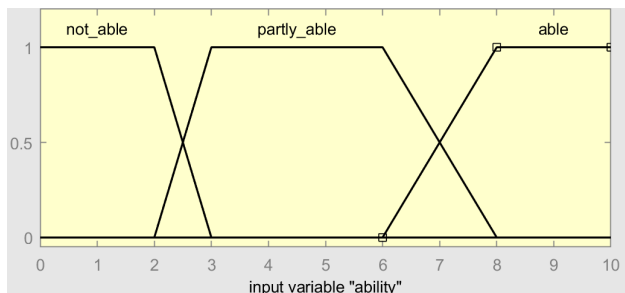


Рис. 2. Функції належності вхідної лінгвістичної змінної «самооцінка власної здатності до самостійного опрацювання математичного матеріалу»

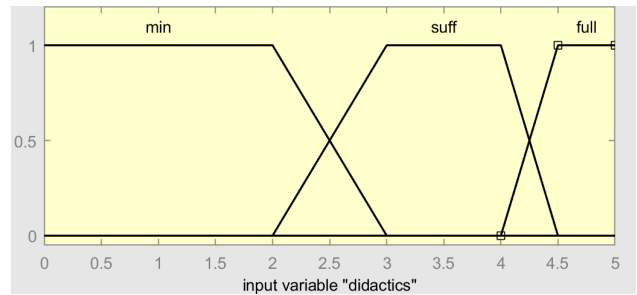


Рис. 3. Функції належності вхідної лінгвістичної змінної «обсяг і якість дидактичного забезпечення навчальної дисципліни»

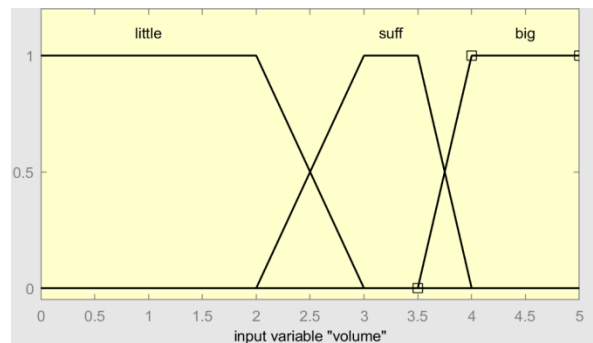


Рис. 4. Функції належності вхідної лінгвістичної змінної «обсяг навчального матеріалу, необхідного для засвоєння»

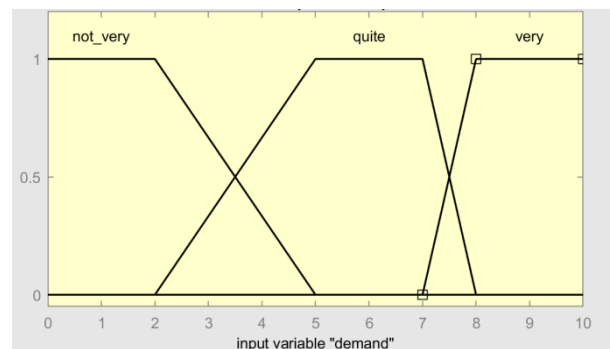


Рис. 5. Функції належності вхідної лінгвістичної змінної «рівень вимог викладача»

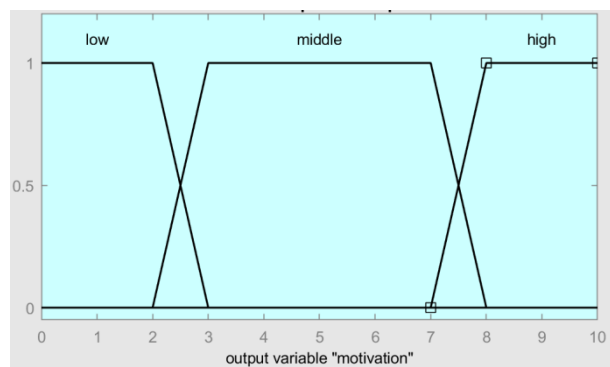


Рис. 6. Функції належності вихідної лінгвістичної змінної «рівень мотивації вивчення математичної дисципліни»

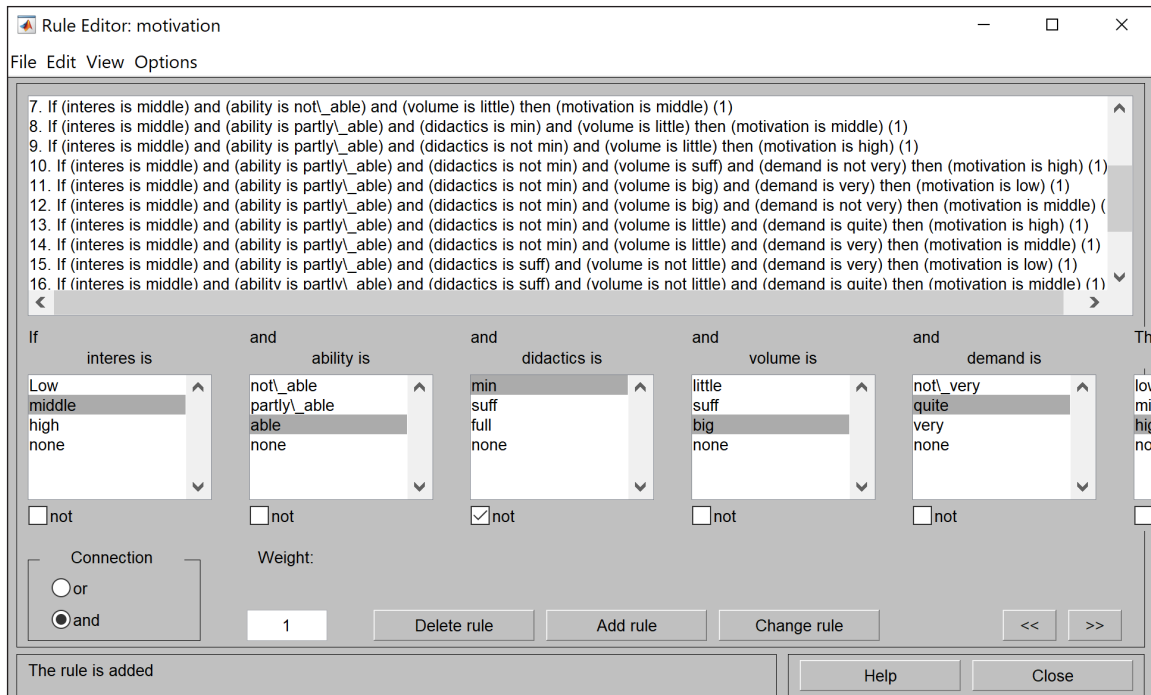


Рис. 7. База правил

3. Побудова бази правил. На основі аналізу предметної ділянки побудовано базу правил системи нечіткого логічного висновку для оцінювання рівня мотивації вивчення математичної дисципліни (рис. 7). Виконання нечіткого висновку реалізовано на основі алгоритму Мамдані (Mamdani).

4. Дефазифікація (defuzzification). Використання правил нечіткого типу If-Then перетворює нечіткий вхід у нечіткий вихід. Процедура дефазифікації перетворює нечіткий вихід у чіткий, використовуючи функцію належності вихідної змінної. Для дефазифікації застосовується метод центроїда, який дає змогу визначити поточне значення вихідної змінної для поточних значень вхідних лінгвістичних змінних, унаслідок чого визначається чіткий результат, який дає інформацію про рівень мотивації студента.

Приклад реалізації нечіткого висновку подано на рис. 8, із якого видно, що при вхідних параметрах: інтерес до предмета – 5; самооцінка власної здатності до самостійного опрацювання математичного матеріалу – 6; обсяг і якість дидактичного забезпечення навчальної дисципліни – 4; обсяг навчального матеріалу, необхідного для засвоєння, – 3; рівень вимог викладача – 6, одержано рівень мотивації – 6,23, що означає середній рівень мотивації.

Таблиця 1

Фрагмент результатів дослідження

№	Рівень мотивації	Оцінка з предмета	Рівень засвоєння знань
1	низький	1,24	3,00
2	середній	3,46	4,00
3	середній	4,95	4,54
4	середній	5,00	3,30
5	середній	5,42	3,28
6	середній	5,44	3,60
7	середній	5,61	4,10
8	середній	6,22	4,78
9	середній	6,23	4,92
10	середній	6,29	4,30
11	високий	8,57	4,90
12	високий	8,67	4,61
13	високий	8,72	4,61
14	високий	8,76	4,53
15	високий	8,76	4,30

Чисельні значення вихідної змінної дають змогу диференціювати оцінку рівня мотивації студентів у групі. Успішність студента визначається одночасною дією багатьох показників, навчальна мотивація є, як правило, одним із основних факторів, що впливають на результати навчання.

У ході дослідження визначено рівень мотивації вивчення математичної дисципліни, проведено

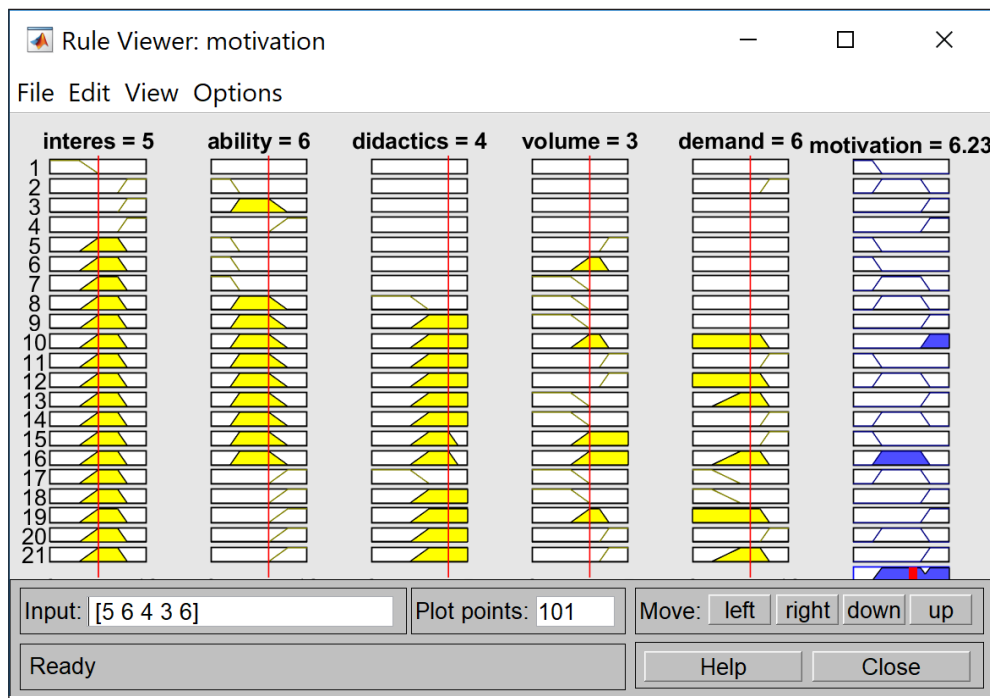


Рис. 8. Реалізація нечіткого висновку

кореляційний аналіз між рівнем мотивації та результатами вивчення дисципліни (підсумковою оцінкою, одержаною студентом наприкінці семестру). У дослідженні брали участь студенти 4 курсу. Фрагмент результатів дослідження подано в таблиці 1.

Кореляційний аналіз між показником навчальної мотивації та підсумковою оцінкою, одержаною студентом по завершенню вивчення дисципліни, показав, що існує позитивний помірний зв'язок, оскільки $r = 0,69$, тобто в разі підвищення навчальної мотивації покращуються результати вивчення дисципліни.

Висновки. У статті запропоновано модель оцінювання навчальної мотивації студентів під час вивчення математичних дисциплін, в основу якої

покладено теорію нечітких множин. Одержані результати дають змогу виявити причини низької мотивації студентів до вивчення певної навчальної дисципліни. Аналіз рівня мотивації в групі дає можливість з'ясувати потенціал групи та мотиваційні підгрупи.

Сучасний рівень системи освіти вимагає від викладача не тільки постійного вдосконалення власного рівня знань і загального рівня розвитку своєї особистості, а й модернізації методики викладання. Результати цього дослідження можуть бути використані для оптимізації процесу педагогічної взаємодії викладача і студентів у навчальному процесі, вибору стратегії активізації пізнавальної діяльності студентів.

Список літератури:

1. Триус Ю.В. Комп'ютерно-орієнтовані методичні системи навчання математичних дисциплін у ВНЗ: проблеми, стан і перспективи. *Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М.П. Драгоманова. Серія 2 «Комп'ютерно-орієнтовані системи навчання»*: зб. наук. праць. 2010. Вип. 9 (16). С. 16–29.
2. Гончаренко С.У. Український педагогічний словник. Київ: Либідь, 1997. 376 с.
3. Emma Kusztina, Oleg Zaikin, Andrzej Żyławski, Ryszard Tadeusiewicz. Model motywacji nauczyciela i studentów podczas nabywania kompetencji. *Zeszyt Naukowy Warszawskiej Wyższej Szkoły Informatyki*. Nr 9. Rok 7. 2013. S. 119–137.
4. Чернявская Е.В. Применение теории нечеткой логики для оценки профессиональной пригодности школьников. *Вестник НГУ. Серия «Педагогика»*. 2011. Том 12. Выпуск 2. С. 66–71.
5. Джексон П. Введение в экспертные системы. Москва: Издательский дом «Вильямс», 2001. 624 с.
6. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. Москва: Мир, 1976. 165 с.
7. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами. Москва: Горячая линия – Телеком, 2007. 288 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ FUZZY LOGIC TOOLBOX ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ УРОВНЯ УЧЕБНОЙ МОТИВАЦИИ

Целью исследования является разработка нечетко-множественной модели оценки уровня учебной мотивации студентов к изучению математической дисциплины. Для оценки учебной мотивации студентов предлагается использовать аппарат нечеткой логики. В статье представлен алгоритм формирования лингвистической оценки уровня мотивации к изучению математической дисциплины студентом. Приведен пример реализации нечеткого вывода с помощью MatLab-инструментария Fuzzy Logic Toolbox. Также представлены результаты корреляционного анализа между уровнем мотивации и результатами изучения дисциплины.

Ключевые слова: нечетко-множественная модель, нечеткая логика, лингвистическая переменная, Fuzzy Logic Toolbox, мотивация.

USING THE FUZZY LOGIC TOOLBOX TO MODEL THE LEVEL OF STUDYING MOTIVATION

The aim of the study is to develop a fuzzy model for evaluation of the educational motivation level of students studying mathematical discipline. To investigate students' learning motivation, it is suggested to use a fuzzy logic. The article presents the algorithm of forming a linguistic evaluation of the level of motivation to study mathematical discipline by the student. An example of implementation a fuzzy output using the Fuzzy Logic Toolbox is given. The results of the correlation analysis between the level of motivation and the results of studying of the discipline are also presented.

Key words: fuzzy model, fuzzy logic, linguistic variable, Fuzzy Logic Toolbox, motivation.

УДК 004.94

Ковалюк Д.О.

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

Ковалюк О.О.

Вінницький національний технічний університет

Бородін В.І.

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

Степанюк М.М.

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

ІНТЕГРАЦІЯ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ

У статті досліджується інтеграція програмних компонентів системи керування технологічним процесом депарафінізації дизельного палива. Розроблено математичну модель скрубера та виконано налаштування параметрів регулятора в середовищі Simulink. Створено графічний інтерфейс для візуалізації даних технологічного процесу на основі SCADA-системи Trace Mode. Проаналізовано можливі варіанти взаємодії середовища моделювання Matlab із середовищем візуалізації Trace Mode. Запропонована інтеграція з використанням OPC-сервера, створеного за допомогою пакету CoDeSys. Реалізовано обмін даних між середовищами, що дає змогу розраховувати необхідні параметри керування в одному програмному пакеті й застосовувати в іншому.

Ключові слова: скрубер, моделювання, візуалізація, OPC-сервер, SCADA система.

Постановка проблеми. Натепер якісне управління будь-яким технологічним процесом неможливе без урахування його поточного стану та розрахунку керуючих впливів у реальному часі. Це зумовлює необхідність розроблення системи керування, яка б здійснювала збирання параметрів технологічного процесу, їх обробку, розрахунків керуючих дій.

Для досягнення такої мети передусім необхідно отримати математичний опис об'єкта керування, що дасть змогу знаходити оптимальні налаштування параметрів регуляторів. Зазначимо, що розвиток числових методів, комп'ютерних технологій і засобів моделювання дає можливість отримувати математичні моделі об'єктів будь-якої складності. Очевидно, що більш складне представлення об'єкта дає змогу застосовувати складніші закони керування і, як результат, отримати кращі показники якості. Разом із тим для оперативного керування та моніторингу процесу математичний апарат має бути інтегрований до загальної системи керування [1].

Отже, постає завдання інтеграції програмних засобів систем керування – математичного забезпечення для розрахунку оптимальних параметрів

і програмних компонентів для візуалізації та керування процесом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сучасному етапі розвитку автоматизованих систем керування роль інтеграції відіграють SCADA-системи, які формують єдиний інформаційний простір виробництва. Вони отримують інформацію від польових пристроїв або контролерів, реалізують візуалізацію процесу для операторів-технологів, здійснюють моніторинг і керування. Більшість SCADA-систем дають змогу запрограмувати нескладні контури керування з типовими регуляторами. Проте, аналізуючи сучасні технологічні об'єкти і процеси, можна зробити висновок про необхідність використання спеціалізованих засобів математичного моделювання, оскільки завдання оптимізації та складні моделі об'єктів не під силу типовим SCADA.

Розглянемо можливі шляхи інтеграції програмних компонентів у системах керування. У роботі [2] описується використання програмних засобів різних класів: система імітаційного моделювання об'єкта управління, SoftLogic-система й PC-емулятор контролера – для реалізації алгоритмів і програм управління, SCADA-система – для візуалізації процесу й супервізорного управління.

Також для інтеграції застосовується уніфікована архітектура OPC UA [3] з її ключовими особливостями, яка дає змогу розширити можливості з передачі даних між програмами в середовищі промислового підприємства. Наведено переваги і приклад реалізації роботи цієї архітектури.

Ще одним із варіантів є обмін даними між елементами систем керування через бази даних та інші види сховищ, у тому числі й хмарних. Зокрема, в праці [4] розглянуті різні технології передавання даних у середовищі сучасних SCADA-систем і проведено їх порівняльний аналіз з погляду можливості використання для передачі великих обсягів даних. Особливу увагу приділено можливостям імпорту й експорту даних із баз і сховищ даних SCADA-систем. У роботі [5] запропоновано підхід до програмної реалізації нетипових лінійних законів регулювання на програмованих логічних контролерах та апробації систем на комбінованих моделях. Також розглядається можливість застосування Simulink-моделі, що є OPC-клієнтом.

Приклад застосування програмного пакету Matlab для моделювання системи управління процесом ректифікації наведено в статті Л.Г. Тугашова [6]. Розглянуто особливості установок переробки нафти, інтеграцію компонентів виконано на основі OPC.

Отже, одним із найбільш перспективних та універсальних рішень для використання різних програмних засобів у складі систем керування технологія OPC. Хоча приклади такої інтеграції сьогодні відомі, існує необхідність дослідити реалізацію підходу для конкретних програмних засобів і технологічних процесів.

Постановка завдання. Метою статті є розроблення системи керування скруберам та інтеграція її компонентів на основі OPC-технології. Реалізація передбачає такі кроки:

1. Розроблення математичної моделі й розрахунок керування.
2. Розроблення візуального інтерфейсу з використанням SCADA.
3. Вибір і налаштування OPC-сервера.
4. Інтеграція програмних засобів з використанням технології OPC.

Виклад основного матеріалу дослідження. Математичне моделювання скрубера. Скрубер є фінальною стадією депарафінації дизельного палива. Паливо потрапляє в скрубер, де з нього водою вимивається метанол, у результаті чого на виході отримується очищене дизельне паливо й водяна витяжка метилового спирту. Завданням керування є отримання заданої концентрації метилового спирту в очищеному дизельному паливі.

Математичне моделювання скрубера проводилось з урахуванням таких припущень: утрати тепла в навколишнє середовище незначні, тому знехтуємо ними; рівень і температура в апараті підтримуються сталими; акумуляцією тепла в стінках знехтуємо через невелику товщину стінок; об'єкт із зосередженими параметрами.

Використовуючи матеріальні баланси, отримано таку систему рівнянь:

$$\begin{cases} F_g y_0 - F_g y_1 - SK_g \frac{(y_0 - y_r(x_1)) + (y_1 - y_r(x_0))}{2} = V_g \rho_g \frac{d}{dt} \left(\frac{y_0 + y_1}{2} \right), & (1) \\ F_r x_0 - F_r x_1 + SK_r \frac{(x_0 - x_r(y_1)) + (x_r(y_0) - x_1)}{2} = V_r \rho_r \frac{d}{dt} \left(\frac{x_0 + x_1}{2} \right), & (2) \end{cases}$$

де $y_r(x)$, $x_r(y)$ – рівноважні концентрації метилового спирту; y_0 – концентрація метилового спирту в дизельному паливі, y_1 – концентрація метилового спирту в очищеному дизельному паливі, x_0 – концентрація метилового спирту у воді, x_1 – концентрація метилового спирту у водній витяжці метилового спирту; K_g , K_r – коефіцієнти масообміну; S – поверхня масообміну в скрубери; V_g , V_r – об'єм, зайнятий, відповідно, паливом і водою; ρ_g , ρ_r – густини дизельного палива та води.

Після подальших перетворень отримано математичну модель каналу керування «витрата води – концентрація» $F_r \rightarrow y_1$ у вигляді передатної функції другого порядку:

$$W_{F_r}(p) = -\frac{0,0035}{127p^2 + 30p + 1}.$$

Для розрахунку й дослідження системи керування передбачається використовувати середовище Simulink, що дасть змогу оптимізувати параметри регулятора.

Візуалізація даних технологічного процесу. Сьогодні найбільш поширене розуміння SCADA як програмного комплексу, що забезпечує виконання функцій диспетчерського управління та збирання даних, а так само інструментальних засобів розроблення цього програмного забезпечення.

У роботі використовуються обидва підходи: спочатку на основі інструментальних засобів SCADA розробляється програмне забезпечення системи керування, а згодом імітується й досліджується робота об'єкта – скрубера.

Зауважимо, що в більшості випадків SCADA-системи дійсно дають змогу значно прискорити процес створення ПЗ верхнього рівня АСУТП, не вимагаючи при цьому від розробника знань сучасних мов програмування.

Для візуалізації технологічного процесу, що проходить у скрубери, обрано середовище Trace

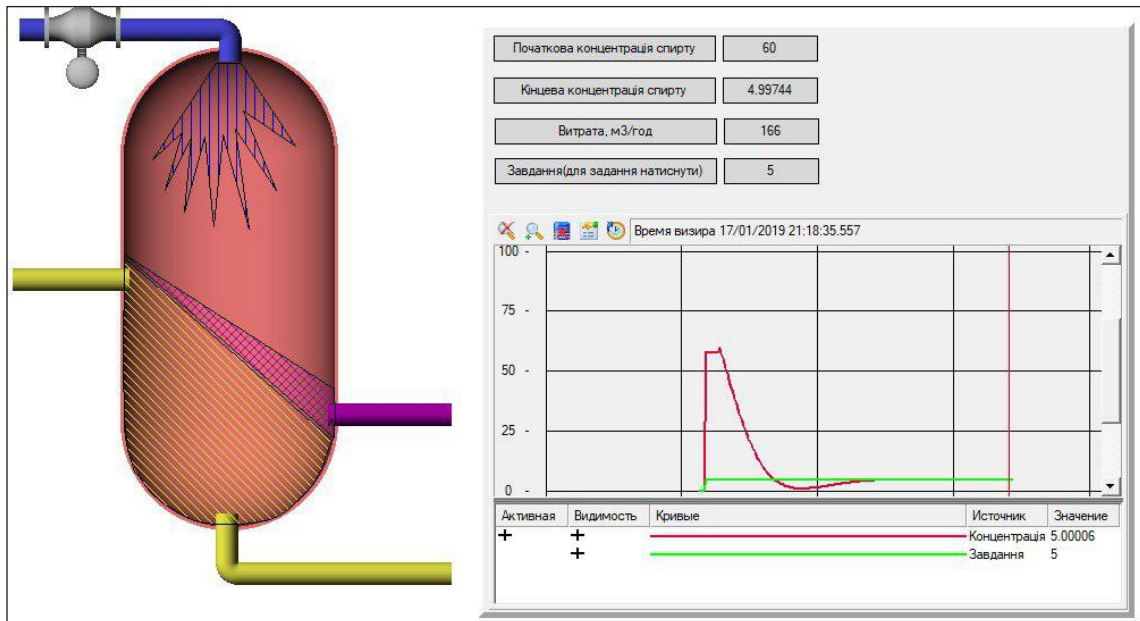


Рис. 1. Інтерфейс SCADA-системи керування скруббером

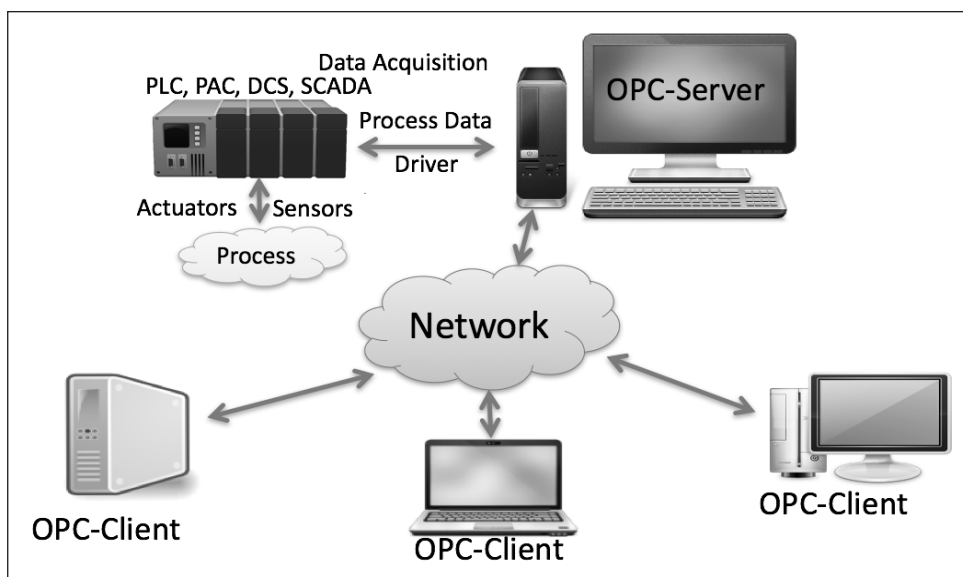


Рис. 2. Структура передачі інформації відповідно до стандарту OP

Mode. Результати роботи візуалізації процесу в програмному середовищі Trace Mode показані на рис. 1. Рисунок містить схематичне зображення апарату з його входами й виходами, значення початкової концентрації на вході та кінцевої концентрації спирту в дизельному паливі, значення витрати води в апараті й завдання концентрації.

Передбачається можливість побудови графіків технологічних параметрів у реальному часі зміни, а саме вихідної концентрації від витрати води на вході. Усе це супроводжується анімацією на екрані оператора.

Реалізація обміну даних за стандартом OPC. Для реалізації обміну даних між математичною моделлю, що розраховується в Matlab, і графічним інтерфейсом, розробленим у Trace Mode, використаний стандарт OPC. Це стандарт обміну даних між додатками, призначений для застосування в галузі автоматизації управління технологічними процесами [7]. Взаємодія пристроїв, згідно із цим стандартом, здійснюється на основі понять OPC-сервера й OPC-клієнтів і показана на рис. 2.

Згідно зі стандартом, сервер визначає інтерфейс методів, які мають бути реалізовані клієнтськими програмами. Зазначимо, що стандарт

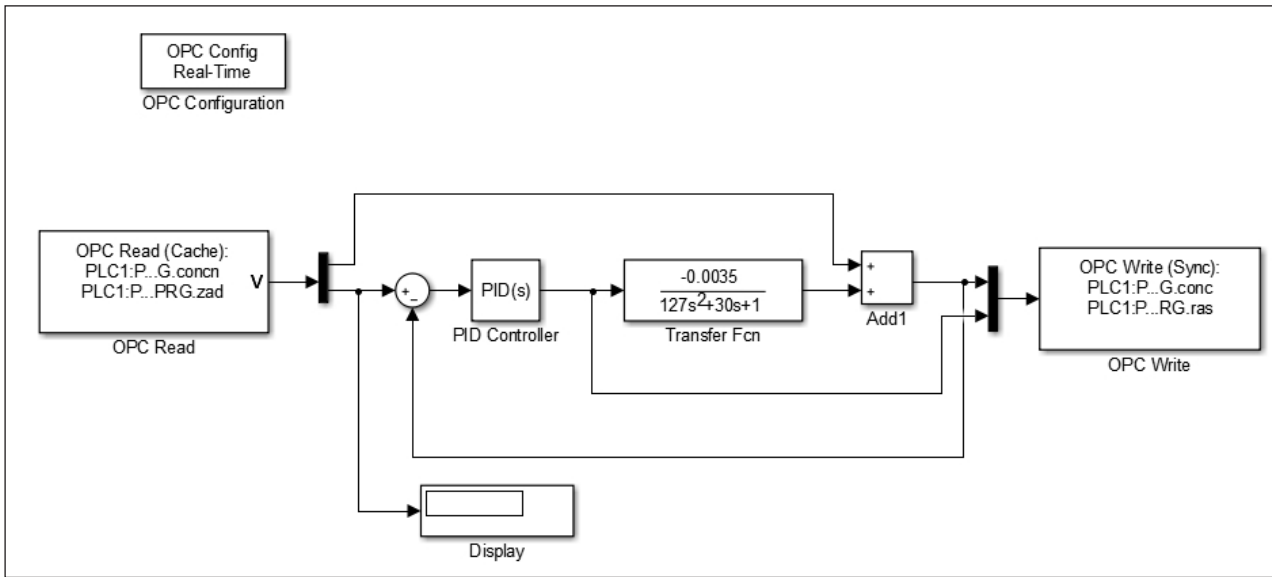


Рис. 3. Схема підключення OPC-сервера в Simulink

OPC може бути використаний не тільки для взаємодії SCADA з технічним забезпеченням, а й для обміну даними з будь-яким джерелом, наприклад, із базою даних.

На рис. 3 зображена схема реалізації обміну даних середовища Matlab із OPC-сервером. Підключення виконується за допомогою стандартного пакету OPC Toolbox. Зчитування даних з OPC-сервера в Simulink виконується за допомогою блоку OPC Read, передача даних на сервер – OPC Write, налаштування роботи із сервером проводиться у блоці OPC Config Real-Time.

За допомогою блоку OPC Read з OPC – сервера в Simulink, передаються значення завдання та початкової концентрації. Після цього сигнал завдання подається на одноконтурну систему керування скрубером з ПІД-регулятором. Результати роботи системи керування, а саме концентрація на виході й поточне керування, за допомогою блоку OPC Write записуються на OPC-сервер і стають доступними для інших клієнтів, у нашому випадку середовище для візуалізації Trace Mode.

Наступним кроком є реалізація обміну даних OPC-сервера із середовищем Trace Mode. Для отримання даних із OPC-сервера в SCADA-системі Trace Mode в дерево апаратної частини проекту «Істочники/приемники» додається група й компонент OPC, де вказуються вхідні та вихідні змінні, у цьому випадку це початкова концентрація спирту, кінцева концентрація спирту, витрата води як керування та завдання.

За рахунок такого підключення розрахунки відбуваються в середовищі Matlab, а результати

розрахунків виводяться в графічному інтерфейсі оператора (рис. 1), розробленого в Trace Mode, у реальному часі. Структурна схема описаної вище системи керування зображена на рис. 4. Відзначимо, що Trace Mode та Simulink виступають у ролі OPC-клієнта.

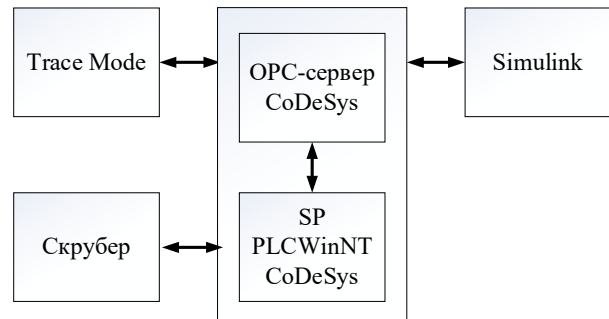


Рис. 4. Структурна схема системи керування

Ця система має низку переваг: формування бази даних технологічних параметрів, реалізація більш складних алгоритмів керування або використання вже розроблених у Matlab, обробка даних у реальному часі, використання різноманітних платформ, представлення результатів роботи скрубера в реальному часі в графічному інтерфейсі оператора, можливість керування процесом із графічного інтерфейсу оператора.

Висновки. Результатом роботи є система керування скрубером, яка складається з декількох незалежних програмних продуктів, що взаємодіють за стандартом OPC – Matlab і Trace Mode. Це дає можливість змінювати технологічні

параметри об'єкта в одному з програмних середовищ і враховувати відповідні значення в іншому. Наприклад, перехідна характеристика системи керування передається й відображається в Trace Mode, а користувач може змінювати завдання (концентрація на виході скрубера), яке передається в Simulink, для обчислення нових значень

керуючих впливів. Запис даних на сервері проводиться в реальному часі. Зазначимо, що запропонована архітектура дає змогу виконати інтеграцію з наявними технічними засобами автоматизації. Подальші дослідження передбачають створення бази даних для збереження параметрів технологічного процесу та їх обробки.

Список літератури:

1. Ковалюк О.О., Ковалюк Д.О. Інтеграція програмних компонентів розподіленої інформаційної системи. *Наукові праці Вінницького національного технічного університету*. 2011. № 4. С. 1–5.
2. Рыбалев А.Н., Николаец Ф.А. Разработка и эмулирование АСУ ТП с использованием программ разных производителей и типов. *Вестник АмГУ*. 2014. Вып. 65. С. 73–82.
3. Богданов В., Киселева О. OPC Unified Architecture: изменения в популярной технологии информационных обменов с точки зрения инженера. *Современные технологии автоматизации*. 2010. № 3. С. 82–87.
4. Вицентий А.В., Харионовский Е.В. Технологии доступа к данным в современных SCADA-системах. *Труды Кольского научного центра РАН*. 2011. № 12. С. 203–210.
5. Рыбалев А.Н. Компьютерное моделирование нетиповых законов регулирования для программируемых логических контроллеров. *Информатика и системы управления*. 2016. № 4 (50). С. 33–43.
6. Тугашова Л.Г. Повышение качества регулирования температурного режима ректификационной колонны. *Новый университет: международный научный журнал*. 2016. № 10–11. С. 56–57.
7. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. Москва, 2014. 608 с.

ИНТЕГРАЦИЯ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

В статье исследуется интеграция программных компонентов системы управления технологическим процессом депарафинизации дизельного топлива. Разработана математическая модель скруббера и рассчитаны настройки параметров регулятора в среде Simulink. Создан графический интерфейс для визуализации данных технологического процесса на основе SCADA-системы Trace Mode. Проанализированы возможные варианты взаимодействия среды моделирования Matlab со средой визуализации Trace Mode. Предложена интеграция с использованием OPC-сервера, созданного на основе пакета CoDeSys. Реализован обмен данными между средами, что позволяет рассчитывать необходимые параметры управления в одном программном пакете и применять в другом.

Ключевые слова: скруббер, моделирование, визуализация, OPC-сервер, SCADA-система.

INTEGRATION OF CONTROL SYSTEMS SOFTWARE

The article examines the possibility of combining software tools for modeling of technological objects and visualization of the obtained data. The main focus is on Matlab environment interfacing with the visualization environment through the use of an OPC server. As clients, were used Matlab and Trace Mode software packages, which were connected to the server created by using the CoDeSys package. As a result, has been received a customized data exchange between different environments, which allows you to calculate the required parameters in one software package and apply it to another. In conclusion of the work was obtained the simulation model of the scrubber work with visualization.

Key words: scrubber, modeling, visualization, OPC-server, SCADA system.

УДК 621.039.534

Конциур В.О.

Одеський національний політехнічний університет

РОЗРАХУНОК І ВИБІР РЕГУЛЮЮЧОГО ОРГАНУ ДЛЯ ПІДТРИМКИ РІВНЯ ДРЕНАЖУ В ГРУПІ ПІДІГРІВАЧІВ НИЗЬКОГО ТИСКУ ЕНЕРГОБЛОКУ 1000 МВт ЗАПОРІЗЬКОЇ АЕС

У статті об'єктом проектування є технологічна ділянка групи ПНТ, що входить у другий контур енергоблоку АЕС. Проведено розрахунок і вибір регулюючого органу для підтримки дренажу в групі підігрівачів низького тиску енергоблоку 1000 МВт Запорізької АЕС. У тепловій схемі атомної електростанції з реактором типу ВВЕР-1000 застосовується система регенерації низького тиску, яка призначена для регенеративного підігрівання основного конденсату турбоустановки паром, що частково відпрацювала в проточній частині ЦНТ турбіни. Застосування ПНТ підвищує ККД установки й суттєво впливає на безпеку та надійність АЕС.

Ключові слова: АЕС, система регенерації низького тиску, підігрівач низького тиску, дренаж, регулюючий орган, виконавчий механізм.

Постановка проблеми. У тепловій схемі атомної електростанції з реактором типу ВВЕР-1000 застосовується система регенерації низького тиску, яка призначена для регенеративного підігрівання основного конденсату турбоустановки паром, що частково відпрацювала в проточній частині ЦНТ турбіни. Застосування підігрівачів низького тиску (далі – ПНТ) підвищує ККД установки й суттєво впливає на безпеку та надійність АЕС.

Підігрів основного конденсату в ПНТ здійснюється через поверхню трубної системи.

У реакторній установці використовуються регенеративні підігрівачі поверхневого типу, тобто такі, в яких гріюче середовище (пар відбору турбіни) відокремлене від середовища, що нагрівається (вода конденсатно-живильного тракту). Пар конденсується в ПНТ у вигляді води, так званий дренаж, відводиться на попередній по ходу ПНТ. З першого після конденсатора підігрівача дренаж зливається в конденсатор. Така схема отримала назву «каскадний злив дренажів».

Під час автоматизації процесу регулювання рівня в ПНТ одним із найважливіших параметрів є рівень конденсату (дренажу) гріючої пари. Підвищення рівня конденсату в ПНТ може зумовити затоплення змійовиків і, як наслідок, потрапляння вологи в турбіну, що призведе до аварії з пошкодженням лопаток турбіни. Зниження рівня призводить до оголення змійовиків та, отже, до запарювання ПНТ, підвищення в ньому тиску, що може зумовити розрив з'єднувальних труб. Контроль рівня конденсату забезпечує безаварійну роботу всього блоку. Крім того, великий запас води в кор-

пусі підігрівача може викликати її скипання й аварійну занедбаність пароводяної суміші в парову турбіну, якщо при різкому зниженні навантаження турбіни недостатньо швидко закриють зворотні клапани на паропроводі відбору.

Однією з ланок системи автоматичного регулювання рівня дренажу в групі ПНТ є дросельний регулюючий орган, що приводиться в дію виконавчим механізмом.

Постановка завдання. Тому метою статті є розрахунок і вибір регулюючого органу для підтримки дренажу в групі ПНТ.

Виклад основного матеріалу дослідження. Опис і принцип роботи об'єкта автоматизації. У регенеративних підігрівачах відбувається нагрів конденсату й поживної води паром, що надходить із нерегульованих відборів турбіни. У підігрівачі, розташовані далі по ходу поживної води, пара надходить від відборів турбіни з більш високим тиском, що й забезпечує поступове підігрівання води в міру її просування від конденсатора до парогенератора. Дренаж (конденсат) гріючої пари або відводиться самопливно в паровий простір попереднього по ходу води підігрівача, або подається насосом у поживну лінію.

ПНТ є вертикальним кожухотрубним циліндричним апаратом зварної конструкції, відповідно до рисунка 1. Вертикальні підігрівачі найбільш зручні під час компонування обладнання в машинному залі. Крім того, конденсуюча пара утворює плівку на теплообмінній поверхні, якщо вона вертикальна, то полегшується відведення плівки конденсату, що підвищує коефіцієнт теплопередачі й зменшує теплообмінну поверхню.

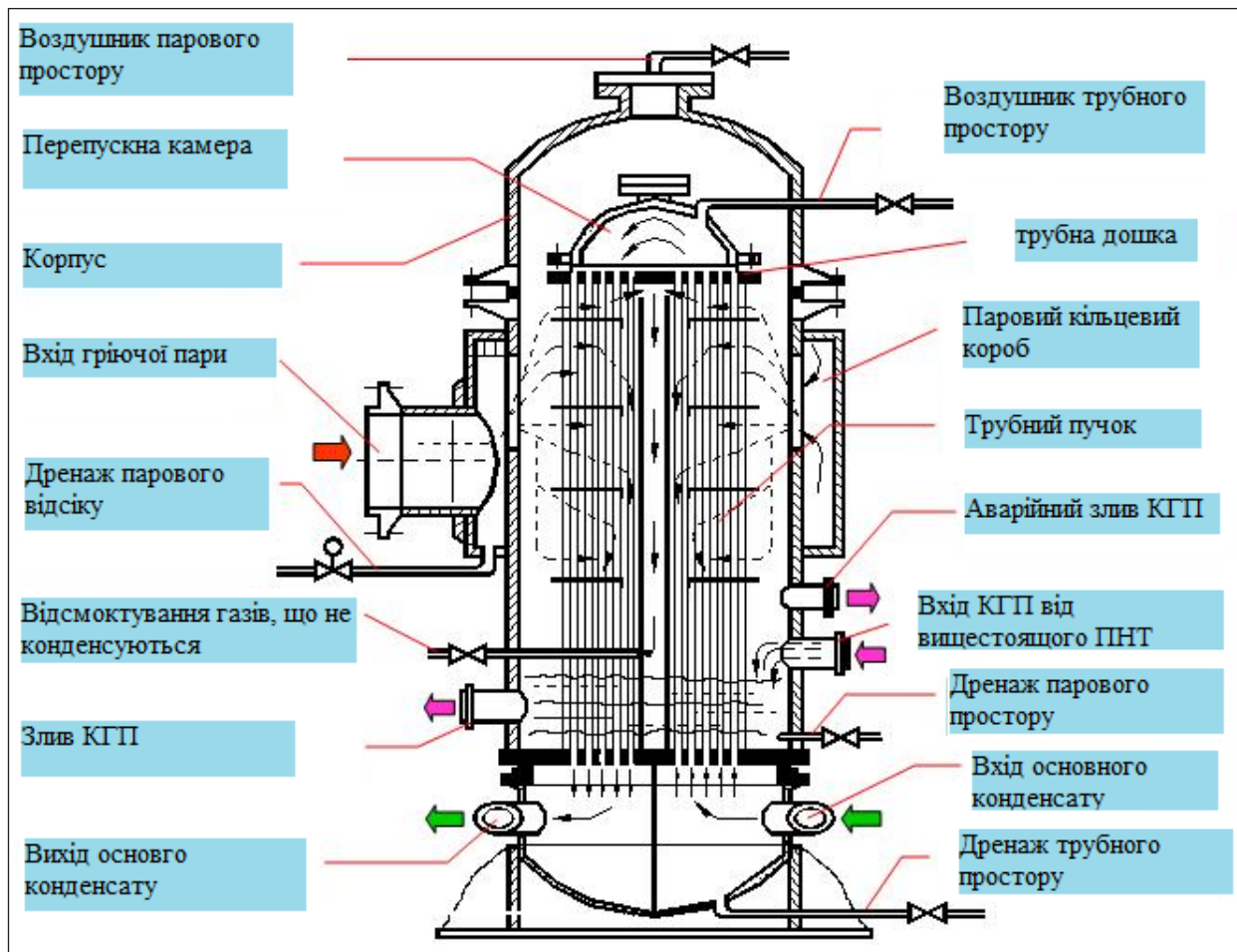


Рис. 1. Підігрівач низького тиску

Для компенсації температурних подовжень трубої системи перепускна камера виконана «плаваючою». З метою забезпечення рівномірного підведення пари до трубного пучка на корпусі кожного апарату встановлений кільцевий короб (зовнішній кожух). Пара до трубного пучка підводиться рівномірно по кільцевому коробу й через отвори у внутрішній сітківці по колу подається в кільцевий проміжок між трубою системою та корпусом.

Для організації спрямованого руху пари в трубному пучку останній на 3/4 довжини кола по всій висоті поміщений у кожух. Основними вузлами підігрівача є корпус, трубний пучок, знімна кришка, розподільна й перепускна камери. Підігрівачі виконані двоходовими по основному конденсату. Трубний пучок підігрівача є єдиним конструктивним вузлом, що складається з каркаса (двох трубних дощок), центральної труби та перегородок, які слугують для дистанціювання теплообмінних труб зі сплаву МНЖ.

Гріюча пара подається в трубну систему ПНТ по всій її висоті з боку другого ходу основного

конденсату й рухається паралельними потоками в бік облаштування відсмоктування газів, що не конденсуються, омиваючи трубний пучок. Підведення та відведення основного конденсату виконане в нижній частині підігрівача. Підведення гріючої пари та відведення конденсату бічні. Для виходу повітря з корпусу в разі заповнення його водою у верхній кришці газового люка передбачений штуцер із повітряним вентилем. Вихід повітря в разі заповнення трубної системи здійснюється по трубі, виведеній у нижній частині корпусу. Для видалення газів, що не конденсуються, передбачений спеціальний пристрій, виконаний у вигляді двох каналів прямокутного перерізу, розташованих з боку першого ходу трубного пучка по всій його висоті. Пароповітряна суміш відсисається з кожного відсіку трубної системи через перфоровані стінки каналів.

Сукупність виконавчого механізму й регулюючого органу називається виконавчим пристроєм. Від правильного вибору та розрахунку виконавчого пристрою залежить якість роботи системи регулювання.

Виконавчий механізм перетворює вихідний сигнал регулятора в переміщення регулюючого органу. Додатково за допомогою ВМ вирішуються й інші завдання управління: пуск й зупинка самого технологічного процесу, а також різних машин і механізмів по ходу процесу. Такий пристрій зазвичай складається з виконавчого двигуна, передавального або перетворювального вузла (наприклад, редуктора), а також систем захисту, контролю та сигналізації положення вихідного елемента, блокування й відключення. Передавальна функція (далі – ПФ) ВМ входить у ПФ регулятора, тому ВМ повинен володіти достатніми швидкодією й точністю, щоб здійснювати переміщення РО з якомога меншим спотворенням закону регулювання. Виконавчі механізми бувають електричні, пневматичні, гідравлічні та комбіновані. Перевагою електричних ВМ є можливість дистанційного керування і простота конструкції. Вони, у свою чергу, поділяються на електродвигунні й електромагнітні (соленоїдні).

Регулюючий орган здійснює безпосередній контакт і взаємодію з технологічним середовищем, речовиною, матеріалом або теплоносієм і покликаний змінювати через свою виконавчу частину кількісні або якісні характеристики речовини чи матеріалу; регулюючі органи найбільш часто представлені у вигляді трубопровідної арматури, стрижнів, позиціонують у робочій зоні установки, механічно пов'язаних вузлів і компонентів, що взаємодіють один із одним у процесі протікання технологічних процесів. Регулюючими органами можуть бути різного роду дросельні заслінки, клапани, засувки, шибери, здатні робити зміну кількості робочої речовини, що надходить в об'єкт управління.

Система автоматичного регулювання рівня дренажу в групі ПНТ здійснюється за допомогою дросельного регулюючого органу, що приводиться в дію виконавчим механізмом для підтримки рівня дренажу в заданих межах.

За характером своєї дії дросельний регулюючий орган є місцевим гідравлічним опором, коефіцієнт опору якого залежить від ступеня відкриття. Потік середовища, що проходить через регулюючий орган, витрачає частину енергії на подолання його опору. Унаслідок цього витрата цього середовища змінюється відповідним чином. Як дросельні регулюючі органи застосовують клапани, поворотні заслінки, шибери, золотники тощо.

Розрізняють два види характеристик регулюючих органів: витратні й конструктивні. Вони можуть бути побудовані в абсолютних або від-

носних величинах. Витратна характеристика – це залежність величини витрати середовища від ступеня відкриття регулюючого органу. Конструктивна характеристика являє собою залежність прохідного перетину регулюючого органу від ступеня його відкриття.

Промисловістю випускаються регулюючі органи з трьома видами конструктивних характеристик: лінійними, параболічними та логарифмічними.

Вибір і розрахунок регулюючого органу може здійснюватися як для наявної системи, так і для спроектованої. У першому випадку регулюючий орган розраховується так, щоб за максимальної витрати витрата тиску в ньому відповідала б надлишковому тиску середовища, створюваному побудником витрати, а форма робочої характеристики була близька до заданої. У другому випадку вибір і розрахунок регулюючого органу проводиться одночасно з гідравлічним розрахунком мережі й визначенням початкового тиску середовища, отже, щоб утрата напору при максимальному відкритті була мінімальною, а форма робочої характеристики близька до заданої.

Розрахунок регулюючого органу

Початкові дані:

Середовищеконденсат;
 Максимальна об'ємна витрата Q_{max} 202 м³/год;
 Перепад тисків при макс. розрахунковій витраті $\Delta P_{ро}$5,75 кгс/см²;
 Температура θ 156,3°С;
 Густина982,6 кг/м³;
 Абсолютний тиск до РО P_{1e}6,3 кг/см²;
 Абсолютний тиск насичених парів $P_{н90^{\circ}C}$0,4 кгс/см²;
 Кінематична в'язкість при 90°С $\nu_{90^{\circ}C}$0,00328 см²/с.
 Визначаємо максимальну пропускну здатність:
 $K_{vmax}=Q_{max} \sqrt{\rho / \Delta P_{ро}} = 73 \text{ м}^3 / \text{год}$. (1)

Попередньо за каталогом вибираємо двосідельний РО, який має $D_u=150\text{мм}$; $K_{vy}=90=1,2K_{vmax}=108 \text{ м}^2/\text{год}$.
 Визначаємо число Рейнольдса:

$$Re=3530 \frac{Q_{max}}{\nu D_u} = 2,2 * 10^6. \quad (2)$$

Так як $Re > 2000$, то вплив в'язкості на витрату не враховується й обраний РО перевіряється на можливість виникнення кавітації.

Визначаємо коефіцієнт опору РО:

$$\xi = \frac{25,4 * 3,14^2 * 10^4}{9^2 * 90^2} = \frac{25,4 * F^2}{K^2 \nu} = 3,8. \quad (3)$$

Знаходимо коефіцієнт кавітації $K_c=0,58$.

Визначаємо перепад тисків, за яких виникає кавітація:

$$\Delta P_{\text{кав}} = K_c(P_1 - P_n) = 0,58(6,3 - 0,4) = 3,42 \text{ кгс/см}^2. \quad (4)$$

Заданий перепад тисків $\Delta P_{\text{ро}}$ більший за $\Delta P_{\text{кав}}$, отже, обраний РО буде працювати в кавітаційному режимі й не забезпечить задану витрату рідини.

Якщо за умовами технологічного процесу неможливо знизити $\Delta P_{\text{ро}}$ до $\Delta P_{\text{кав}}$ або збільшити $\Delta P_{\text{кав}}$ до $\Delta P_{\text{ро}}$, то необхідно вибрати найближчий більший РО, для якого знову визначається ξ , K_c і $\Delta P_{\text{кав}}$. У цьому випадку вибираємо РО з умовним проходом $D_u = 2000$ мм; $K_{vu} = 140 = 1,2 K_{vmax} = 160 \text{ м}^3/\text{год}$, для котрого

$$\xi = \frac{25,4 * 3,14^2 * 15^4}{9^2 * 160^2} = \frac{25,4 * F^2}{K^2 V_y} = 6,1. \quad (5)$$

Визначаємо коефіцієнт кавітації, що відповідає максимальній витраті $K_{cmax} = 0,52$.

$$\Delta P_{\text{кавmax}} = K_{cmax}(P_1 - P_n) = 0,52(6,3 - 0,4) = 3,1 \text{ кгс/см}^2. \quad (6)$$

Визначаємо мінімальну пропускну здатність:

$$K_{vmax} = Q_{max} \sqrt{\frac{A}{P_{\text{кавmax}}}} = 202 \sqrt{\frac{0,75}{3,1}} = 99,5 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (7)$$

Так як $1,2 K_{vmax} = 99,5 * 1,2 = 119,4 \text{ м}^3/\text{год}$ менше $K_{vu} = 140 \text{ м}^3/\text{год}$, то обраний РО забезпечить задану максимальну витрату в умовах кавітації й вибір РО за пропускну здатністю вважається закінченим.

Побудова пропускну характеристики для РО:

$$Q'_{max} = Q_{max} \frac{K_{vu}}{K_{vmax}} = 202 \frac{160}{99,5} = 324,8 \text{ м}^3 / \text{год}. \quad (8)$$

Визначаємо межі пропускну характеристик:

$$\mu_{max} = \frac{202}{328} = 0,62;$$

$$Q_{min} = 0,3 Q_{max} = 0,3 * 202 = 60,6 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}, \quad (9)$$

$$\mu_{min} = \frac{60,6}{328} = 0,2 \text{ м}^3 / \text{год}. \quad (10)$$

Вибираємо лінійну характеристику, тому що перепад тиску на РО значно більший, ніж перепад тиску на лінії ($n=0$).

На рисунку 2 показана лінійна характеристика РО.

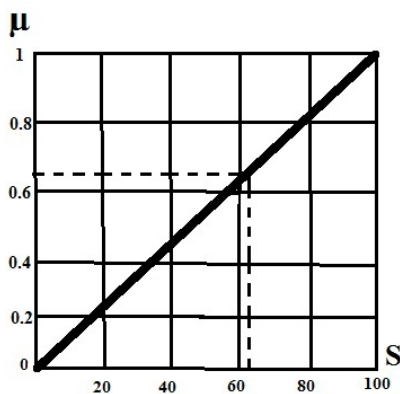


Рис. 2. Лінійна характеристика РО

$K_{ро}$ (для лінійної) =

$$\frac{202 - 60,6}{(0,6 - 0,2) * 100\%} = 3,5 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}} / \% \text{ходу} = 0,975 \frac{\text{кгс}}{\text{с}} / \% \text{ходу}.$$

$K_{ро}$ (для рівнопроцентної) =

$$\frac{202 - 60,6}{(0,9 - 0,56) * 100\%} = 4,1 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}} / \% \text{ходу} = 1,15 \frac{\text{кгс}}{\text{с}} / \% \text{ходу}.$$

Підбір, призначення, конструктивне виконання і принцип роботи регулюючого клапана для регулювання рівня в групі ПНТ

У результаті розрахунків вибрано клапан моделі Т-149 БС. Клапан Т-149 БС регулюючий поворотного типу призначений для роботи в теплових схемах блоків АЕС із реактором типу ВВЕР. Клапан застосовується як регулюючий орган для регулювання рівня конденсату пара в підігрівачах високого й низького тисків системи регенерації. Зовнішній вигляд представлений на рисунку 3.

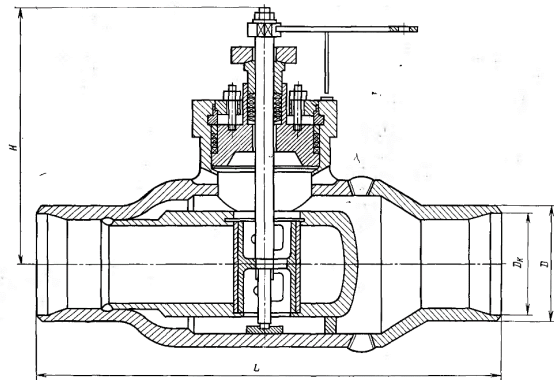


Рис. 3. Клапан Т-149 БС регулюючий поворотного типу

Основні технічні характеристики:

- 1) прохід умовний: 200 мм;
- 2) обертаючий момент: 500 Н м;
- 3) максимальний прохідний перетин: 200 см²;
- 4) коефіцієнт витрати: 0,65;
- 5) пропускну здатність: 654 т/год.

Основні вузли й деталі клапанів: зварений корпус з увареним усередину розподільним ковпаком, у якому укріплена нерухома гільза з розташованим у ній золотником, який обертається. Золотник укріплений на шпindelі, один кінець якого спирається для центрування на п'яту, а інший – через сальникове ущільнення виведений назовні. Управляються клапани виконавчим механізмом типу МЕО через важіль.

Клапан працює так: конденсат через вхідний патрубок надходить у розподільний ковпак; під час обертання золотника відносно нерухомої гільзи відбувається зміна площі прохідного перетину

вікон, розташованих на бічних поверхнях гільзи й золотника, відповідно, зміна витрати середовища через клапан. Конденсат з внутрішньої порожнини золотника через відкриті торці надходить у вихідний патрубок клапана й потім у трубопровід.

Висновки. Розглянуто технологічний об'єкт регулювання, такий як група ПНТ, що застосо-

вується на АЕС із реактором ВВЕР-1000. Також розглянуто принцип роботи підігрівача низького тиску, основні види характеристик регулюючих органів.

У результаті роботи проведений розрахунок і вибраний регулюючий орган для підтримки дренажу в групі підігрівачів низького тиску.

Список літератури:

1. Преображенський В.П. Теплотехнічні вимірювання та прилади: підручник для вузів за фахом «Автоматизація теплоенергетичних процесів». 3-е вид., перероб. Москва: Енергія, 1978. 700 с.
2. Демченко В.А. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Автоматизація безперервних технологічних процесів» для студентів спеціальності 7.09.250. Одеса: ОДПУ, 2000. 89 с.
3. Демченко В.А. Автоматизація і моделювання технологічних процесів АЕС і ТЕС. Одеса: Асторпринт, 2001. 385 с.
4. Васильченко О.Г. Арматура енергетична для АЕС і ТЕС: каталог-довідник про енергетичну арматуру вироблюваної підприємством. Київ, 1986. 49 с.

РАСЧЕТ И ВЫБОР РЕГУЛИРУЮЩЕГО ОРГАНА ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ УРОВНЯ ДРЕНАЖА В ГРУППЕ ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОБЛОКА 1000МВт ЗАПОРЖСКОЙ АЭС

В статье объектом проектирования является технологический участок группы ПНД, которая входит во второй контур энергоблока АЭС. Произведены расчет и выбор регулирующего органа для поддержки дренажа в группе подогревателей низкого давления энергоблока 1000 МВт Запорожской АЭС. В тепловой схеме атомной электростанции с реактором типа ВВЕР-1000 применяется система регенерации низкого давления, предназначенная для регенеративного подогревания основного конденсата турбоустановки парой, которая частично отработала в проточной части ЦНД турбины. Применение ПНД повышает КПД установки и существенно влияет на безопасность и надежность АЭС.

Ключевые слова: система регенерации низкого давления, АЭС, подогреватель низкого давления, дренаж, регулирующий орган, исполнительный механизм.

CALCULATION AND CHOICE OF REGULATIVE ORGAN FOR SUPPORT OF LEVEL OF DRAINAGE IN THE GROUP OF HEATERS OF LP OF POWER UNIT OF 1000 MW OF ZAPORIZHIA NUCLEAR POWER PLANT

The object of the design is the technological area of the group of low pressure heater, which is included in the second circuit of the NPP power unit. Calculation and choice of regulative organ for support of level of drainage in the group of heaters of LP of power unit of of the 1000 MW unit of the Zaporizhzhya NPP. In the thermal scheme of a nuclear power plant with a WWER-1000 reactor, a low-pressure regeneration system is used, what is intended for the regenerative heating of basic runback of the second contour by a pair that partly worked in running part of cylinders of LP of turbine.. The use of a low pressure heater increases the efficiency of the installation and significantly affects the safety and reliability of the NPP.

Key words: system of regeneration of LP, NPP, heater of LP, drainage, regulative an organ, executive mechanism.

УДК 004.056.5

Корченко А.О.

Національний авіаційний університет

Іванченко Є.В.

Національний авіаційний університет

Погорелов В.В.

Національний авіаційний університет

ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ ВТОРГНЕНЬ НА БАЗІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

Стаття присвячена вирішенню завдання доведення ефективності експертної системи виявлення вторгнень на базі нечіткої логіки. Обґрунтовано можливість експериментального оцінювання ефективності системи виявлення на основі похибки розпізнавання та її функціональних можливостей. Наведено опис і результати експериментальних досліджень, спрямованих на виявлення різних типів спуфінг-атак. Показано, що стосовно відомих систем виявлення вторгнень запропонована система дає змогу в 1,1–1,2 рази зменшити похибку розпізнавання та розширити номенклатуру аномальних станів. Визначено, що напрями подальших досліджень полягають в адаптації рішень, використаних під час розроблення експертної системи виявлення вторгнень для створення методу визначення номенклатури вхідних параметрів нейромережевої системи виявлення комп'ютерних вірусів.

Ключові слова: система виявлення вторгнень, кібератака, спуфінг, експертна система, нечітка логіка.

Постановка проблеми. Стрімкий розвиток інформаційних технологій, ускладнення й поширеність шкідливого програмного забезпечення зумовлюють зниження ефективності класичних систем захисту ресурсів інформаційних систем, що базуються на явних алгоритмічних механізмах розпізнавання кіберзагроз. Варто зазначити, що несанкціоновані дії щодо ресурсів інформаційних систем впливають і на середовище оточення, породжуючи в ньому так звані аномалії. Таке середовище зазвичай гетерогенне, нечітко визначене, і для вирішення завдань виявлення кібератак, що породили аномалії в цьому середовищі, необхідні відповідні системи виявлення вторгнень, які дають можливість виявити вторгнення за безліччю різних характерних ознак, включаючи їх динамічний складник, контрольований у реальному режимі часу. Більшість поширених систем виявлення вторгнень ґрунтуються на математичних методах, реалізація яких вимагає тривалого підготовчого етапу. Такий підготовчий етап найчастіше пов'язаний із накопиченням статистичних даних. Варто також зазначити, що вся статистика про систему буде тоді, коли вона припинить своє існування в тому вигляді, в якому вона досліджувалася, але потреба в ній уже буде відсутня. Більш ефективні в цьому стосунку є експертні методи, які використовують математичний апарат нечіткої логіки [1].

У зв'язку з цим актуальним завданням є розроблення експертної системи виявлення вторгнень, яка базується на апараті нечіткої логіки (далі – ЕСОВ).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У результаті аналізу літературних даних [1–4] визначено, що основою для побудови та розширення функціональності ЕСОВ може бути вдосконалена методологія виявлення аномалій, породжених кібератаками в інформаційних системах. Методологія досить докладно представлена в роботі [2]. У її основі закладено логіко-лінгвістичний підхід [3] і коротка модель [3; 4]. Удосконалення полягають у використанні методів, розроблених авторами:

- формування лінгвістичних еталонів [5–8];
- фазифікації параметрів на лінгвістичних стандартах [9];
- α -рівневої номіналізації нечітких чисел [10];
- визначення ідентифікувальних термів [11];
- формування базових детекційних правил [12].

Базовий механізм пропонованої методології ґрунтується на семи етапах:

1. Формування атакуючих середовищ;
2. Побудова m_i -мірного параметричного підсередовища;
3. Формування m_i -мірних еталонних підсередовищ;

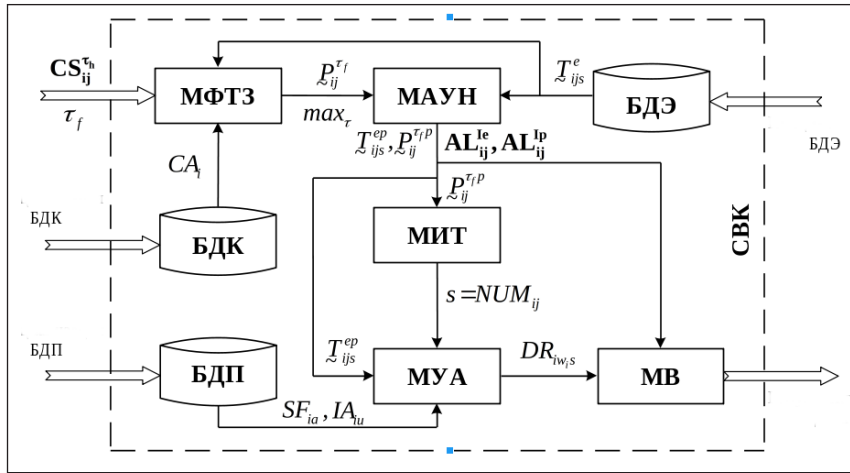


Рис. 1. Структурна схема ЕСОВ

4. Формування m_i -мірних поточних підсередовищ (фазифікації);
5. α -рівнева номіналізація еталонних поточних підсередовищ;
6. Визначення ідентифікувальних термів;
7. Формування детекційних середовищ.

Також відзначимо, що в працях [1–4] визначена загальна структура такої ЕСОВ. Водночас потрібне проведення досліджень, пов'язаних з оцінюванням її ефективності, щодо подібних наявних систем. Відповідно до робіт [1; 7], у першому наближенні ефективність систем виявлення вторгнень можна оцінити на основі похибки розпізнавання та функціональних можливостей таких систем.

Постановка завдання. Мета статті – проведення досліджень, пов'язаних із доведенням ефективності експертної системи виявлення вторгнень на базі нечіткої логіки.

Виклад основного матеріалу дослідження. Відповідно до згаданої методології, основними структурними блоками ЕСОВ є:

- бази даних кібератак (далі – БДК),
- бази даних правил виявлення кібератак (далі – БДП),
- бази даних еталонів кібератак (далі – БДЕ),
- модуль формування поточних значень (далі – МФПЗ),
- модуль здійснення k -рівневої номіналізації (далі – МЗН),
- модуль пошуку ідентифікувальних умов (далі – МІУ),
- модуль визначення рівня аномальності (далі – МУА),
- модуль візуалізації (далі – МВ).

Структура ЕСОВ зображена на рис. 1.

БДК містить безліч ідентифікаторів (ВД) кібератак CA_i ($i = \overline{1, n}$) (див. (1) в [3]), за допомогою яких здійснюється однозначне визначення атаки в процесі присвоєння її імені конкретного ВД (див. етап 1 в [2]).

БДП складається із бінарних вирішальних функцій SF_{ia} ($i = \overline{1, n}, a = \overline{1, w_i}$) (див. (15) в [12]) та ідентифікаторів аномальності IA_{iu} ($i = \overline{1, n}, u = \overline{1, v_i}$) (див. (5) в [12]), які входять в множину базових правил DR_i ($i = \overline{1, n}$) (див. (21) в [12]), які, в свою чергу, необхідні для виявлення i -ї кібератаки за посередництва параметричних підсередовищ різної розмірності (див. етап 7 в [2]).

БДЕ містить множину лінгвістичних еталонів T_{ijs}^{ep} ($i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i}, s = \overline{1, r_j}$) (див. (29) в [5]), які призначені для відображення стану множини відповідних параметрів P_i ($i = \overline{1, n}$) в певному середовищі оточення, які направлені на виявлення кібератаки з ІД CA_i (див. етап 3 в [2]).

Відмітимо, що БДК, БДП та БДЕ повинні бути узгоджені по параметрах кібератак.

Модуль МФПЗ призначений для формування всіх можливих поточних значень нечітких параметрів P_{ij}^{fj} ($i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i}$) (див. етап 2 в [2]), що отримуються за посередництва T_i^e ($i = \overline{1, n}$) в певний момент часу t_f в заданому проміжку, тривалість якого становить $t_h = t_f - t_{f-1}$ ($f = \overline{1, max_i}$) [3].

З допомогою модуля МЗН відбуваються еквівалентні перетворення нечітких чисел (НЧ) через приведення всіх еталонних T_{ijs}^e і поточних P_{ij}^{fj} ($i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i}, s = \overline{1, r_j}$) до номінального (єдиного для всіх) числа компонент на основі підмножин α -рівневих інтервалів AL_{ij}^{le} і міжточкових α -рівневих інтервалів AL_{ij}^{lp} (див. етап 5 в [2]) [10].

Модуль МІУ орієнтований на пошук по заданій лінгвістичній змінній, що ідентифікує еталонного

Вхідні дані для системи

Тип атаки: IP-спуфінг

Дані по параметрам

Параметр перший: КОП

Нечітке число	Значення нечіткого числа μ/x
P	0/0,55;0,3/0,6;1/0,66;0,2/0,98;0/0,98;
M	0/0,008;0,6/0,008;1/0,063;0,2/0,25;0/0,5;
C	0/0,008;0,4/0,063;1/0,25;0,3/0,5;0/1;
B	0/0,063;0,6/0,25;1/0,5;0,7/1;0/1;
OM	0,008/0;1/0,008;0,3/0,063;0/0,25;
OB	0/0,25;0,6/0,5;1/1;0/1;

Параметр другий: КПОА

Нечітке число	Значення нечіткого числа μ/x
P	0/0,082;0,5/0,282;1/0,87;0,7/1;0/1;
M	0/0,01;1/0,001;0,2/0,1;0/1;
C	0/0,01;0,5/0,001;1/0,01;0,7/1;0/1;
B	0/0,01;0,5/0,1;1/0,8;0/1;
OB	0/0,25;0,6/0,5;1/1;0/1;

Додати Редагувати Видалити

Панель моніторингу поточного стану системи

Рівень аномального стану системи: П

Рівень системи Друк

Рис. 2. Вікно введення початкових даних під час розпізнавання IP-спуфінгу

терма (тобто його номер, а $s = NUM_{ij}$), по якому за допомогою детекційних правил можна визначити рівень аномального стану, характерного для певного типу кібератак.

Модуль МІТ необхідний для формування DR_{nvs} на основі ідентифікації еталонного терма (використання NUM_{ij}), еталонного перетвореного НЧ T_{ijs}^{ep} , а також ідентифікаторів аномальності IA_{iu} і бінарних вирішальних функцій SF_{ia} , за допомогою обробки підмножин умовних детекційних виразів

$$DR_i = \left\{ \sum_{a=1}^{w_i} \left(\sum_{u=1}^{v_i} \text{if } SF_{ia} \text{ then } IA_{iu} \right) \right\} (i = \overline{1, n}, \overline{1, w_i}, \overline{1, v_i}),$$

які відображають формування базових правила для виявлення і-ї кібератаки з використанням параметричних підсередовищ різної розмірності.

Модуль МВ використовується для графічної інтерпретації поліпараметричного мультирозмірного середовища, розподілу ідентифікаторів атакуючих дій і фазифікованих значень поточних

параметрів $frij \sim Pi$ щодо лінгвістичних еталонів T_{ijs}^{ep} у вигляді виявленої області, що характеризує атаки, а також відображення умовного виразу (DR_{nvs}) базового детекційного правила, згідно якого відбулося виявлення кібератак.

Умовно роботу ЕСОВ можна представити двома процесами:

- процес ініціалізації БД який пов'язаний з наповненням (модифікацією) БДК, БДП і БДЕ;
- процес виявлення кібератак.

На базі запропонованої методології та структурного рішення відповідної обчислювальної системи, розроблено алгоритмічне забезпечення для реалізації відповідного програмне забезпечення (ПО) для виявлення кібератак. Інтерфейс розроблення ПЗ при його використанні для розпізнавання IP-спуфінгу частково показано на рис. 2.

Для оцінки ефективності розробленої ЕСОВ проведено чисельні експерименти з розпізнавання кібератак типу спуфінг. Відзначимо, що на тепер, спуфінг-атаки є одними з найнебезпечніших засобів реалізації хакерських вторгнень. Спуфінгове ПЗ вводить користувача в оману, маскуючись під реально існуючі web-сервіси та інші програмні застосунки. Розрізняють наступні типи спуфінг-атак: email-спуфінг, IP-спуфінг, ARP-спуфінг та GPS-спуфінг.

Розглянуто процес виявлення одного із найпоширеніших видів спуфінгу, який орієнтований на підробку email листів. Зазвичай, фальсифікована адреса є частиною більш масштабної фішингової атаки, метою якої є отримання даних доступу користувача до певних сервісів чи ПЗ, однак подібні атаки можуть використовуватись і для розповсюдження неліцензійного ПЗ. Головна мета email-спуфінгу направлена на змушення користувача довіряти отриманому електронному листу. Тому подібні листи мають оформлення і наповнення максимально подібне до листів, що надсилають аутентичні сервіси.

Оскільки пряме виявлення email-спуфінгу є досить складним завданням, то для ідентифікації таких кібератак необхідно дослідити можливі зміни параметрів визначеного середовища, значення яких при проведенні атаки буде суттєво відрізнятись від нормального стану. Для його виявлення використано параметри: «Кількість виявлених IP-адрес у спам базах (КСБ)», «Кількість спам слів у темі (КСТ)» та «Кількість спам слів у повідомленні (КСП)». Якщо значення описаних параметрів характерних для нормальної роботи клієнта будуть певні відхилення від допустимих меж, то це може бути сигналом, що даний лист є

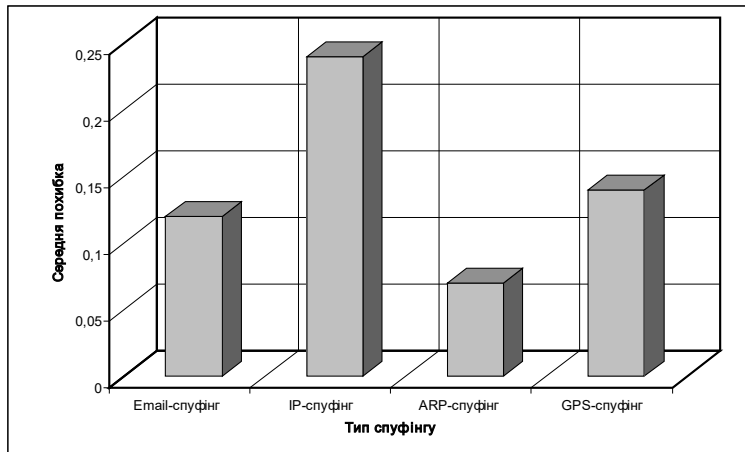


Рис. 3. Гістограма середньої похибки розпізнавання різних типів спуфінг-атак

частиною email-спуфінг-атаки. Наприклад, значна величина КСБ може служити ознакою того, що лист який аналізується є частиною email-спуфінг атаки. Максимальний показник цього параметра ($max_{КСБ}$) обмежений кількістю актуальних спам-баз за якими здійснюється сканування.

Для отримання конкретних параметрів був проведений експеримент з використанням наступного програмного забезпечення (ПЗ): MX Tool Box Super Tool 7, Subject Line, Mailing Check. У процесі досліджень спуфінгу листа зафіксовано 32 IP-адреси у спам-базах, $max_{КСБ} = 32$. При аналізі нормальних листів величина КСБ не перевищувала 7. Також встановлене середнє та високе значення таких IP-адрес, що відповідають кількості 11 та 21.

Виходячи з зручності проведення експерименту для параметра КСБ використано чотири терми з інтервалами – $[0;8]$, $[9;16]$, $[17;24]$, $[25;32]$.

Параметр КСТ є одним за найважливіших при перевірці електронних листів на предмет причетності до email-спуфінг атак, оскільки відображає кількість спам-слів у темі повідомлення. Утиліта Subject Line дає можливість проаналізувати тему на предмет наявності спам слів, максимальна кількість яких у даному випадку задається параметром $max_{КСТ}$. В ході експерименту з використанням відповідного ПЗ значення $max_{КСТ} = 12$ спам-ознакам. При аналізі було виявлено такі ознаки, як помилка першого слова та символу у темі, повторення великих літер, послідовність пробілів, повторювання одних і тих самих слів у темі тощо. Відповідно до цього і визначається максимальна величина параметра КСТ. Слід зазначити, що при аналізі нормального електронного листа, відповідний показник не переви-

щував 3-х спам-ознак. На основі цього, для параметру КСТ сформовані інтервали $[0;4]$, $[5;8]$, $[9;12]$, які відображають діапазони мінімальних, середніх та максимальних значень для даного параметру. Максимальна величина КСП ($max_{КСП}$) визначається максимальною кількістю спам-ознак, що можуть бути виявлені у відповідному повідомленні. Значення $max_{КСП}$, отримане з використанням утиліти Mailing Check дорівнює 5,7. На основі цього визначені наступні інтервали, що найбільш коректно описують даний параметр – $[0;2]$, $[3,4]$, $[5,6]$. Передбачено, що для усіх параметрів, значення в діапазоні від середнього до максимального може бути свідченням реалізації email-спуфінг атаки. Відповідно до експерименту, мінімальні та максимальні граничні значення, що з великою впевненістю щодо суджень експерта можуть бути сигналом фальсифікації email-листа наступні: КСБ – $[25;32]$; КСТ – $[3;12]$.

Базуючись на аналогічних підходах визначено номенклатуру та діапазони діагностичних параметрів, аналіз яких доцільно використовувати для розпізнавання IP-спуфінгу, ARP-спуфінгу та GPS-спуфінгу. Це дозволило провести числові експерименти по розпізнаванню всіх вказаних типів спуфінг-атак. При проведенні експериментів використано приклади спуфінгу зібрані авторським колективом та приклади наведені в $[1, 4, 8]$. Рішення про виявлення факту кібератаки приймалося при перевищенні результату порівняння піддослідного зразка з еталонами спуфінгу порогового значення 0,5. Основні результати експериментів представлені в табл. 1 та показані на рис. 3-4.

Для порівняння ЕСВВ з подібними відомими системами використано вільно доступна система розпізнавання мережевих кібератак

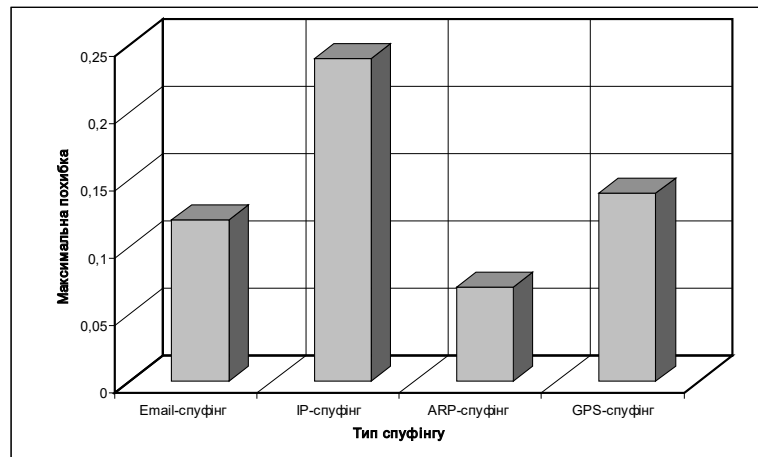


Рис. 4. Гістограма максимальної похибки розпізнавання різних типів спуфінг-атак

Таблиця 1
Похибки розпізнавання спуфінг-атак

спуфінг-атаки	Тип			
	Email-спуфінг	IP-спуфінг	ARP-спуфінг	GPS-спуфінг
Середня похибка	0,12	0,24	0,07	0,14
Максимальна похибка	0,18	0,31	0,12	0,17

Snort (<https://www.snort.org/>) та ознайомчі версії систем виявлення атак від компаній-розробників Cisco (<https://www.cisco.com>) та InfoWatch (<https://www.infowatch.ru/>). Результати порівняння дають змогу стверджувати, що в середньому похибка розпізнавання спуфінгу при використанні ЕСВВ приблизно в 1,1–1,2 рази нижча за похибку розпізнавання означених систем виявлення. При цьому системи Snort, Cisco й InfoWatch показали неспроможність виявлення низки спуфінг-атак, що належать до типу 0-day. Можливим поясненням цього факту є недосконалість механізму експертного оцінювання аномального стану інформаційного ресурсу та відсутність необхідних статистичних даних, що використовуються для навчання вказаних систем виявлення. Отже, використання запропонованої експертної системи дає змогу підвищити ефективність виявлення вторгнень за рахунок зменшення похибки розпізнавання та розширення номенклатури аномальних станів. Крім того, отримані результати свідчать про перспективність застосування рішень [2] для виявлення нових видів кібератак, що характеризуються складністю визначення номенклатури діагностичних параметрів. Наприклад, одним із

основних недоліків сучасних нейромережових систем виявлення комп'ютерних вірусів є емпіричний вибір множини вхідних параметрів [1]. При цьому застосування використаних під час побудови ЕСВВ базової моделі параметрів, короткої моделі формування базових компонент і методу формування лінгвістичних еталонів дасть можливість формалізувати процес формування вказаної множини параметрів.

Для порівняння ЕСВВ з подібними відомими системами використано вільно доступна система розпізнавання мережових кібератак Snort (<https://www.snort.org/>) та ознайомчі версії систем виявлення атак від компаній-розробників Cisco (<https://www.cisco.com>) та InfoWatch (<https://www.infowatch.ru/>). Результати порівняння дають змогу стверджувати, що в середньому похибка розпізнавання спуфінгу при використанні ЕСВВ приблизно в 1,1–1,2 рази нижча за похибку розпізнавання означених систем виявлення. При цьому системи Snort, Cisco й InfoWatch показали неспроможність виявлення низки спуфінг-атак, що належать до типу 0-day. Можливим поясненням цього факту є недосконалість механізму експертного оцінювання аномального стану інформаційного ресурсу та відсутність необхідних статистичних даних, що використовуються для навчання вказаних систем виявлення. Отже, використання запропонованої експертної системи дає змогу підвищити ефективність виявлення вторгнень за рахунок зменшення похибки розпізнавання та розширення номенклатури аномальних станів. Крім того, отримані результати свідчать про перспективність застосування рішень [2] для виявлення нових видів кібератак, що характеризуються складністю визначення номенклатури діагностичних параметрів.

Наприклад, одним із основних недоліків сучасних нейромережових систем виявлення комп'ютерних вірусів є емпіричний вибір множини вхідних параметрів [1]. При цьому застосування використаних під час побудови ЕСВВ базової моделі параметрів, короткої моделі формування базових компонент і методу формування лінгвістичних еталонів дасть можливість формалізувати процес формування вказаної множини параметрів.

Висновки. У результаті проведених досліджень з'ясовано, що використання запропоно-

ваної експертної системи виявлення вторгнень на базі нечіткої логіки дає змогу підвищити ефективність виявлення за рахунок зменшення похибки розпізнавання та розширення номенклатури аномальних станів. Визначено, що напрями подальших досліджень полягають в адаптації рішень, використаних під час розроблення експертної системи виявлення вторгнень для створення методу визначення номенклатури вхідних параметрів нейромережової системи виявлення комп'ютерних вірусів.

Список літератури:

1. Нейросетевые модели, методы и средства оценки параметров безопасности Интернет-ориентированных информационных систем: монография / А. Корченко, И. Терейковский, Н. Карпинский, С. Тынымбаев. Киев: ТОВ «Наш Формат», 2016. 275 с.
2. Корченко А., Щербина В., Вишневецкая Н. Методология построения систем выявления аномалий, порожденных кибератаками. *Захист інформації*. 2016. № 1. Т. 18. С. 30–38.
3. Корченко А.А. Короткая модель формирования набора базовых компонент для выявления кибератак. *Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні*. 2014. Вип. 2 (28). С. 29–36.
4. Korchenko A., Warwas K., Kłos-Witkowska A. The Tupel Model of Basic Components' Set Formation for Cyberattacks. *Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications: Proceedings of the 2015 IEEE 8th International Conference (Warsaw, 24–26 September, 2015)*. Warsaw, 2015. Vol. 1. P. 478–483.
5. Корченко А.А. Метод формирования лингвистических эталонных для систем выявления вторжений. *Захист інформації*. 2014. № 1. Т. 16. С. 5–12.
6. Модели эталонных лингвистических переменных для обнаружения sniffing-атак / И. Терейковский, А. Корченко, П. Видулов, А. Шаховал. *Захист інформації*. 2017. № 3. Т. 19. С. 228–242.
7. Improved method for the formation of linguistic standards for of intrusion detection systems / В. Akhmetov, А. Korchenko, S. Akhmetova, N. Zhumangalieva. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. 2016. Vol. 87. №. 2. P. 221–32.
8. The Etalon Models of Linguistic Variables for Sniffing-Attack Detection / М. Karpinski, А. Korchenko, P. Vikulov, R. Kochan. *Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications: Proceedings of the 2017 IEEE 9th International Conference (Bucharest, 21–23 September, 2017)*. Bucharest, 2017. Vol. 1. P. 258–264.
9. Корченко А.А. Метод фазификации параметров на лингвистических эталонах для систем выявления кибератак. *Безпека інформації*. 2014. № 1 (20). С. 21–28.
10. Корченко А.А. Метод уровневой номинализации нечетких чисел для систем обнаружения вторжений. *Захист інформації*. 2014. № 4. Т. 16. С. 292–304.
11. Корченко А.А. Метод определения идентифицирующих термов для систем обнаружения вторжений. *Безпека інформації*. 2014. № 3. Т. 20. С. 217–223.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ВТОРЖЕНИЙ НА БАЗЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Статья посвящена решению задачи доказательства эффективности экспертной системы обнаружения вторжений на базе нечеткой логики. Обоснована возможность экспериментальной оценки эффективности системы обнаружения на основе погрешности распознавания и ее функциональных возможностей. Приведены описание и результаты экспериментальных исследований, направленных на выявление различных типов спуфинг-атак. Показано, что по отношению к известным системам обнаружения вторжений предложенная система позволяет в 1,1–1,2 раза уменьшить погрешность распознавания и расширить номенклатуру аномальных состояний. Определено, что направления дальнейших исследований заключаются в адаптации решений, использованных при разработке экспертной системы обнаружения вторжений для создания метода определения номенклатуры входных параметров нейросетевой системы обнаружения компьютерных вирусов.

Ключевые слова: система обнаружения вторжений, кибератака, спуфинг, экспертная система, нечеткая логика.

EVALUATION OF EFFICIENCY OF EXPERT SYSTEM FOR EXPRESSION OF SUSPENSION ON THE BASIS OF FUZZY LOGIC

The article is devoted to solving the problem of proving the effectiveness of an expert intrusion detection system based on fuzzy logic. The possibility of experimental evaluation of the effectiveness of the detection system based on the recognition error and its functionality has been substantiated. The description and results of experimental studies aimed at identifying various types of spoofing attacks are given. It is shown that, with respect to the known intrusion detection systems, the proposed system makes it possible to reduce the recognition error by a factor of 1.1–1.2 and expand the range of anomalous states. It was determined that the directions of further research are to adapt the solutions used in the development of an expert intrusion detection system to create a method for determining the nomenclature of input parameters of a neural network computer virus detection system.

Key words: intrusion detection system, cyber attack, spoofing, expert system, fuzzy logic.

Ложкін Р.С.

Херсонський національний технічний університет

РОЗРОБЛЕННЯ АГЕНТНО-ОРІЄНТОВАНОЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КООРДИНАЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ В УМОВАХ ВИНИКНЕННЯ ТЕХНОГЕННИХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

У статті описується структура системи оперативного керування в умовах виникнення надзвичайних ситуацій (НС). Розглядається процес координаційної взаємодії в мультиагентній системі оперативного керування в умовах виникнення надзвичайних ситуацій. Досліджуються методи декомпозиції загального завдання на локальні завдання. Вивчаються методи пошуку рішень локальних завдань агентами системи оперативного керування. Виконується пошук алгоритму розв'язання загального завдання мультиагентною системою оперативного керування.

Ключові слова: надзвичайні ситуації, агент, мультиагентна система, система оперативного керування, координація, методи пошуку рішень, методи декомпозиції загального завдання.

Постановка проблеми. Реагування на надзвичайні ситуації (далі – НС) – це складний процес, що потребує швидких, зважених управлінських рішень, метою якого є запобігання та ліквідація НС зі збереженням людських життів, майна, звичайного стану соціальних відносин та інфраструктури. Зазвичай цей процес стикається з низкою проблем, які характерні для подій, що супроводжуються невизначеністю, спонтанністю, непередбачуваністю в зоні виникнення НС. У таких ситуаціях гостро стоїть питання координації взаємодії, актуальності прийнятих управлінських рішень, компетенцій як осіб, які приймають управлінські рішення, так і підрозділів, які виконують ліквідаційні роботи. Згідно з наказами та положеннями України, у разі виникнення НС створюється система оперативного керування, яка складається з комісії з питань техніко-екологічної безпеки та надзвичайних ситуацій, штабу з ліквідації НС і робочих груп. Якщо зазначити, що посадові особи в системі оперативного керування в умовах виникнення НС є діючими інтелектуальними елементами цієї системи й можуть спілкуватися між собою, вирішувати завдання, то нескладно буде зробити порівняння посадових осіб із агентами мультиагентної системи, які виконують дії посадових осіб і спроможні приймати власні рішення, вирішуючи загальні завдання, що ставляться перед системою за короткий проміжок часу. Тому розроблення мультиагентної системи оперативного керування та методів координації взаємодії в системі є важливим науково-практичним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Автори в роботі [2] порушують питання доцільності впровадження сучасних технологій, насам-

перед мультиагентних систем, для вирішення питань екологічного моніторингу в Україні. Також у роботі розглядаються мультиагентні системи та можливість їх застосування для потреб Державної системи екологічного моніторингу довкілля України, досліджуються проблеми екологічного моніторингу в Україні.

У праці В.В. Мельникова [3] досліджується проблема підтримки прийняття рішень із застосуванням мультиагентної парадигми. Розглядаються переваги мультиагентного підходу побудови систем підтримки прийняття рішень (далі – СППР) порівняно з класичними підходами. Досліджується архітектура Web-орієнтованої мультиагентної СППР.

У роботі В.А. Савченко [4] вивчає проблему пошуково-рятувальних робіт і процес координаційної взаємодії членів груп між собою та керівником із використанням систем підтримки прийняття рішень, основою яких є мультиагентні структури. Розробляються модель мультиагентної структури, методи визначення небезпечних квадрантів, алгоритми пошуково-рятувальних робіт, модель поведінки пошукового агента в разі отримання завдання.

У праці О.М. Мирошник [5] порушує проблему обробки інформації під час виникнення НС і прийняття управлінських рішень. Для опису процесу ліквідаційних робіт використовували подієвотемпоральну логіку. Розглядається ситуаційна модель прийняття рішень, метод двоетапної обробки інформації для знання орієнтованої підтримки прийняття рішень в умовах техногенних аварій. Вивчається структура інформаційної технології підтримки прийняття рішень під час виникнення НС.

У роботі [6] автори розглядають Web-орієнтовану мультиагентну систему підтримки прийняття рішень WIPER для виявлення можливих НС і пропонують напрями дій для ліквідації НС. Система розроблена як мультиагентна Web-орієнтована система із застосуванням архітектури сервісів. Розглядаються методи збирання даних як для самої системи, так і для геоінформаційної компоненти системи. Пропонуються підходи включення та відключення можливостей системи як окремих Web-сервісів для забезпечення користувачів лише потрібною інформацією. Досліджуються методи побудови моделі збирання вхідної інформації за допомогою мережі стільникових телефонів.

У праці [7] досліджується проблема розроблення мультиагентної системи для реагування на НС за допомогою інструментів моделювання, які генерують вихідний код програми. Розглядаються мова й інструменти моделювання ERE-ML, ERE-ML TOOL відповідно. Вивчаються результати проведених імітаційних моделювань виникнення НС із використанням розроблених мови й інструменту для перевірки запропонованого підходу.

Постановка завдання. Метою статті є дослідження процесу координаційної взаємодії в мультиагентній системі оперативного керування в умовах виникнення НС, дослідження методів декомпозиції загального завдання на локальні завдання й методів пошуку рішень локальних завдань агентами мультиагентної системи.

Виклад основного матеріалу дослідження. У разі виникнення НС на місцевому й обласному рівнях формується оперативний орган керування, завданнями якого є ліквідація НС, евакуація населення у сховища, локалізація розповсюдження зони НС, аварійно-рятувні та відновлювальні роботи [1, с. 2]. Для успішного виконання своїх обов'язків у системі оперативного керування використовуються системи підтримки прийняття рішень, які мають низку недоліків та обмежень. На зміну цим системам у сучасний світ прийшли нові технології, які ґрунтуються на останніх наробках у теоріях систем, розподіленому штучному інтелекті й теорії прийняття рішень. На рис. 1 схематично зображено структуру системи оперативного керування в умовах виникнення НС з лівого боку та її мультиагентне подання – з правого боку. Кожний рівень мультиагентної системи має свою назву відповідно до функцій і завдань, що покладені на нього. Система має ієрархічну структуру відповідно до кожного рівня системи оперативного керування.

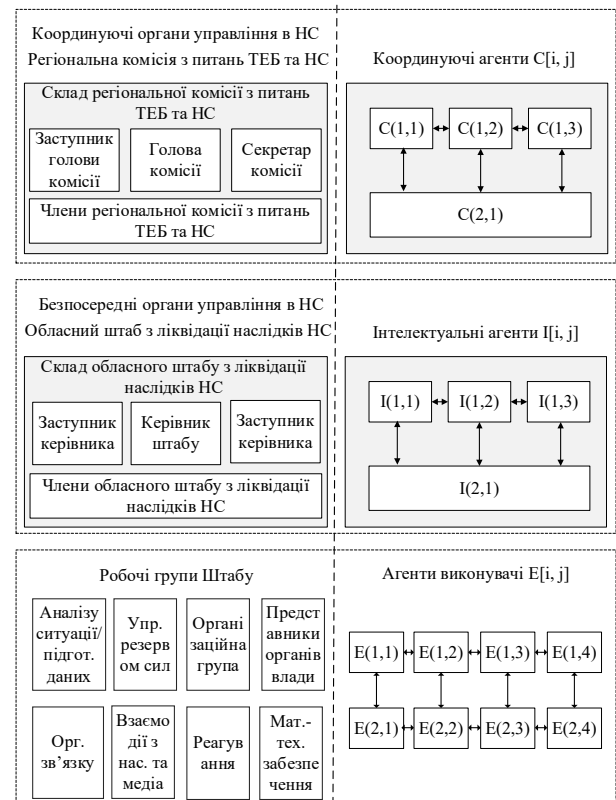


Рис. 1. Схема оперативного та мультиагентного керування в умовах виникнення НС

Відповідно до структури, зазначеної на рис. 1, кожен рівень має свою роль.

Координуючу функцію в умовах НС виконують координуючі агенти (далі – КА) $C [i, j]$, тобто комісія з питань техніко-екологічної безпеки (далі – ТЕБ) і НС. Пошук рішень загального завдання системи виконують інтелектуальні агенти (далі – ІА), тобто обласний штаб з ліквідації наслідків НС. Агенти-виконавчі (далі – АВ) $E [i, j]$ використовуються як допоміжні ІА.

Вхідною інформацією для системи оперативного керування є картка НС, у якій зазначається вся необхідна інформація, а саме: дані про розташування зони НС, час виникнення НС, характер НС, умови навколишнього середовища, кількість населення, яке розташоване поблизу зони НС, опис місцевості й об'єктів у зоні НС, під'їзди та від'їзди до зони НС, кількість і розташування сховищ від НС, шляхи підходу до сховищ. Результатом функціонування системи оперативного керування вважається розроблений план дій у зоні виникнення НС.

Основним складником мультиагентної системи є агенти [9, с. 3]. Агентом є програмно реалізований, формалізований опис діючої особи в системі оперативного керування в умовах виникнення НС,



Рис. 2. Блок-схема загального алгоритму розрахунку плану дій агентами мультиагентної системи в умовах виникнення НС

а структура, у якій знаходяться агенти, є мультиагентною системою [9, с. 4]. Використання мультиагентного підходу є вдалим варіантом для систем, де ключовими факторами є невизначеність, спонтанність, нестача часу, на відміну від класичних систем підтримки прийняття рішень, які є більш жорстко організованими й підпорядковуються чіткій логіці та не здатні підлаштовуватися під швидкоплинні умови навколишнього середовища.

КА координують взаємодію інтелектуальних агентів $I(i, j)$ та агентів виконувачів $E(i, j)$, передають розпорядження агенту керівника штабу, декомпонують загальне завдання на локальні завдання та компонують готові рішення локальних завдань у загальне рішення системи [9, с. 6].

Агенти на рівні штабу мають власні бази знань і засоби міркувань, що й робить їх ІА, які спроможні брати завдання та просити допомоги в інших агентів за необхідності. На цьому рівні координація взаємодії агентів виконується за принципом тендерних торгів, де агент керівник штабу керує проведенням тендерних торгів локальних завдань [9, с. 7]. ІА-члени штабу вже самі подають свої кандидатури на розв'язання локальних завдань, агент-керівник штабу може тільки контролювати процес розподілення локальних завдань між ІА.

Якщо розглядати структуру системи оперативного керування, то можна чітко розділити координуючих агентів та інтелектуальних агентів за ознаками їхніх функцій, які вони виконують, та завданнями, що вирішуються, але якщо звернути свою увагу вже на агентів-виконувачів і розтлумачити функції агентів на цьому рівні, то можна дійти висновків, що немає чіткої демаркації ІА та АВ. Виходячи із цього, агент-керівник штабу має безпосередній доступ до АВ, які також залучаються до процесу розв'язання локальних завдань.

Загальний алгоритм розрахунку плану дій агентами мультиагентної системи в умовах виникнення НС можна подати в такому вигляді:

1. До системи передаються вхідні дані.
2. КА декомпонують завдання на локальні завдання, якщо немає всіх рішень локальних завдань.
3. КА передають локальні завдання ІА керівникові штабу.
4. ІА керівник штабу розміщує декомпоновані локальні завдання на дошці оголошень.
5. ІА керівник штабу ініціює тендерні торги за принципом менеджер і підрядник.
6. ІА беруть на виконання локальні завдання, що розміщені на дошці оголошень.
7. Якщо ІА не може вирішити локальне завдання, тоді кроки з 2 по 6 повторюються.
8. ІА, який не зміг вирішити завдання, ініціює декомпонування локального завдання.
9. ІА керівник штабу передає всі вирішені локальні завдання КА.
10. КА компонують всі рішення.
11. КА формують план дій.

На рис. 2 подано блок-схему загального алгоритму розрахунку плану дій агентами мультиагентної системи в умовах виникнення НС.

Окремо треба розглянути методи декомпозиції загального завдання на локальні завдання та методи пошуку локальних рішень ІА. Доцільно використати методи пошуку, що керовані цілями з використанням підходу генерації рішення та його перевірки. Пошук виконується за допомогою побудови ієрархії рішень, яку можна подати у вигляді графа рішень. Кожна вершина цього графа є окремою підмножиною рішення загального завдання, а виділення підмножин із простору рішень є процесом декомпозиції загального завдання. Пошук рішення локального завдання відбувається в окремій підмножині простору рішень, тобто вершині графа рішень, це є процесом вирішення локального завдання ІА. Згідно із загальним алгоритмом розрахунку плану дій, перевірку правильності рішення локального завдання ІА треба виконувати на кожній вершині графа рішень. Для перевірки правильності рішення локального завдання достатньо бази знань на рівні ІА. У разі виявлення хибності рішення локального завдання відповідна вершина графа рішень видаляється з усіма дочірніми вершинами, тобто підмножина простору рішень видаляється з усіма дочірніми підмножинами.

Правильне чи хибне рішення локального завдання можна перевірити за допомогою оці-

ночних функцій. Оціночна функція формується з вхідних даних картки НС та евристик, що характеризують значущість кожного параметра навколишнього середовища в зоні виникнення НС. Під час розв'язання всіх локальних завдань і в разі досягнення крайніх вершин графа рішень агент-керівник штабу передає повідомлення до координуючих агентів, що загальне завдання вирішено й можна починати процес компонування готових рішень. Компонуються готові рішення за зворотнім принципом згідно з методами декомпозиції загального завдання, і система оперативного керування формує готовий план дій в умовах виникнення НС кінцевому користувачу.

Висновки. У роботі побудовано структурну схему системи мультиагентного оперативного керування в умовах виникнення НС. Під час дослідження процесу координаційної взаємодії в системі визначено ролі інтелектуальних агентів. Розроблено загальний алгоритм розрахунку плану дій агентами мультиагентної системи оперативного керування, а також методи декомпозиції загального завдання на локальні завдання, методи пошуку рішень локальних завдань інтелектуальними агентами.

Список літератури:

1. Про затвердження «Положення про штаб з ліквідації наслідків надзвичайної ситуації та Видів оперативно-технічної і звітної документації штабу з ліквідації наслідків надзвичайної ситуації»: Наказ Міністерства внутрішніх справ України від 26 грудня 2014 року № 1406. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0047-15> (дата звернення: 17.01.2019).
2. Лабжинський В.А. Розробка мультиагентної системи обробки даних для забезпечення екологічного моніторингу. *Вісник НТУ «ХПІ» Серія «Нові рішення в сучасних технологіях»*. Харків: НТУ «ХПІ». 2013. № 26 (999). С. 113–123.
3. Мельников В.В. Мультиагентна система підтримки прийняття рішень в інформаційних кластерах. *Причорноморські економічні студії*. 2016. № 4. С. 109–115.
4. Савченко В.А. Модель руху пошукового агента при координації управління. *Системи обробки інформації*. 2011. № 4 (94). С. 278–280.
5. Мирошник О.М. Комп'ютерна підтримка прийняття рішень в умовах техногенних надзвичайних ситуацій на основі ситуаційного управління. *Системи управління, навігації та зв'язку*. № 4 (32). С. 171–178.
6. Timothy Schoenharl, Greg Madey, Gabor Szabo, Albert-Laszlo Barabasi WIPER: A Multi-Agent System for Emergency Response. Proceedings of the 3rd International ISCRAM Conference (B. Van de Walle and M. Turoff, eds.). Newark. NJ (USA). May 2006. P. 1–7.
7. Samaneh Hoseindoost, Tahereh Adamzadeh, Bahman Zamani, Afsaneh Fatemi A model-driven framework for developing multi-agent systems in emergency response environments. *Software & Systems Modeling*. 2017. P. 1–28.
8. Bellifemine, Fabio. Developing multi-agent systems with JADE Fabio Bellifemine, Giovanni Caire, Dominic Greenwood. John Wiley & Sons Ltd. 2007. 303 p.

**РАЗРАБОТКА АГЕНТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ
КООРДИНАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ
ТЕХНОГЕННЫХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

В статье описана структура системы оперативного управления в условиях возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС). Рассмотрен процесс координационного взаимодействия в мультиагентных системах оперативного управления в условиях возникновения чрезвычайных ситуаций. Исследованы методы декомпозиции общей задачи на локальные задачи. Изучены методы поиска решений локальных задач агентами системы оперативного управления. Выполнен поиск алгоритма решения общей задачи мультиагентной системой оперативного управления.

Ключевые слова: чрезвычайные ситуации, агент, мультиагентная система, система оперативного управления, координация, методы поиска решений, методы декомпозиции общей задачи.

**DEVELOPMENT OF AGENT-ORIENTED INTELLIGENT COORDINATION CONTROL
SYSTEM IN THE CONDITIONS OF MAN-MADE EMERGENCIES**

This paper describes the structure of the operational control system in the conditions of emergencies. It's is considered the interaction coordination process in the multi-agent operational control system in the conditions of emergencies occurrence. This Paper investigates decomposition general task methods to local tasks. The methods of local tasks searching solutions by agents of the operational control system. It's performed search for the general task solving algorithm with the multi-agent operational control system.

Key words: Emergencies, Agent, Multi-Agent System, Operational Control System, Coordination, solution search methods, General Task Decomposing Methods.

Lomovoy V.I.

National University “Odessa Maritime Academy”

Pavlenko V.D.

Odessa National Polytechnic University

METHODS AND TOOLS FOR IDENTIFICATION OF NONLINEAR DYNAMICAL SYSTEMS BASED ON VOLTERRA MODELS IN FREQUENCY DOMAIN

The accuracy and computational stability of deterministic identification methods for nonlinear dynamical systems in the form of multidimensional frequency characteristics of amplitude and phase are investigated. Approximation and interpolation methods of identification with use of test polyharmonic signals are considered. The computational stability of the identification procedure is provided by the method of regularization of ill-posed problems. Wavelet filtering is used to smooth the estimates of the obtained characteristics.

Key words: nonlinear dynamic systems, nonparametric identification, Volterra model, multidimensional frequency characteristics, polyharmonic signals, regularization, wavelet filtering.

Problem statement. The sensors in remote sensing systems are looking through a layer of atmosphere separating the sensors from the Earth’s surface being observed. It is essential to understand the effects of atmosphere on the electromagnetic radiation travelling from the Earth to the sensor through the atmosphere. The atmospheric constituents cause wavelength dependent absorption and scattering of radiation due to environment interactions, emissions and so on (Fig. 1) [1]. The same problems arise in the study of coastal shelves associated with underwater monitoring, as well as with the development of underwater mineral deposits. Ultrasonic signals and measuring devices – echo-sounders (Fig. 2) are used to measure depths, display the profile and approximate structure of the bottom, search and classify various objects at the bottom and in the water column, as well as to perform various navigation tasks [2]. The atmosphere and water environment between radiating surface and sensor can be understood as a wireless communication channel (CC). The technical conditions of CC during operation should be considered for the effective communications. Changes during data transfer can decrease the rate of data transmission in digital CC up to stop of transmission. In analog CC it can be cause distortions and noise of the transmitted signals. Some of the atmospheric effects can be corrected before the sensing data is subjected to further analysis and interpretation. These effects degrade the adequateness of received data. The new methods and supporting tools are developed to automate the measurement and consideration of the characteris-

tics of the CC. It helps to build the information and mathematical models of nonlinear dynamic object such as the CC [3–5], i. e. to solve the identification problem.

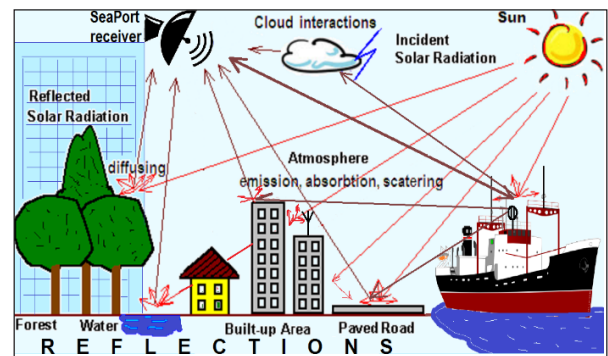


Fig. 1. Environment effects in remote sensing systems

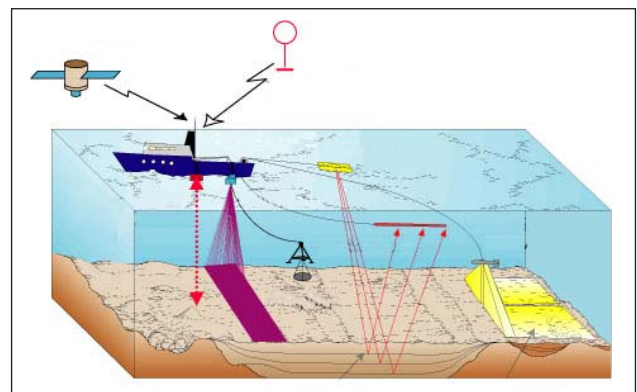


Fig. 2. Sonar monitoring of marine areas

Building Volterra models and using them for visualization for such complex nature effects as waves of

sea surface were well studied in [6–8]. This methodic allows building linear and nonlinear models for different systems. Modern continuous CCs are nonlinear stochastic inertial systems. The model in the form of integral Volterra series used to identify them [7; 9–16]. The nonlinear and dynamic properties of such system are completely characterized by a sequence of multidimensional weighting functions – Volterra kernels).

Building a model of nonlinear dynamic system in the form of a Volterra series lies in the choice of the test actions form. Also it uses the developed algorithm that allows determining the Volterra kernels and their Fourier-images for the measured responses (multidimensional amplitude–frequency characteristics (AFC) and phase–frequency characteristics (PFC)) to simulate the CC in the time or frequency domain, respectively [17–35].

The additional research of new method of nonlinear dynamical systems identification, based on the Volterra model in the frequency domain is proposed. This method lies in n-fold differentiation of responses of the identifiable system by the amplitude of the test polyharmonic signals. The developed identification toolkit is used to build information model of the test nonlinear dynamic system in the form of the first, second and third order model [36–47].

The aim of this work is to identify the continuous CC using Volterra model in the frequency domain, i. e. the determination of its multi-frequency characteristics on the basis of the data of the input-output experiment, using test polyharmonic signals and interpolation method to obtain model coefficients [21–23; 25; 41; 47; 48].

1. Volterra models

Generally, “input-output” type ratio for nonlinear dynamical system can be presented by Volterra series [10; 49]:

$$y[x(t)] = w_0(t) + \int_0^\infty w_1(\tau)x(t-\tau)d\tau + \int_0^\infty \int_0^\infty w_2(\tau_1, \tau_2)x(t-\tau_1)x(t-\tau_2)d\tau_1 d\tau_2 + \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty w_3(\tau_1, \tau_2, \tau_3)x(t-\tau_1)x(t-\tau_2)x(t-\tau_3)d\tau_1 d\tau_2 d\tau_3 + \dots = w_0(t) + \sum_{n=1}^\infty y_n[x(t)], \quad (1)$$

where the n-th partial component of response of the system is

$$y_n[x(t)] = \int_0^t \dots \int_0^t w_n(\tau_1, \dots, \tau_n) \prod_{i=1}^n x(t-\tau_i) d\tau_i, \quad (2)$$

x(t) and y(t) are input and output signals of system respectively; w_n(τ₁, ..., τ_n) – weight function or

n-order Volterra kernel; y_n[x(t)] – n-th partial component of system’s response; w₀(t) – denotes free component of the series (for zero initial conditions w₀(t)=0); t – current time.

Commonly, the Volterra series are replaced by a polynomial, with only taking several first terms of series (1) into consideration. Nonlinear dynamical system identification in a form of Volterra series consists in n-dimensional weighting functions determination w_n(τ₁, ..., τ_n) for time domain or it’s Fourier transforms W_n(jω₁, ..., jω_n) – n-dimensional transfer functions for frequency domain.

Multidimensional Fourier transform for n-order Volterra kernel (1) is written in a form:

$$W_n(j\omega_1, \dots, j\omega_n) = F_n \langle w_n(\tau_1, \dots, \tau_n) \rangle = \int_0^\infty \dots \int_0^\infty w_n(\tau_1, \dots, \tau_n) \exp\left(-j \sum_{i=1}^n \omega_i \tau_i\right) \prod_{i=1}^n d\tau_i, \quad (3)$$

where F_n⟨⟩ – n-dimensional Fourier transform; j = √-1.

Then the model of nonlinear system based on Volterra model in frequency domain can be represented as:

$$y[x(t)] = \sum_{n=1}^\infty F_n^{-1} \left\langle W_n(j\omega_1, \dots, j\omega_n) \prod_{i=1}^n X(j\omega_i) \right\rangle, \quad (4)$$

where F_n⁻¹⟨⟩ – inverse n-dimensional Fourier transform, it is used here under the condition of variables association t₁=...=t_n=t; X(jω_i) – Fourier transform of input signal.

Volterra model structured charts in the time and frequency domain is shown in Fig. 3 and Fig. 4.

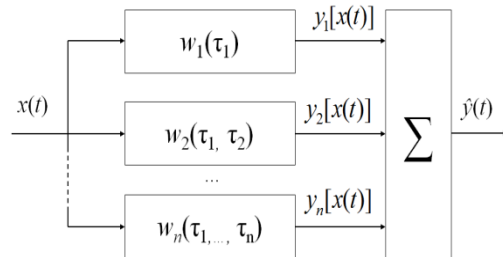


Fig 3. Volterra model structured chart in the time domain

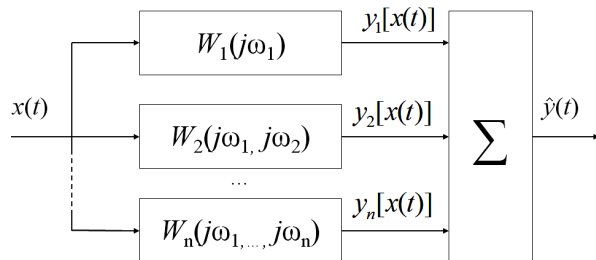


Fig 4. Volterra model structured chart in the frequency domain

Table 2

Amplitudes and corresponding coefficients of the interpolation method

n	N	$a_1^{(n)}$	$a_2^{(n)}$	$a_3^{(n)}$	$a_4^{(n)}$	$a_5^{(n)}$	$a_6^{(n)}$	$c_1^{(n)}$	$c_2^{(n)}$	$c_3^{(n)}$	$c_4^{(n)}$	$c_5^{(n)}$	$c_6^{(n)}$
1	2	-1	1					-0,5	0,5				
	4	-1	-0,5	0,5	1			0,0833	-0,6667	0,6667	-0,0833		
	6	-1	-0,67	-0,33	0,33	0,67	1	-0,0167	0,15	-0,75	0,75	-0,15	0,0167
2	2	-1	1					1	1				
	4	-1	-0,5	0,5	1			-0,0833	1,3333	1,3333	-0,0833		
	6	-1	-0,67	-0,33	0,33	0,67	1	0,0111	-0,15	1,5	1,5	-0,15	0,0111
3	4	-1	-0,5	0,5	1			-0,5	1	-1	0,5		
	6	-1	-0,67	-0,33	0,33	0,67	1	0,125	-1	1,625	-1,625	1	-0,125

Volterra series is offered [36–46]. It is used n -fold differentiation of a target signal on parameter-amplitude a of test actions to separate the response of the nonlinear dynamical system on partial components $y_n[x(t)]$.

Affirmation 1. Let at input of system test signal of $ax(t)$ kind is given, where $x(t)$ – is arbitrary function and a – is scale coefficient (amplitude of signal), where $0 < |a| \leq 1$, then for the selection of a partial component of the n -th order $\hat{y}_n(t)$ from measurement of the response nonlinear system $y[ax(t)]$ in the form of Volterra series, it is necessary to determine n -th partial derivative of the total response amplitude a where $a=0$

$$n! \int_0^\infty \dots \int_0^\infty w_n(\tau_1, \dots, \tau_n) \prod_{k=1}^n x(t - \tau_k) d\tau_k = y_a^{(n)} [a x(t)]_{a=0} \quad (10)$$

We use the method of extracting the partial components with the help of n -fold differentiation of the response $y[ax(t)]$ with respect to parameter – amplitude a and the use of the derivative value at $a=0$ [36–38].

Injecting an input signal $ax(t)$ where a is the scaling factor (signal amplitude), one has the following response of the nonlinear system:

$$y[a \cdot x(t)] = a \int_0^\infty w(\tau) \cdot x(t - \tau) d\tau + a^2 \int_0^\infty \int_0^\infty w_2(\tau_1, \tau_2) x(t - \tau_1) x(t - \tau_2) d\tau_1 d\tau_2 + a^n \int_0^\infty \dots \int_0^\infty w_n(\tau_1, \dots, \tau_n) \prod_{r=1}^n x(t - \tau_r) d\tau_r + \dots \quad (11)$$

To distinguish the partial component of the n -th order, differentiate the system response n times with respect to the amplitude:

$$\frac{\partial^n y[a \cdot x(t)]}{\partial a^n} = n! \int_0^\infty \dots \int_0^\infty w_n(\tau_1, \dots, \tau_n) \prod_{r=1}^n x(t - \tau_r) d\tau_r + (n+1)! \cdot a \int_0^\infty \dots \int_0^\infty w_{n+1}(\tau_1, \dots, \tau_{n+1}) \prod_{r=1}^{n+1} x(t - \tau_r) d\tau_r + \dots \quad (12)$$

Taking the value of the derivative at $a=0$, we finally obtain the expression for the partial component (7).

Formulas numerical differentiation. Partial derivative should be substituted by form of finite difference for calculation. Differentiation of function, which was set in discrete points, could be accomplished by means of numerical computing after preliminary smoothing of measured results. Various formulas for the numerical differentiation are known, which differ from each other by means of error.

Let's use universal reception which allows to substitute a derivative of any n order for differential ratio so that the error from such replacement for function $y(a)$ was any beforehand set order of p approximation concerning a step of $h=\Delta a$ of computational mesh on amplitude. Method of undetermined coefficient for equality [50]

$$\frac{d^n y(a)}{da^n} = \frac{1}{h^n} \sum_{r=-r_1}^{r_2} c_r y(a+rh) + O(h^p), \quad (13)$$

where the coefficients c_r are taken not depending on h , $r = -r_1, -r_1 + 1, \dots, -1, 0, 1, \dots, r_2 - 1, r_2$, so that equality (13) was fair. Limits of summation $r_1 \geq 0$ и $r_2 \geq 0$ could be arbitrary, but so that the differential relation $h^{-n} \sum c_r y(a+rh)$ of $r_1 + r_2$ order have to satisfy to inequality $r_1 + r_2 \geq n + p - 1$.

To define the c_r it is necessary to solve the following set of equations

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ -r_1 & -r_1 + 1 & \dots & r_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ (-r_1)^{n-1} & (-r_1 + 1)^{n-1} & \dots & r_2^{n-1} \\ (-r_1)^n & (-r_1 + 1)^n & \dots & r_2^n \\ (-r_1)^{n+1} & (-r_1 + 1)^{n+1} & \dots & r_2^{n+1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ (-r_1)^{n+p-1} & (-r_1 + 1)^{n+p-1} & \dots & r_2^{n+p-1} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} c_{-r_1} \\ c_{-r_1+1} \\ \dots \\ c_{-1} \\ c_0 \\ c_1 \\ \dots \\ c_{r_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \\ n \\ 0 \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (14)$$

If $r_1 + r_2 = n + p - 1$, then inscribed in $n + p$ equality forms linear system concerning the same number of c_r unknown. The determiner of this system is Vandermonde's determiner and differs from zero. Thus, there is only one set of n coefficients, satisfying the system.

If $r_1 + r_2 \geq n + p$, then there are many such sets of coefficients c_r .

On the basis of (13) in [40] the formulas of derivative calculation of the first, second and third orders are received at $a=0$ with use of the central differences for equidistant nodes of the computational grid.

In work formulas for numerical differentiation with use of the central differences for equidistant assembly are used. Volterra kernel of the first order is determined by formulas as the first derivative at $r_1 = r_2 = 1$, $r_1 = r_2 = 2$ or $r_1 = r_2 = 3$ respectively

$$\begin{aligned} y'_0 &= \frac{1}{2h}(-y_{-1} + y_1), \\ y'_0 &= \frac{1}{12h}(y_{-2} - 8y_{-1} + 8y_1 - y_2), \\ y'_0 &= \frac{1}{60h}(-y_{-3} + 9y_{-2} - 45y_{-1} + 45y_1 - 9y_2 + y_3). \end{aligned} \quad (15)$$

Volterra kernel of the first order is determined by formulas as the first derivative at $r_1 = r_2 = 1$, $r_1 = r_2 = 2$ or $r_1 = r_2 = 3$ respectively

$$\begin{aligned} y''_0 &= \frac{1}{h^2}(y_{-1} - 2y_0 + y_1), \\ y''_0 &= \frac{1}{12h^2}(-y_{-2} + 16y_{-1} - 30y_0 + 16y_1 - y_2), \\ y''_0 &= \frac{1}{180h^2}(2y_{-3} - 27y_{-2} + 270y_{-1} - 490y_0 + 270y_1 - 27y_2 + 2y_3). \end{aligned} \quad (16)$$

Volterra kernel of the first order is determined by formulas as the first derivative at $r_1 = r_2 = 2$ or $r_1 = r_2 = 3$ respectively

$$\begin{aligned} y'''_0 &= \frac{1}{2h^3}(-y_{-2} + 2y_{-1} - 2y_1 + y_2), \\ y'''_0 &= \frac{1}{8h^3}(y_{-3} - 8y_{-2} + 13y_{-1} - 13y_1 + 8y_2 - y_3). \end{aligned} \quad (17)$$

In the formulas written above, we use the following notations

$$y'_0 = y'(0), y''_0 = y''(0), y'''_0 = y'''(0); y_r = y(rh), r = 0, \pm 1, \pm 2; \pm 3,$$

where we put $y_0=0$, since identification nonlinear systems is implemented with zero initial conditions.

The amplitudes of the test signals $a_i^{(n)}$ and the corresponding coefficients $c_i^{(n)}$ for responses are shown in Table 2, where n – order of the estimated Volterra kernel; i – number of the experiment ($i=1,2,\dots,N$), where $N=r_1+r_2$, i.e. number of interpolation knots (number of experiments).

2.3. An approximation model. Is developing a method of constructing approximate Volterra model of the NDS [51]. Method identification is based on the approximation $y(t)$ at an arbitrary deterministic signal $x(t)$ in the form of integral power of the polynomial Volterra N -th order (N – order approximation model)

$$\tilde{y}_N(t) = \sum_{n=1}^N \hat{y}_n(t) = \sum_{n=1}^N \int_0^t \dots \int_0^t w_n(\tau_1, \dots, \tau_n) \prod_{i=1}^n x(t - \tau_i) d\tau_i. \quad (18)$$

Affirmation 2. Let the input test signals NDS are fed alternately $a_1x(t), a_2x(t), \dots, a_Lx(t); a_1, a_2, \dots, a_L$ –

distinct real numbers satisfying the condition $|a_j| \leq 1$ for $\forall j=1,2,\dots,L$; then

$$\begin{aligned} \tilde{y}_N[a_jx(t)] &= \sum_{n=1}^N \hat{y}_n[a_jx(t)] = \\ &= \sum_{n=1}^N a_j^n \int_0^t \dots \int_0^t w_n(\tau_1, \dots, \tau_n) \prod_{i=1}^n x(t - \tau_i) d\tau_i = \sum_{n=1}^N a_j^n \hat{y}_n(t) \end{aligned} \quad (19)$$

The partial components in the approximation model $\hat{y}_n(t)$ are found using the least square method (LSM). This makes it possible to obtain such evaluation in which the sum of squared deviations of responses identified the nonlinear dynamical system $y[a_jx(t)]$ on the model $\hat{y}_N[a_jx(t)]$ response is minimal, i.e., NDS provides a minimum criterion

$$\begin{aligned} J_N &= \sum_{j=1}^L (y[a_jx(t)] - \tilde{y}_N[a_jx(t)])^2 = \\ &= \sum_{j=1}^L \left(y_j(t) - \sum_{n=1}^N a_j^n \hat{y}_n(t) \right)^2 \rightarrow \min, \end{aligned} \quad (20)$$

where $y_j(t) = y[a_jx(t)]$. Minimization of the criterion (20) is reduced to solving the system of normal equations of Gauss, which in vector-matrix form can be written as

$$A'A\hat{y} = A'\bar{y}, \quad (21)$$

where

$$A = \begin{bmatrix} a_1 & a_1^2 & \dots & a_1^N \\ a_2 & a_2^2 & \dots & a_2^N \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_L & a_L^2 & \dots & a_L^N \end{bmatrix}, \bar{y} = \begin{bmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \\ \dots \\ y_L(t) \end{bmatrix}, \hat{y} = \begin{bmatrix} \hat{y}_1(t) \\ \hat{y}_2(t) \\ \dots \\ \hat{y}_N(t) \end{bmatrix}.$$

From (21) we obtain

$$\hat{y} = (A'A)^{-1} A'\bar{y} \quad (22)$$

In (8), matrix operations, we obtain

$$\begin{bmatrix} \hat{y}_1(t) \\ \hat{y}_2(t) \\ \dots \\ \hat{y}_N(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{j=1}^L a_j^2 & \sum_{j=1}^L a_j^3 & \dots & \sum_{j=1}^L a_j^{N+1} \\ \sum_{j=1}^L a_j^3 & \sum_{j=1}^L a_j^4 & \dots & \sum_{j=1}^L a_j^{N+2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum_{j=1}^L a_j^{N+1} & \sum_{j=1}^L a_j^{N+2} & \dots & \sum_{j=1}^L a_j^{2N} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sum_{j=1}^L a_j y_j(t) \\ \sum_{j=1}^L a_j^2 y_j(t) \\ \dots \\ \sum_{j=1}^L a_j^N y_j(t) \end{bmatrix}. \quad (23)$$

2.4. Using polyharmonic test signals. The test polyharmonic effects for identification in the frequency domain representing by signals of such type:

$$x(t) = \sum_{k=1}^n A_k \cos(\omega_k t + \phi_k), \quad (24)$$

where n – the order of transfer function being estimated; A_k, ω_k and ϕ_k – accordingly amplitude, frequency and a phase of k -th harmonics. In research, it is supposed every amplitude of A_k to be equal, and phases ϕ_k equal to zero.

For identification in the frequency domain the test polyharmonic signals are used. We prove:

Affirmation 3. If test polyharmonic signal is used in form

$$x(t) = A \sum_{k=1}^n \cos \omega_k t = \frac{A}{2} \sum_{k=1}^n (e^{j\omega_k t} + e^{-j\omega_k t}), \quad (25)$$

then the n -th partial component of the response of test system can be written in form:

$$y_n(t) = \frac{A^n}{2^{n-1}} \sum_{m=0}^{E(n/2)} C_n^m \sum_{k_1=1}^n \dots \sum_{k_n=1}^n |W_n(-j\omega_{k_1}, \dots, -j\omega_{k_m}, j\omega_{k_{m+1}}, \dots, j\omega_{k_n})| \times \cos \left(\left(-\sum_{l=0}^m \omega_{k_l} + \sum_{l=m+1}^n \omega_{k_l} \right) t + \arg W_n(-j\omega_{k_1}, \dots, -j\omega_{k_m}, j\omega_{k_{m+1}}, \dots, j\omega_{k_n}) \right), \quad (26)$$

where $E()$ – function used to obtain the of integer part of the value [52–54].

The component with frequency $\omega_1 + \dots + \omega_n$ is extracted from the response to test signal (26):

$$A^n |W_n(j\omega_1, \dots, j\omega_n)| \cos[(\omega_1 + \dots + \omega_n)t + \arg W_n(j\omega_1, \dots, j\omega_n)]. \quad (27)$$

Certain limitations should be imposed while choosing of frequency polyharmonic test signals in a process determining multidimensional AFC and PFC. This is the reason why the values of AFC and PFC in this unallowable points of multidimensional frequency space can be calculated using interpolation only. In practical realization of nonlinear dynamical systems identification it is needed to minimize number of such undefined points at the range of multidimensional frequency characteristics determination. This was performed to provide a minimum of restrictions on choice of frequency of the test signal. It is shown that existed limitation can be weakened. New limitations on choice of frequency are reducing number of undefined points.

After analyzing the (26) it is defined: to obtain Volterra kernels for nonlinear dynamical system in frequency domain the limitations on choice of frequencies of test polyharmonic signals have to be restricted. These restrictions provide inequality of combination frequencies in the test signal harmonics. The theorem about choice of test signals frequencies is proven.

The theorem about choice of test signals frequencies. For the definite filtering of a response of the harmonics with combination frequencies $\omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_n$ within the n -th partial component it is necessary and sufficient to keep the frequency from being equal to another combination frequencies of type $k_1\omega_1 + \dots + k_n\omega_n$, where the coefficients $\{k_i | i=1, 2, \dots, n\}$ must satisfy the conditions:

1) number K of negative value coefficients ($k_i < 0$) is in $0 \leq K \leq E(n/2)$ (where E – function used to obtain the of integer part of the value);

$$2) \sum_{i=1}^n |k_i| \leq n;$$

$$3) \sum_{i=1}^n |k_i| \equiv n \pmod{2}, \quad n - \sum_{i=1}^n |k_i| = 2l, \quad l \in \mathbb{N}.$$

It was shown that during determination of multi-dimensional transfer functions of nonlinear systems it is necessary to consider the imposed constraints on choice of the test polyharmonic signal frequencies. This provides inequality of combination frequencies in output signal harmonics: $\omega_1 \neq 0$, $\omega_2 \neq 0$ and $\omega_1 \neq \omega_2$ for the second order identification procedure, and $\omega_1 \neq 0$, $\omega_2 \neq 0$, $\omega_3 \neq 0$, $\omega_1 \neq \omega_2$, $\omega_1 \neq \omega_3$, $\omega_2 \neq \omega_3$, $2\omega_1 \neq \omega_2 + \omega_3$, $2\omega_2 \neq \omega_1 + \omega_3$, $2\omega_3 \neq \omega_1 + \omega_2$, $2\omega_1 \neq \omega_2 - \omega_3$, $2\omega_2 \neq \omega_1 - \omega_3$, $2\omega_3 \neq \omega_1 - \omega_2$, $2\omega_1 \neq -\omega_2 + \omega_3$, $2\omega_2 \neq -\omega_1 + \omega_3$ and $2\omega_3 \neq -\omega_1 + \omega_2$ for the third order identification procedure [52].

3. The techniques of test system identification

Described method was tested using nonlinear test system (fig. 5) represented by Riccati equation

$$\frac{dy(t)}{dt} + \alpha y(t) + \beta y^2(t) = u(t). \quad (28)$$

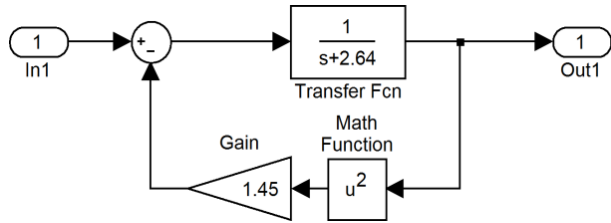


Fig 5. Simulink-model of the test system

Analytical expressions of AFC and PFC for the first, second and third order model were received:

$$|W_1(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + \omega^2}}, \quad \arg W_1(j\omega) = -\arctg \frac{\omega}{\alpha};$$

$$|W_2(j\omega_1, j\omega_2)| = \frac{\beta}{\sqrt{(\alpha^2 + \omega_1^2)(\alpha^2 + \omega_2^2)[\alpha^2 + (\omega_1 + \omega_2)^2]}},$$

$$\arg W_2(j\omega_1, j\omega_2) = -\arctg \frac{(2\alpha^2 - \omega_1\omega_2)(\omega_1 + \omega_2)}{\alpha(\alpha^2 - \omega_1\omega_2) - \alpha(\omega_1 + \omega_2)^2};$$

$$|W_3(j\omega_1, j\omega_2, j\omega_3)| = \sqrt{[\operatorname{Re}(W_3(j\omega_1, j\omega_2, j\omega_3))]^2 + [\operatorname{Im}(W_3(j\omega_1, j\omega_2, j\omega_3))]^2} = \frac{2\beta^2}{3} \frac{1}{\sqrt{(\alpha^2 + (\omega_1 + \omega_2 + \omega_3)^2)(\alpha^2 + \omega_1^2)(\alpha^2 + \omega_2^2)(\alpha^2 + \omega_3^2)}} \times \sqrt{\frac{3\alpha^2 - (\omega_1 + \omega_2)(\omega_1 + \omega_2) - (\omega_1 + \omega_2)(\omega_2 + \omega_3) - (\omega_1 + \omega_3)(\omega_2 + \omega_3)}{[\alpha^2 + (\omega_1 + \omega_2)^2][\alpha^2 + (\omega_1 + \omega_3)^2][\alpha^2 + (\omega_2 + \omega_3)^2]}}$$

$$\arg W_3(j\omega_1, j\omega_2, j\omega_3) = \arctg \frac{\operatorname{Im} W_3(j\omega_1, j\omega_2, j\omega_3)}{\operatorname{Re} W_3(j\omega_1, j\omega_2, j\omega_3)} = -\arctg \frac{DA - CB}{AB + CD},$$

where

$$A = 3\alpha^2 - 3\omega_1\omega_2 - 3\omega_2\omega_3 - 3\omega_1\omega_3 - \omega_1^2 - \omega_2^2 - \omega_3^2; \quad B = u\omega - v\omega;$$

$$C = 4\alpha(\omega_1 + \omega_2 + \omega_3); \quad D = v\omega + u\omega;$$

$$u = \alpha^3 - \alpha\omega_1\omega_2 - \alpha\omega_2\omega_3 - \alpha(\omega_1 + \omega_2 + \omega_3); \quad v = (\omega_1 + \omega_2 + \omega_3)(2\alpha^2 - \omega_1\omega_2 - \omega_2\omega_3);$$

$$w = (\alpha^2 - \omega_1\omega_2 - \omega_2\omega_3)(\alpha^2 - \omega_1\omega_2 - \omega_1\omega_3) - \alpha^2(\omega_1 + \omega_2 + \omega_3)^2;$$

$$z = \alpha(\omega_1 + \omega_2 + \omega_3)(2\alpha^2 - 2\omega_1\omega_2 - \omega_1\omega_3 - \omega_2\omega_3).$$

The main purpose was to identify the multi-frequency performances characterizing nonlinear and dynamical properties of nonlinear test system [11–21]. Volterra model in the form of the 1st, 2nd and 3rd order polynomial is used. Thus, test system properties are characterized by transfer functions of

$W_1(j\omega)$, $W_2(j\omega_1, j\omega_2)$, $W_3(j\omega_1, j\omega_2, j\omega_3)$ – by Fourier-images of weight functions $w_1(t)$, $w_2(t_1, t_2)$ and $w_3(t_1, t_2, t_3)$.

Structure charts of identification procedure – determinations of the 1th, 2nd and 3rd order AFC of CC are presented accordingly in fig. 6–8.

The weighted sum is formed from received signals – responses of each group from fig. 6–8. As a result the partial components of CC responses $y_1(t)$, $y_2(t)$ and $y_3(t)$ are got. For each partial component of response the Fourier transform (the FFT is used) is calculated, and from received spectrum only an informative harmonics (which amplitudes represent values of required characteristics of the first, second and third orders AFC) are taken.

The first order AFC $|W_1(j\omega)|$ and PFC $\arg W_1(j\omega)$ is received by extracting the harmonics with frequency ω from the spectrum of the CC partial response $y_1(t)$ to the test signal $x(t)=(A/2)\cos(\omega t)$.

The second order AFC $|W_2(j\omega, j(\omega+\Omega_1))|$ and PFC $\arg W_2(j\omega, j(\omega+\Omega_1))$ having $\omega_1=\omega$ and $\omega_2=\omega+\Omega_1$ were received by extracting the harmonics with summary frequency $\omega_1+\omega_2$ from the spectrum of the CC partial response $y_2(t)$ to the test signal $x(t)=(A/2)(\cos(\omega_1 t)+\cos(\omega_2 t))$.

The third order AFC $|W_3(j\omega, j(\omega+\Omega_1), j(\omega+\Omega_2))|$ and PFC $\arg W_3(j\omega, j(\omega+\Omega_1), j(\omega+\Omega_2))$ having $\omega_1=\omega$, $\omega_2=\omega+\Omega_1$ and $\omega_3=\omega+\Omega_2$, were received by extracting the harmonics with summary frequency $\omega_1+\omega_2+\omega_3$ from the spectrum of the CC partial response $y_3(t)$ to the test signal $x(t)=(A/2)(\cos\omega_1 t+\cos\omega_2 t+\cos\omega_3 t)$.

The results (first, second and third order AFC and PFC which had been received after procedure of identification) are represented in fig. 9–11.

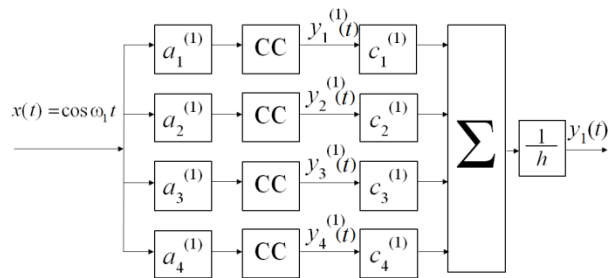


Fig 6. The structure chart of identification using 1st order Volterra model in frequency domain, number of experiments N=4: a1=2h, a2=-h, a3=h, a4=2h; c1=-1/12, c2=-2/3, c3=2/3, c4=1/12

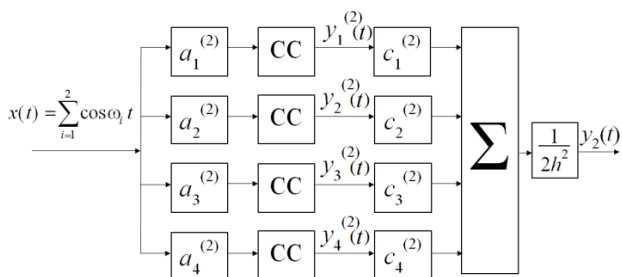


Fig. 7. The structure chart of identification using 2nd order Volterra model in frequency domain, number of experiments N=4: a1=2h, a2=-h, a3=h, a4=2h; c1=-1/12, c2=4/3, c3=4/3, c4=-1/12

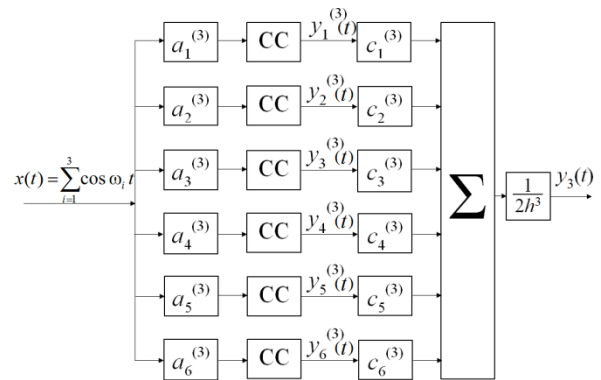


Fig. 8. The structure chart of identification using 3rd order Volterra model in frequency domain, number of experiments N=6: a1=-3h, a2=-2h, a3=-h, a4=h, a5=2h, a6=3h; c1=-1/8, c2=-1, c3=13/8, c4=-13/8, c5=1, c6=1/8

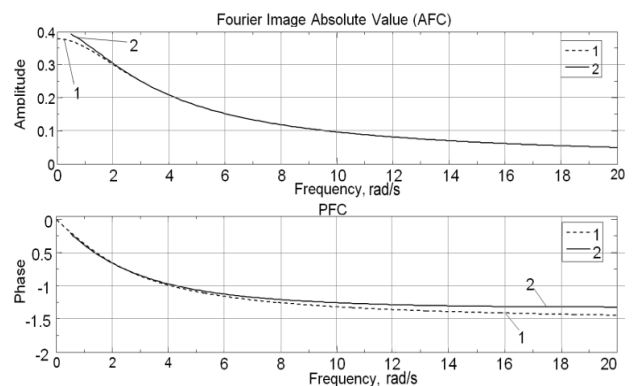


Fig. 9. First order AFC and PFC of the test system: analytically calculated values (1), section estimation values with number of experiments for the model N=4 (2)

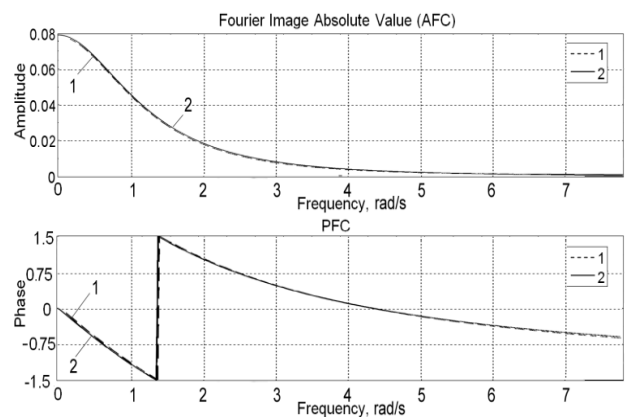


Fig. 10. Second order AFC and PFC of the test system: analytically calculated values (1), sub-diagonal cross-section values with number of experiments for the model N=4 (2), $\Omega_1=0,01$ rad/s

Numerical values of identification accuracy using interpolation method for the test system are represented in table 3, where: n – order of the estimated Volterra kernel, N – approximation order/number of interpolation knots (number of experiments).

Table 5

Standard deviation for interpolation method with noise impact (bold font shows the best values)

n	N	Noise level = 10%		Noise level = 1%		Improvement	
		SD for AFC	SD for PFC	SD for AFC	SD for PFC	for AFC, times	for PFC, times
(without / with denoising)							
1	2	0,000097 / 0,000063	0,09031 / 0,07541	-	-	1,540	1,198
	4	0,000271 / 0,000181	0,07804 / 0,06433	-	-	1,497	1,213
	6	0,000312 / 0,000223	0,12913 / 0,09889	-	-	1,399	1,306
2	2	0,000920 / 0,000670	0,52063 / 0,51465	-	-	1,373	1,012
	4	0,001972 / 0,001663	0,28004 / 0,06877	-	-	1,186	4,072
	6	0,004165 / 0,003908	0,39260 / 0,19237	-	-	1,066	2,041
3	4	-	-	0,000288 / 0,000288	0,89857 / 0,61251	1,003	1,467
	6	-	-	0,000461 / 0,000352	0,84868 / 0,59319	1,310	1,431

Table 3

Numerical values of identification accuracy using interpolation method

n	N	AFC relative error, %	PFC relative error, %
1	2	2,1359	2,5420
	4	0,3468	2,0618
	6	0,2957	1,9311
2	2	30,284	76,822
	4	2,0452	3,7603
	6	89,209	5,9438
3	4	10,981	1,628
	6	10,764	1,5522

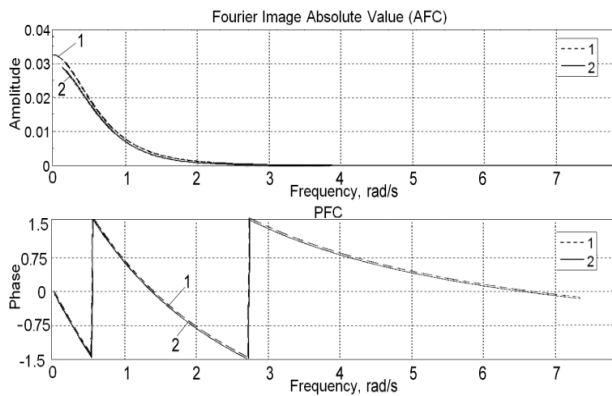


Fig. 11. Third order AFC and PFC of the test system: analytically calculated values (1), sub-diagonal cross-section values with number of experiments for the model $N=6$ (2), $\Omega_1=0,01$ rad/s, $\Omega_2=0,1$ rad/s

Comparison of the numerical values for identification accuracy using interpolation method [22–23] and approximation one [21; 25; 42; 46] for the test system is presented in table 4.

4. The study of noise immunity of the identification method

Experimental researches of the noise immunity of the identification method were made. The main purpose was the studying of the noise impact (noise means the inexactness of the measurements) to the characteristics of the test system model using interpolation method in frequency domain.

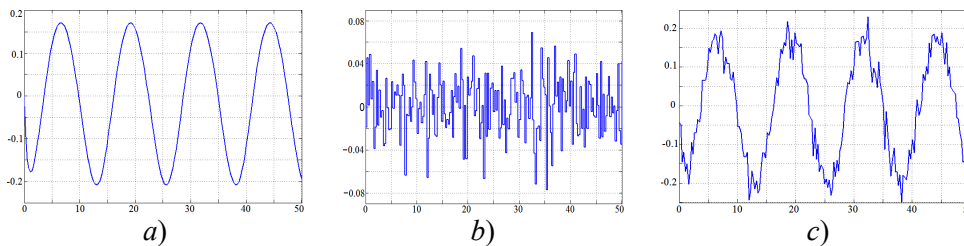


Fig. 12, a – Test signal and; b – Random noise with 25% amplitude of test signal; c – The “noised” signal of the test system

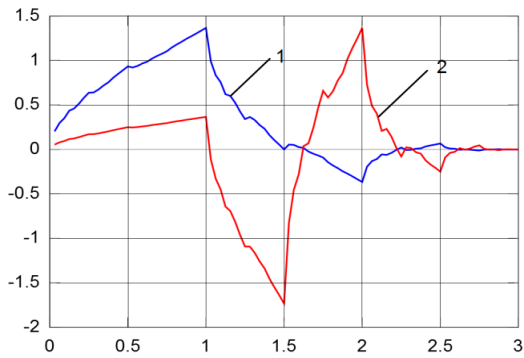


Fig. 13. The Daubechies 2nd level scaling (1) and wavelet (2) functions

After that procedure the Random Noise signal (with the form shown in fig. 12, *b*) where added to the test system output signal. This steps where performed to simulate inexactness of the measurements in the model. The sum of these two signals for the linear test model signal is shown in fig. 12, *c*.

Table 4
Identification accuracy using approximation and interpolation methods

n	N	AFC relative error, %		PFC relative error, %	
		Approximation	Interpolation	Approximation	Interpolation
1	2	3,6429	2,1359	3,3451	2,5420
	4	1,1086	0,3468	3,1531	2,0618
	6	0,8679	0,2957	3,1032	1,9311
2	2	26,0092	30,2842	30,2842	76,8221
	4	3,4447	2,0452	2,0452	3,7603
	6	7,3030	89,2099	4,6408	5,9438
3	4	72,4950	10,981	10,9810	1,628
	6	74,4204	10,7642	10,7642	1,5522

The simulations with the test model were performed. Different noise levels were defined for different order of the Volterra model.

The adaptive wavelet denoising was used to reduce the noise impact on final characteristics of the

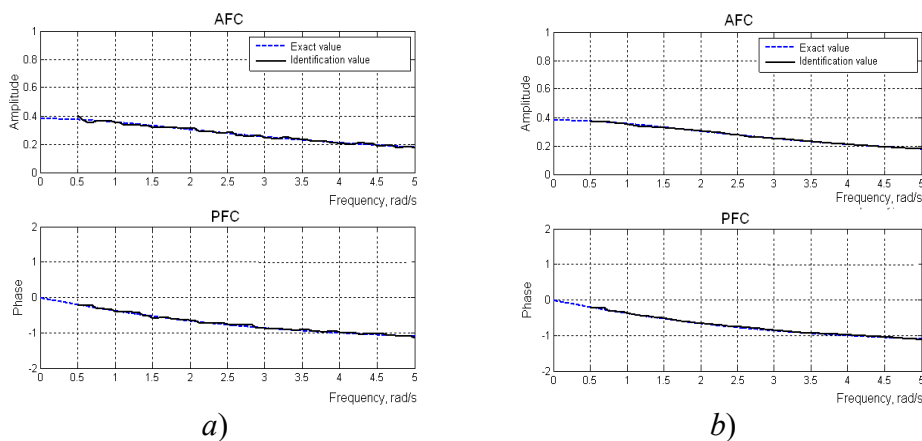


Fig. 14. Noised (a) and denoised (b) characteristics (AFC – top, PFC – bottom) of the 1st order model of the test system with level of noise 25%

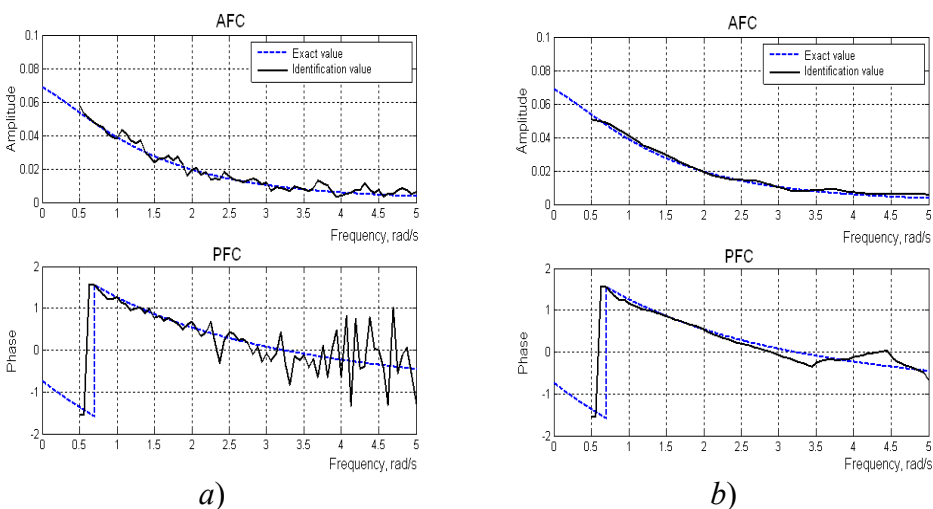


Fig. 15. Noised (a) and denoised (b) characteristics (AFC – top, PFC – bottom) of the 2nd order model of the test system with level of noise 10%

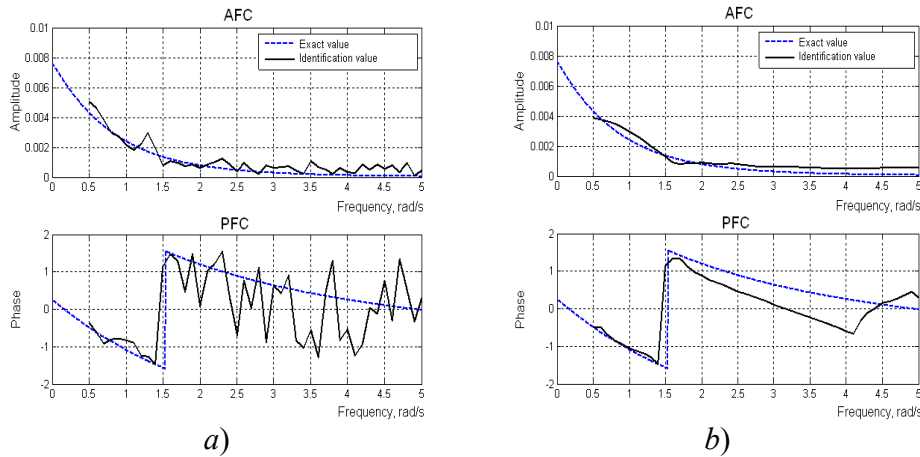


Fig. 16. Noised (a) and denoised (b) characteristics (AFC – top, PFC – bottom) of the 3rd order model of the test system with level of noise 1%

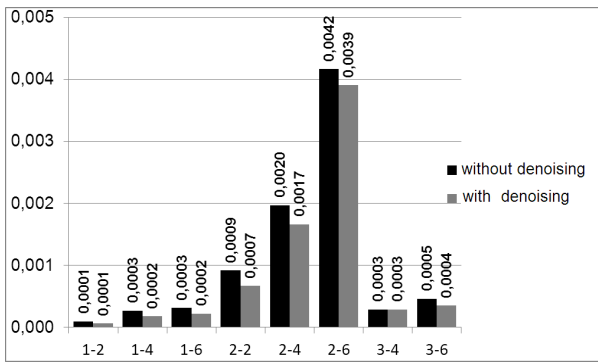


Fig. 17. Standard deviation changing for AFC using adaptive Wavelet-denoising

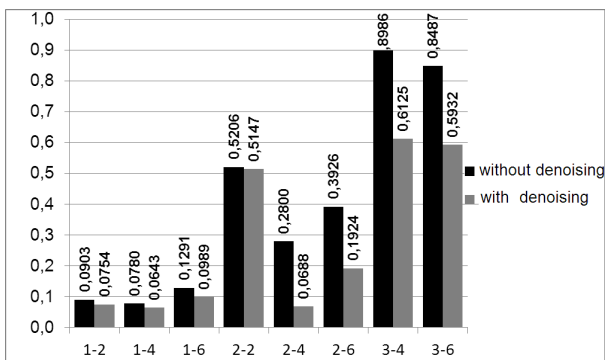


Fig. 18. Standard deviation changing for PFC using adaptive Wavelet-denoising

test system [55–60]. The Daubechie wavelet of the 2 and 3 level was chosen (fig. 13) and used for the AFC and PFC denoising respectively.

The first order (linear) model was tested with the level of noise 25% and 10% and showed excellent level of noise immunity. The noised (fig. 14, a) and de-noised (filtered) (Fig. 14, b) characteristics (AFC and PFC) with level of noise 25% are presented.

The second order (nonlinear) model was tested with the level of noise 10% and 1% and showed good level of noise immunity. The noised (fig.15, a) and de-noised (filtered) (fig. 15, b) characteristics (AFC and PFC) with level of noise 10% are presented.

The third order (nonlinear) model was tested with the level of noise 10% and 1% and showed good level of noise immunity. The noised (fig. 16, a) and de-noised (filtered) (fig.16, b) characteristics (AFC and PFC) with level of noise 1% are presented.

The numerical values of standard deviation (SD) of the identification accuracy before and after wavelet denoising procedure are presented in Table 5.

The diagrams showing the improvement of standard deviation for identification accuracy using the adaptive wavelet denoising of the received characteristics (AFC and PFC) are shown in fig. 17 and fig. 18 respectively [61–62].

5. Engineering software tools

The identification methodology is implemented with approximation and interpolation methods. The structured scheme of the computational process of the identification procedure is shown in the fig. 19 [63–65].

The hardware platform of the experimental researches using developed software consists of IBM–PC compatible computer with two soundcards (Fig. 20). This allows characterizing the final results as reliable ones. Onboard soundcards (motherboard built-in) has much worst characteristics and higher unevenness of its AFC. Thus, it cannot be used in experimental researches.

The toolkit is organized from software in Matlab language. The first part is assigned for test signals generation with minimal impact of the operation system of used PC. The experimental results processing is implemented in the second part. The 13 modules were developed dur-

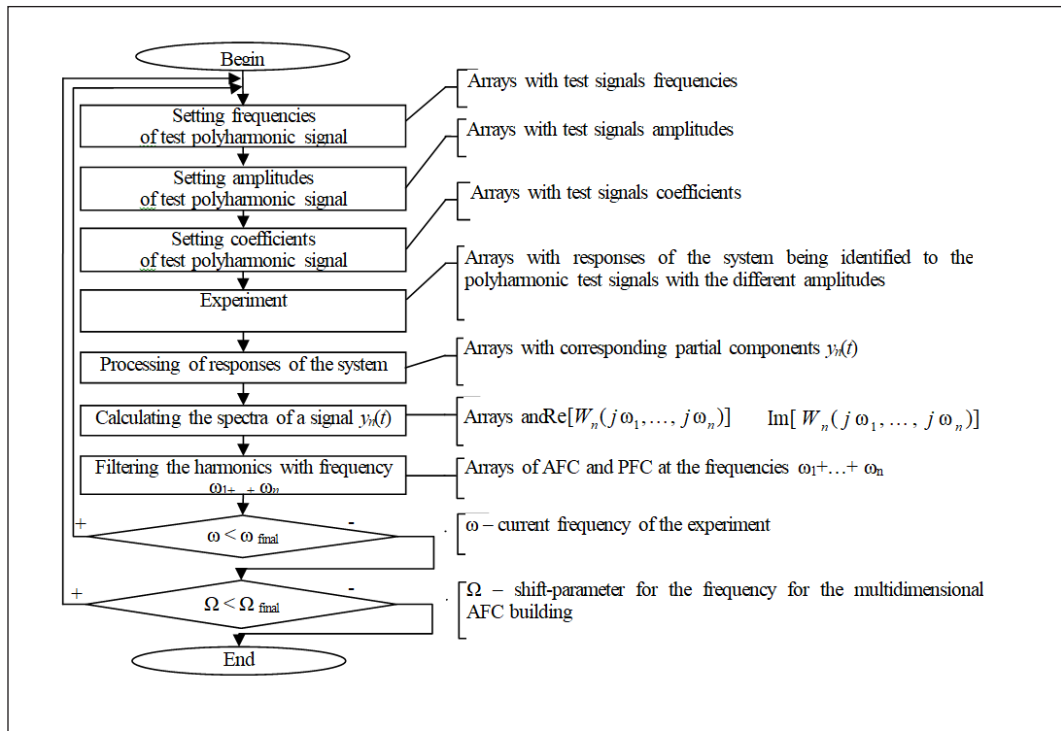


Fig. 19. Structured scheme of the computational process of the identification procedure

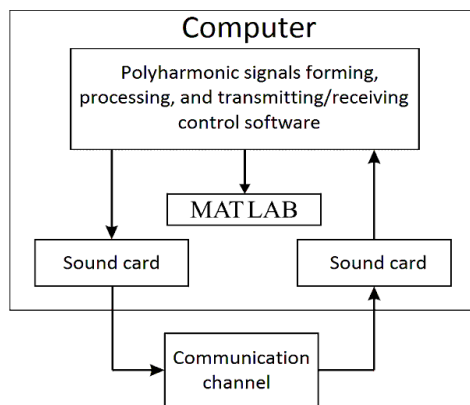


Fig. 20. The general scheme of the experiment

ing the software part implementation. The structured scheme of the software toolkit for nonlinear dynamical systems identification is shown in fig. 21. The implemented in module *main_gui.fig* visual interface contains all visual components of the windows application used to control the parameters of the experiment (fig. 22).

An initialization of the identification process parameters of the nonlinear system being identified is performed in the main module (*main_form.m*). The list of those parameters:

- 1) start frequency f_1 of harmonic signals for the experiment;
- 2) quantity of the experimental steps (defines the quantity of the subdiagonal sections of the AFC and the final frequency of the experiment);

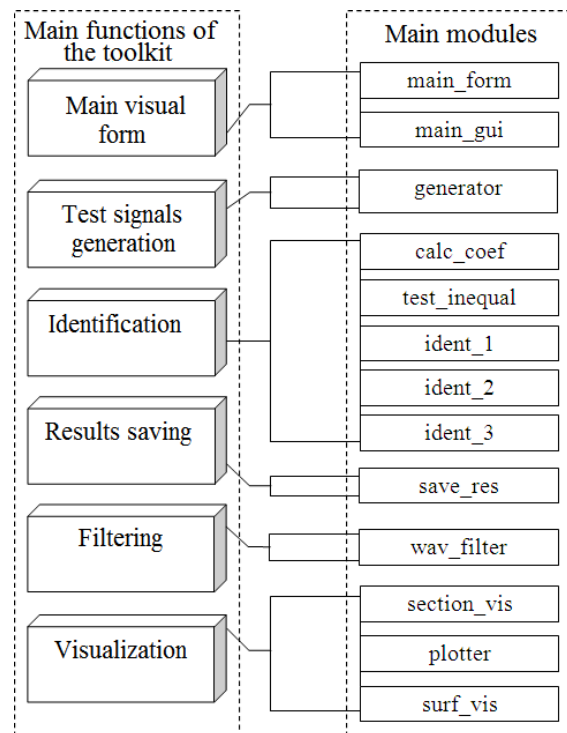


Fig. 21. The structured scheme of the software for nonlinear dynamical systems identification

- 3) polyharmonic test frequency step;
- 4) quantity of the experiments repeats that allows to average results received for current nonlinear object;
- 5) quantity of the signal samples being sent to the

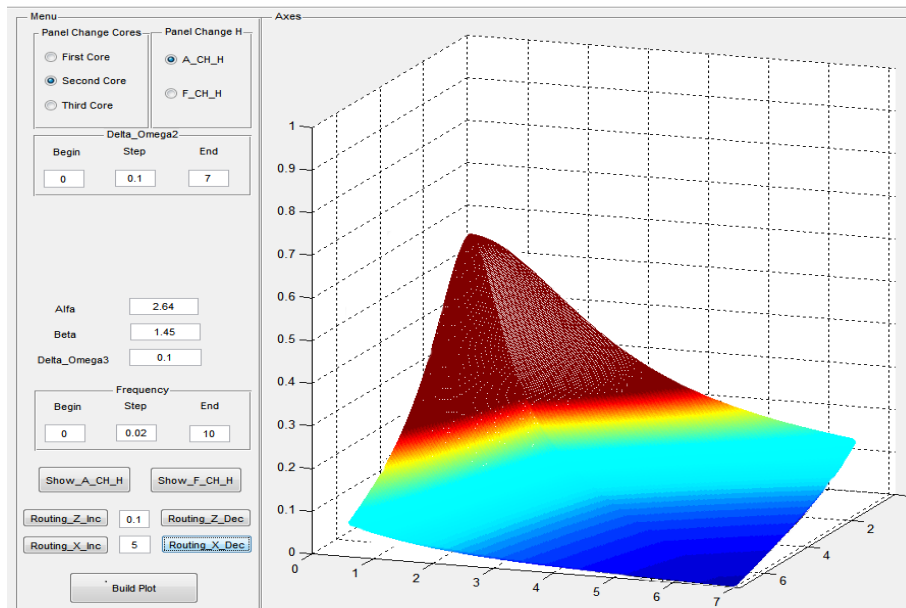


Fig. 22. Part of the main window of the software used for standard characteristics constructing (subdiagonal sections and 3D surfaces)

nonlinear dynamical system input (this number have to be divisible by 2 to obtain correct work on the Fast Fourier Transform);

6) sampling frequency of the sound signal being sent to the nonlinear dynamical system input;

7) kernel order for the Volterra model;

8) approximation order/experiments quantity for the approximation/interpolation method of the coefficients calculation and experiments providing;

9) shift between the frequencies f_2 and f_1 for the polyharmonic test signals (for nonlinear models);

10) shift between the frequencies f_3 and f_2 for the polyharmonic test signals (for nonlinear models);

11) amplitudes array for the mono- or polyharmonic test signals (depends on model order);

12) corresponding coefficients array calculated using amplitudes of the test signals;

13) time array for sound test signal forming;

14) response array (consists of the values of tested nonlinear dynamical system responses to the test harmonic signal);

15) AFC array (consists AFC points values of tested nonlinear dynamical system).

The coefficients for identification during the forming the test signals are depending on its amplitudes. The calculation of such coefficients is performed by the matrix method of SLAE decision and it's performed in *calc_coef* module. One of the identification modules of the chosen order (*ident_1*, *ident_2*, *ident_3*) begins working after starting the identification process. In common way:

– the test harmonic signals with selected amplitudes (depending on method) are generated;

– generated signals data arrays are sent to the input of the nonlinear system;

– the signals received after nonlinear system has the visual form shown in fig. 23 and they have to be preprocessed (multiplication the signals and output coefficients);

– the total (sum) response of all test signals is calculated;

– the points of AFC array for the responses of the system being identified are calculated;

– the data received during identification at the current frequency step is saved to the file.

The identification method is organized using the approximation and interpolation method [62]. The identification of the nonlinear system of the 1st order is presented as textual algorithm:

Step 1. The main module (*main_form.m*) sending the parameters of the identification to the module *ident_1.m*.

Step 2. All supporting local variables and arrays are initialized.

Step 3. The loop for experiment repetitions with selected iterations.

Step 3.1. The loop for changing the test frequency from start value with selected step for the selected quantity of steps (specified in parameters of the identification).

Step 3.1.1. The f_1 frequency increment at current experiment step.

Step 3.1.2. The test harmonic signal generating.

Step 3.1.3. Searching for the f_1 frequency position in signal spectra.

Step 3.1.4. The loop for each test signal amplitude in the experiment.

Step 3.1.4.1. The signal with specified amplitude is forming.

Step 3.1.4.2. The formed signal is sending to the output of the soundcard.

Step 3.1.4.3. The signal is receiving from the input of the soundcard.

Step 3.1.4.4. The multiplication of the received signal data (response) with specified amplitudes by corresponding coefficients.

Step 3.1.4.5. The total response calculation by summation of received signals groups.

Step 3.1.4.6. If the selected method is interpolation then performing division of the total response by additional method coefficient.

Step 3.1.4.7. Calculating the signal spectra using Fast Fourier Transform.

Step 3.1.4.8. Calculating the value of informational harmonics with position detected at the *Step 3.1.3.*

Step 3.1.4.9. Calculating the AFC and amplitude correction.

Step 3.1.5. Saving the experimental data in files as arrays with identification results for the frequency f_1 .

To save the data of the identification results for subsequent system model in frequency domain building the m-files are used. The names of those files are fully showing the parameters of the experiment. The files are saved at the Results subfolder of the program folder.

The format of file name with identification data of the test model allowing cataloging results looks as $Vn(N)_{Na_meth_nc_mad_mke_w1_f-g-h_dw1_i_w2_j}$.mat and consists of such fields:

n – model (Volterra kernel) order;

N – approximation order;

a – discretization order;

b – method (1 – interpolation, 0 – approximation);

c – noise level (in % relatively to test signal level);

d – scaling the test signals amplitudes relatively to initial (in %);

e – scaling the test signals coefficients relatively to initial (in %);

f – start frequency f_1 value;

g – step of the frequency f_1 changing;

h – final value of the frequency f_1 ;

i – shifting between the frequencies f_2 and f_1 ;

j – the value of the frequency f_3 .

The format of file name with identification data of the real communication channel allowing cataloging results looks as $Final_xxxx_yyyy_zzzz_Vk-N_mm-dd-yy_HH-MM-SS$.mat and consists of such fields:

$xxxx$ – start frequency of the current experiment (section);

yyy – shift between the frequencies f_2 and f_1 ;

zzz – the value of the frequency f_3 ;

n – model (Volterra kernel) order;

N – approximation order;

$mm-dd-yy_HH-MM-SS$ – current date and time in selected format.

On the results of the identification data contained in the files, it is possible to draw two-dimensional plots (module *sections_vis.m*) – subdiagonal AFC sections of the nonlinear dynamical system. A 3-dimensional plots (modules *surf_vis.m*, *plotter.m*) – surfaces are built of the subdiagonal AFC sections of the nonlinear dynamical system by changing shifting between the frequencies f_2 and f_1 and changing frequency f_3 for the 2nd and 3rd order models respectively.

6. The technique and hardware-software tools of radiofrequency CC identification

Experimental research of the Ultra High Frequency range CC were done [66]. The main purpose was the identification of multi-frequency characteristics that characterize nonlinear and dynamical properties of the CC. Volterra model in the form of the second order polynomial is used. Thus physical CC properties are characterized by transfer functions of $W_1(j2\pi f)$, $W_2(j2\pi f_1, j2\pi f_2)$ and $W_3(j2\pi f_1, j2\pi f_2, j2\pi f_3)$ – by the Fourier-images of weighting functions $w_1(t)$, $w_2(t_1, t_2)$ and $w_3(t_1, t_2, t_3)$.

Implementation of identification method on the IBM PC computer basis has been carried out using the developed software in Matlab software. The software allows automating the process of the test signals forming with the given parameters (amplitudes and frequencies). Also this software allows transmitting and receiving signals through an output and input section of PC soundcard, to produce segmentation of a file with the responses to the fragments, corresponding to the CC responses being researched on test polyharmonic effects with different amplitudes.

In experimental research two identical marine transceivers S.PRADIO A/S SAILOR RT2048 VHF (the range of operational frequencies is 154,4–163,75 MHz) and IBM PC with Creative Audigy 4 soundcards were used. Sequentially AFC of the first and second orders were defined. The method of identification with number of experiments $N=4$ was applied. Structure charts of identification procedure – determinations of the 1st, 2nd and 3rd order AFC of CC are presented accordingly in fig. 6 – fig. 8.

The CC received responses $y[a,x(t)]$ to the test signals $a,x(t)$, compose a group of the signals, which amount is equal to the used number of experiments N ($N=4$), shown in fig. 23. In each following group the signals frequency increases by magnitude of cho-

sen step. A cross-correlation was used to define the beginning of each received response.

Maximum allowed amplitude in described experiment with use of sound card was $A=0,25V$ (defined experimentally). The range of frequencies was defined by the sound card pass band (20...20000 Hz), and frequencies of the test signals has been chosen from this range, taking into account restrictions specified above. Such parameters were chosen for the experiment: start frequency $f_s=125$ Hz; final frequency $f_c=3125$ Hz; a frequency change step $F=125$ Hz; to define AFC of the second order determination, an offset on frequency $F_1=f_2-f_1$ was increasingly growing from 201 to 3401 Hz with step 100 Hz.

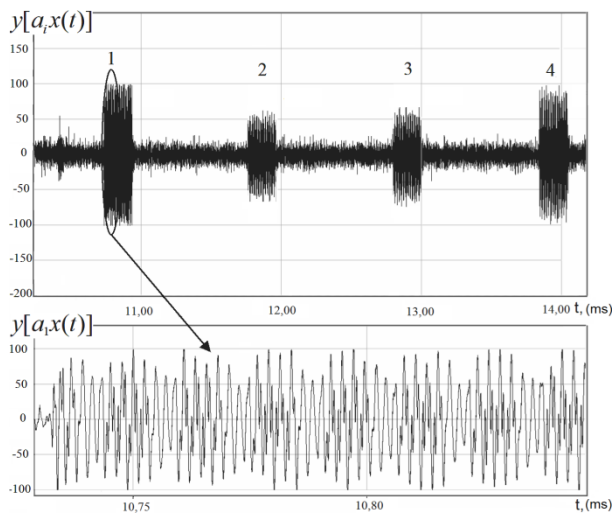


Fig. 23. The group of signals received from CC with amplitudes: -1 (1); -1/2 (2); 1/2 (3); 1 (4); N=4

Maximum allowed amplitude in described experiment with use of sound card was $A=0,25V$ (defined experimentally). The range of frequencies was defined by the sound card pass band (20...20000 Hz), and frequencies of the test signals has been chosen from this range, taking into account restrictions specified above. Such parameters were chosen for the experiment: start frequency $f_s=125$ Hz; final frequency $f_c=3125$ Hz; a frequency change step $F=125$ Hz; to define AFC of the second order determination, an offset on frequency $F_1=f_2-f_1$ was increasingly growing from 201 to 3401 Hz with step 100 Hz.

The weighed sum is formed from received signals – responses of each group (fig. 6, fig. 7). As a result we get partial components of the response of the CC $y_1(t)$ and $y_2(t)$. For each partial component of the response a Fourier transform (the Fast Fourier Transform is used) is calculated. Only informative harmonics (which amplitudes represents values of required characteristics of the first, second and third order AFC) are taken from received spectrum.

The first order amplitude-frequency characteristic $|W_1(j2\pi f)|$ is received by extracting the harmonics with frequency f from the spectrum of the partial response of the CC $y_1(t)$ to the test signal $x(t)=(A/2)\cos 2\pi f t$.

The second order AFC $|W_2(j2\pi f_1, j2\pi f_2)|$, where $f_1=f$ and $f_2=f+F_1$ was received by extracting the harmonics with summary frequency f_1+f_2 from the spectrum of the partial response of the CC $y_2(t)$ to the test signal $x(t)=(A/2)(\cos 2\pi f_1 t + \cos 2\pi f_2 t)$.

The third order AFC $|W_3(j2\pi f_1, j2\pi f_2, j2\pi f_3)|$, where $f_1=f, f_2=f+F_1$ and $f_3=127,5$ Hz were received by extracting the harmonics with summary frequency $f_1+f_2+f_3$ from the spectrum of the partial response of the CC $y_3(t)$ to the test signal $x(t)=(A/2)(\cos 2\pi f_1 t + \cos 2\pi f_2 t + \cos 2\pi f_3 t)$ (fig. 8).

The wavelet noise-suppression was used to smooth the output data of the experiment [9]. The results received after digital data processing of the data of experiments (wavelet “Coiflet” denoising) for the first, second and third order AFC are presented in fig. 24 – fig. 27.

The surfaces shown in fig. 26 – fig. 27 are built from sub-diagonal sections that are received separately. We used F_1 as growing parameter of identification with different value for each section.

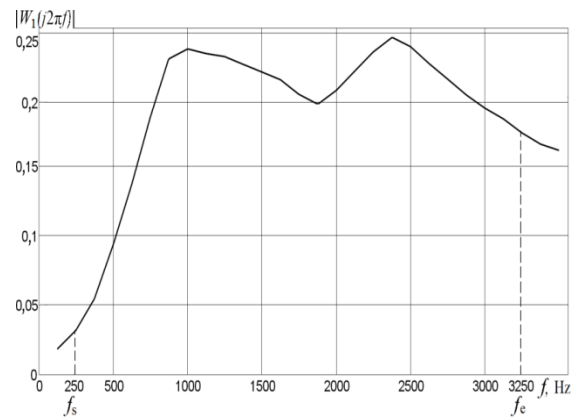


Fig. 24. AFC of the first order after wavelet “Coiflet” 2nd level noise-suppression

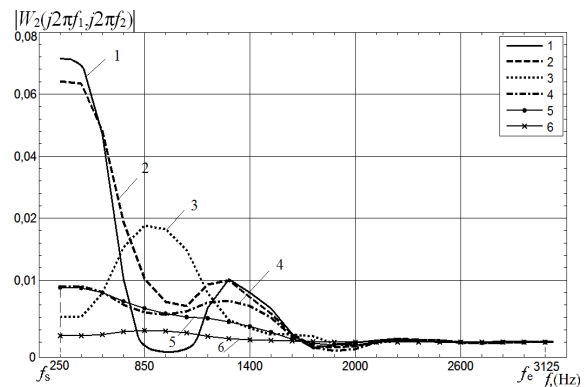


Fig. 25. Subdiagonal sections of AFCs of the second order after wavelet “Coiflet” 2nd level noise-suppression at different frequencies F_1 : 201 (1), 401 (2), 601 (3), 801 (4), 1001 (5), 1401 (6) Hz

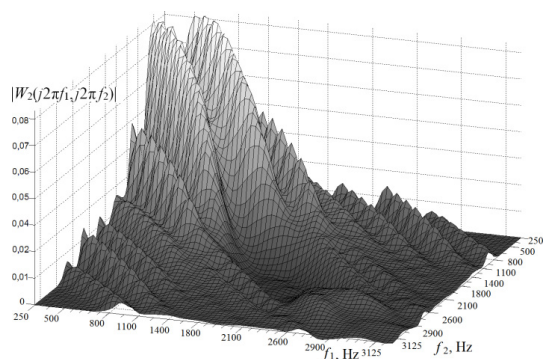


Fig. 26. Surface built of AFCs of the second order after wavelet “Coiflet” 3rd level noise-suppression

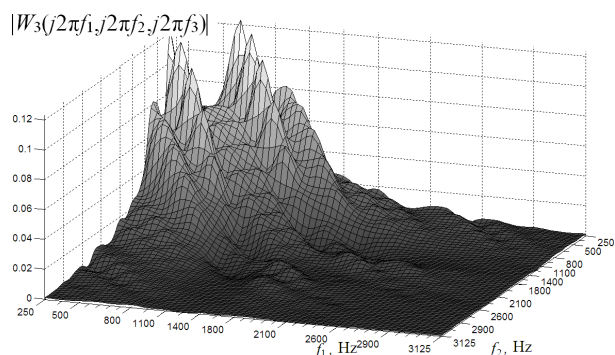


Fig. 27. Surface built of AFCs of the third order after wavelet “Coiflet” 3rd level noise-suppression, where $f_3=127,5$ Hz

Conclusions

Communication channel as a media for remote sensing systems functioning is analyzed. Nonlinear effects of the environments have great impact

on result data received in experiments. The method based on Volterra model using polyharmonic test signals for identification nonlinear dynamical systems is analyzed. To differentiate the responses of system for partial components we use the method based on linear combination of responses on test signals with different amplitudes.

New values of test signals amplitudes were defined and they are greatly raising the accuracy of identification compared to amplitudes and coefficients written in [16]. The accuracy of identification of nonlinear part of the test system growth 2 times and the standard deviation in this case is about 5%.

The interpolation method of identification using the hardware methodology written in [62] is applied for construction of informational Volterra model as an APC of the first and second order for UHF band radio channel.

Received results reveal essential nonlinearity of the CC that leads to distortions of signals in radio broadcasting devices, reduces the important indicators of the TCS: accuracy of signals reproduction, throughput, noise immunity.

The noise immunity is very high for the linear model, high enough for the second order nonlinear model and has moderate noise immunity for the third order model. The wavelet denoising is very effective and gives the possibility to improve the quality of identification of the noisy measurements up to 1,54 and 4,07 times for the AFC and PFC respectively.

Final characteristics of the CC have to be used to maintain sensor systems to improve the adequateness of received data.

References:

1. Liew, S.C. (2001). *Principles of remote sensing*. Space View of Asia, 2nd Edition. URL: <http://www.crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/rsmain.htm> (accessed 1 November 2013).
2. Kirichenko, I.A. (2017). Adaptive hydroacoustic monitoring of marine areas. *Proceedings of the Southern Federal District. Technical Sciences*, no. 8, pp. 63–70. DOI: 10.23683/2311-3103-2017-8-63-70 [in Russian].
3. Billings, S. (2013). *Nonlinear System Identification: NARMAX Methods in the Time, Frequency, and Spatio-Temporal Domains*. London: John Wiley & Sons, 574 p.
4. Cheng, C.M., Peng, Z.K., Zhang, W.M., Meng, G. (2017). Volterra-series-based nonlinear system modeling and its engineering applications: A state-of-the-art review. *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 87, no. 3, pp. 340–364.
5. Bayma, R., Zhu, Yunpeng, Zi-Qiang, Lang (2018). The analysis of nonlinear systems in the frequency domain using Nonlinear Output Frequency Response Functions. *Automatica*, March. DOI: 10.1016/j.automatica.2018.04.030.
6. Marghany, M. (2009). Volterra-Lax-wendroff algorithm for modelling sea surface flow pattern from Jason-1 satellite altimeter data. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, vol. 5730 LNCS, pp. 1–18.
7. Marghany, M., Mazlan, H., Cracknell, A.P. (2010). 3-D visualizations of coastal bathymetry by utilization of airborne TOPSAR polarized data. *International Journal of Digital Earth*, no 3(2), pp. 187–206.
8. Marghany, M. (2012). Three-Dimensional Coastal Front Visualization from RADARSAT-1 SAR Satellite Data. *Lecture Notes in Computer Science (ICCSA 2012)* / B. Murgante et al. (eds.), part III, LNCS 7335, pp. 447–456.

9. Giannakis, G.B., Serpedin, E. (2001). A bibliography on nonlinear system identification and its applications in signal processing, communications and biomedical engineering. *Signal Processing EURASIP. Elsevier Science*, vol. 81, no 3, pp. 533–580.
10. Doyle, F.J., Pearson, R.K., Ogunnaike, B.A. (2001). *Identification and Control Using Volterra Models*. London: Published Springer Technology & Industrial Arts, 314 p.
11. Marmarelis, P.Z., Marmarelis, V.Z. (1978). *Analysis of Physiological Systems, The White Noise Approach*. New York: Plenum Press, 487 p.
12. Schetzen, M. (1980). *The Volterra and Wiener Theories of Nonlinear Systems*. New York: Wiley & Sons, 531 p.
13. Popkov, Ju.S., Kiselev, O.N., Petrov, N.P., Shmul'jan, B.L. (1976). *Identification and optimization of nonlinear stochastic systems*. Moscow, Energiya Publ., 440 p. [in Russian].
14. Pupkov, K.A., Egupov, N.D. (2004). *Methods of classical and modern automatic control theory. Statistical dynamics and identification of automatic control systems: textbook for universities*. Vol. 2, 2nd ed. Moscow: Bauman Moscow State Technical University, 638 p. [in Russian].
15. Pupkov, K.A., Kapalin, V.I., Yushchenko, A.S. (1976). *Functional Series in the Theory of Nonlinear Systems*. Moscow: Nauka Publ., 448 p. [in Russian].
16. Danilov, L.V., Mathanov, P.N., Philipov, E.S. (1990). *Theory of nonlinear electrical circuits*. Leningrad: Published Energoatomizdat, 396 p. [in Russian].
17. Pavlenko, V.D., Lomovoy, V.I., Issa, S.Y.M. (2010). Identification of a Continuous Communication Channel Taking into Account its Nonlinear and Inertial Properties. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, Kharkov, no 6/8(48), pp. 13–18 [in Russian].
18. Pavlenko, V.D., Issa, S.Y.M., Kuznichenko, S.D. (2008). Construction of Information Models of Nonlinear Dynamic Systems in the form of Multidimensional Transfer Functions. *New Technologies: Scientific Herald of the Kremenchug University of Economics, Information Technologies and Management*, no 4(22), pp. 93–98 [in Russian].
19. Pavlenko, V.D., Issa, S.Y.M., Kuznichenko, S.D. (2008). Nonparametric Identification of Communication Channels based on the Volterra Model in the Frequency Domain. *East European Journal of Enterprise Technologies*. Kharkov, no 6/6(36), pp. 45–48 [in Russian].
20. Pavlenko, V.D., Speransky, V.A., Lomovoy, V.I. (2011). Method of Identification of Radio Frequency Communication Channels using the Volterra Model. *Microwave Technics and Telecommunication Technologies: Proceedings of the 21st International Conference (CriMiCo'2011)* (2011, February 12–16, Sevastopol, Crimea, Ukraine). Moscow – Kiev – Minsk – Sevastopol: Publisher in Weber, vol. 1, pp. 370–371.
21. Pavlenko, V.D., Speransky, V.O., Lomovoy, V.I. (2011). Modelling of Radio-Frequency Communication Channels Using Volterra Model. *Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications: Proc. of the 6th IEEE International Conference (IDAACS'2011)* (2011, 15–17 September, Prague, Czech Republic). Prague, pp. 574–579.
22. Pavlenko, V.D., Speransky, V.O., Lomovoy, V.I. (2011). The Test Method for Identification of Radiofrequency Wireless Communication Channels Using Volterra Model. *Proc. of the 9th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2011)* (2011, September 9–12, Sevastopol, Ukraine). Kharkov: KNURE, pp. 331–334.
23. Pavlenko, V.D., Lomovoy, V.I., Speransky, V.A., Ilyin, V.M. (2011). Radio frequency test method for wireless communications using Volterra model. *Dynamical Systems. Theory and Applications: Proc. of the 11th Conference (DSTA'2011)* (2011, December 5–8, Łódź, Poland). Łódź, pp. 446–452.
24. Pavlenko, V.D., Speransky, V.I., Ilyin, V.A., Lomovoy, V.I. (2012). Modified Approximation Method for Identification of Nonlinear Systems Using Volterra Models in Frequency Domain. *Applied Mathematics in Electrical and Computer Engineering: Proc. of the AMERICAN-MATH'12 & CSST'12 & CEA'12* (2012, January 25–27, Harvard, Cambridge, USA). Harvard, Cambridge: Published by WSEAS Press, pp. 423–428.
25. Pavlenko, V.D., Speransky, V.O. (2011). Communication Channel Identification in Frequency Domain Based on the Volterra Model. *Recent Advances in Computers, Communications, Applied Social Science and Mathematics: Proceedings of the International Conference on Computers, Digital Communications and Computing (ICDCC'11)* (2011, September 15–17, Barcelona, Spain). Barcelona: Published by WSEAS Press, pp. 218–222.
26. Pavlenko, V.D., Speransky, V.A. (2011). Building a Model of a Communication Channel based on Volterra Series in the Frequency Domain. *Proceedings of Odessa Polytechnic University*. Odessa, Vol. 2(36), pp. 204–210 [in Russian].
27. Pavlenko, V.D., Speransky, V.A. (2014). Identification of Communication Channels for Remote Sensing Systems Using Volterra Model in Frequency Domain. *Advanced Geoscience Remote Sensing / ed. by Maged Marghany*. Rijeka, Croatia: Publisher InTech, pp. 175–203. URL: <http://dx.doi.org/10.5772/58354>.
28. Pavlenko, V.D., Pavlenko, S.V., Speransky, V.A. (2014). Identification of Systems using Volterra Model in Time and Frequency Domain. *Advanced Data Acquisition and Intelligent Data Processing / V. Haasz, K. Madani (eds.)*. Denmark: River Publishers, pp. 233–270.
29. Boyd, S., Tang, Y.S., Chua, L.O. (1983). Measuring Volterra Kernels. *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, CAS-30(8), pp. 571–577.

30. Boyd, S., Chua, L.O. (1985). Fading memory and the problem of approximating nonlinear operators with Volterra series. *IEEE Transactions On Circuits and Systems*, no 32(11), pp. 1150–1161.
31. Chua, L.O., Liao, Y. (1989). Measuring Volterra Kernels (II). *Int. Journal of Circuit Theory and Applications*, vol. 17, pp. 151–190. URL: <https://doi.org/10.1002/cta.4490170204>.
32. Gifford, S.J., Tomlinson, G.R. (1989). Recent Advances in the Applications of Functional Series to Nonlinear Structures. *Journal of Sound and Vibration*, vol. 135(2), pp. 289–317.
33. Gifford, S.J. (1993). Estimation of Second and Third Order Frequency Response Functions Using Truncated Models. *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 7(2), pp. 145–160.
34. Westwick, D.T. (1995). *Methods for the Identification of Multiple-Input Nonlinear Systems*. McGill University, Montreal, Quebec, Canada: Departments of Electrical Engineering and Biomedical Engineering, 300 p.
35. Lee, G.M. (1997). Estimation of Nonlinear System parameters Using Higher Order Frequency Response Functions. *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 11(2), pp. 219–228.
36. Pavlenko, V.D., Cherevatyy V.V. (2006). Identification of Nonlinear Systems in the form of Volterra Kernels by Differentiation of Responses by Amplitude of Test Signals. *Systems Identification and Control Problems: Proceedings of the V International Conference (SICPRO'06)* (2006, January 30 – February 2, Moscow) / V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences Russian Academy of Sciences. Moscow: Publishing ICS Russian Academy of Sciences, pp. 203–216 [in Russian].
37. Pavlenko, V.D. (2006). Estimation of the Volterra Kernels of a Nonlinear System Using Impulse Response Data. *Signal/Image Processing and Pattern Recognition: Proc. the Eighth All-Ukrainian International Conference (krOBRAZ'2006)* (2006, August 28–31, Kyiv Ukraine). Kyiv, pp. 191–194.
38. Pavlenko, V.D., Cherevatyy V.V. (2007). Information Technology for Modeling of a Nonlinear Systems Using of the Volterra Kernels. *Herald of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute". Thematic Issue "System Analysis, Management and Information Technologies"*, Kharkiv, no 7, pp. 110–120.
39. Pavlenko, V.D., Speransky, V.O. (2012). The Identification of the Radiofrequency Channel for Transmissions in Frequency Domain on the Foundations of Volterra Series. *Signal/Image Processing and Pattern Recognition: Proceedings of the XI International Conference (UkrObraz-2012)* (Kyiv, 2012, October 15–19). Kyiv: Publisher International Research and Training Center for Information Technologies and Systems, pp. 153–156 [in Ukrainian].
40. Pavlenko, V.D., Speransky, V.O. (2012). Identification of nonlinear dynamical systems using Volterra model with interpolation method in frequency domain. *Electrotechnic and Computer Systems*, Kiev: Publisher Technica, no 5(81), pp. 229–234.
41. Pavlenko, V.D., Speransky, V.O. (2012). Simulation of Telecommunication Channel Using Volterra Model in Frequency Domain. *10th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2012)* (Kharkiv, Ukraine, 2012, September 14–17). Kharkiv, pp. 401–404.
42. Pavlenko, V.D., Speransky, V.O. (2013). Interpolation method modification for nonlinear objects identification using Volterra model in frequency domain. *23rd International Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology" (CriMiCo'2013)* (Sevastopol, Ukraine). Sevastopol, pp. 257–260.
43. Pavlenko, V.D., Fomin, A.A., Pavlenko, S.V., Grigorenko, Y.S. (2013). Identification Accuracy of Nonlinear System based on Volterra Model in Frequency Domain. *AASRI Procedia*, vol. 4, pp. 297–305. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aasri.2013.10.044>.
44. Pavlenko, V.D., Pavlenko, S.V., Speransky, V.O. (2013). Interpolation Method of Nonlinear Dynamical Systems Identification Based on Volterra Model in Frequency Domain. *Proceedings of the 7th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'2013)* (Berlin, Germany, 2013, 15–17 September). Berlin, pp. 173–178.
45. Pavlenko, V.D., Speransky, V.A. (2013). The study of noise immunity for interpolation method of nonlinear dynamical systems identification based on Volterra model in frequency domain. *International Conference "Computer Science & Engineering 2013" (CSE-2013)* (Lviv, Ukraine, 2013, November 21–23). Lviv: Lviv Polytechnic National University Institutional Repository, pp. 136–141. URL: <http://ena.lp.edu.ua:8080/handle/ntb/23779>.
46. Pavlenko, V.D., Speransky, V.A. (2013). Analysis of identification accuracy of nonlinear system based on Volterra model in frequency domain. *American Journal of Modeling and Optimization*, vol. 1, no 2, pp. 11–18. DOI: 10.12691/ajmo-1-2-2.
47. Pavlenko, V.D., Speransky, V.O. (2012). Analysis of nonlinear system identification accuracy based on Volterra model in frequency domain. *Electrotechnic and Computer Systems*. Kiev: Technica, no 8(84), pp. 66–71.
48. Pavlenko, V.D., Speransky, V.A. (2017). Polyharmonic Test Signals Application for Identification of Nonlinear Dynamical Systems Based on Volterra Model. *Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics: Proc. IEEE of the Second International Conference (UkrMiCo'2017)* (Odesa, Ukraine, 2017, September 11–15). Odesa, pp. 86–90.

49. Volterra, V. (2005). *Theory of Functionals and of Integral and Integro-Differential Equations*, Series: Dover Books on Mathematics. New York: Publisher Dover Publications, 288 p.
50. Godunov, S.K., Ryabenkiy, V.S. (1973). *Difference Schemes*. Moscow: Nauka, 400 p. [in Russian].
51. Pavlenko, V.D., Lomovoy, V.I. (2018). Construction of the Model Approximation Nonlinear Dynamic System in the Form Volterra Polynomial. *Scientific Papers of the Taurida National University named after V.I. Vernadsky. Series "Technical sciences"*, vol. 29(68), no 6, pp. 200–205 [in Ukrainian].
52. Pavlenko, V.D., Zinoviev, A.A. (2002). Choice of test frequencies for determination of Volterra Kernels. *Electronic modeling*, vol. 24, no 1, pp. 16–24 [in Russian].
53. Pavlenko, V.D., Zinoviev, A.A. (2004). Increase the accuracy of nonparametric identification of nonlinear systems based on integral power series. *Systems Identification and Control Problems: Proceedings of the III International Conference (SICPRO'04)* (Moscow, 2004, January 28–30) / V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences Russian Academy of Sciences. Moscow: Publishing ICS Russian Academy of Sciences, pp. 899–918 [in Russian].
54. Pavlenko, V.D., Issa S.Y.M. (2009). Limitation of the Choice Frequencies Test Polyharmonic Signals for the Identification Nonlinear System. *Proc. of Odessa Polytechnic University*, vol. 31, no 1, pp. 107–113 [in Russian].
55. Cheng, C.M., Peng, Z.K., Zhang, W.M., Meng, G. (2014). Wavelet basis expansion-based Volterra kernel function identification through multilevel excitations. *Nonlinear Dyn*, Published Springer Science+Business Media Dordrecht, no 76, pp. 985–999. DOI: 10.1007/s11071-013-1182-3.
56. Cheng, C.M., Dong, X.J., Peng, Z.K., Zhang, W.M., Meng, G. (2014). Wavelet basis expansion-based spatio-temporal Volterra kernels identification for nonlinear distributed parameter systems. *Nonlinear Dyn*, Published Springer Science+Business Media Dordrecht, no 78, pp. 1179–1192. DOI: 10.1007/s11071-014-1506-y.
57. Smolentsev, N.K. (2005). *Fundamentals of the theory of wavelets. Wavelets in MATLAB*. Moscow: DMK-Press Publ., 304 p. [in Russian].
58. Misiti, M., Misiti, Y., Oppenheim, G., Poggi, J-M. (2000). *Wavelets Toolbox for use with MATLAB: Users Guide*. Natick: The MathWorks. 280 p.
59. Goswami, J.G., Chan, A.K. (1999). *Fundamentals of Wavelets: Theory, Algorithms, and Applications*. New York: Publishing John Wiley & Sons Inc., 359 p.
60. Donoho, D.L., Johnstone, I.M. (1994). Threshold selection for wavelet shrinkage of noisy data. *Proc. 16th Annual Conf. of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, Maryland: IEEE Press, pp. 24a–25a.
61. Pavlenko, V.D., Pavlenko, S.V., Speransky, V.A. (2014). Noise Immunity Research for Nonlinear Dynamical Systems Identification Based on Volterra Model in Frequency Domain. *International Journal of Computing*, Ternopil: Ternopil National Economic University, vol. 13, issue 1, pp. 34–41. URL: http://computingonline.net/issues/2014_1/IJC_2014_13_1_04.html.
62. Pavlenko, V.D., Pavlenko S.V., Lomovoy, V.I. (2018). Computational Tools for Building Volterra Models of Nonlinear Dynamic Systems in the Frequency Domain. *Herald of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute". Thematic Issue "Information Science and Modelling"*. Kharkov: NTU "KhPI", no 42(1318), pp. 115–130. DOI: 10.20998/2411-0558.2017.50.07 [in Russian].
63. Pavlenko, V.D., Speransky, V.A. (2014). The Toolkit for Nonparametric Identification Nonlinear Dynamical Systems Based on Volterra Models in Frequency Domain. *Mathematical and Computer Modelling. Series "Technical sciences"* / V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of NAS of Ukraine & Kamianets-Podilsky National Ivan Ohienko University, issue 11, pp. 107–116.
64. Pavlenko, V.D., Speransky, V.A., Dombrovskiy, M.M. (2015). The Engineering Software Tools for Nonlinear Dynamical Systems Identification Based on Volterra Models in Frequency Domain. *Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications: Proc. of the 8th IEEE International Conference (IDAACS-2015)* (Warsaw, Poland, 2015, September 24–26). Warsaw, pp. 386–391. DOI: 10.1109/IDAACS.2015.7340763.
65. Pavlenko, V.D., Speransky, V.A. (2015). The methodology of experimental researches and the software tools for Volterra model construction of infocommunication system. *Problems of Infocommunications Science and Technology: IEEE of the Second International Scientific-Practical Conference PIC S&T / Kharkiv National University of Radio Electronics*. Kharkiv, pp. 141–144. DOI: 10.1109/INFOCOMMST.2015.7357296.
66. Pavlenko, V.D., Speransky, V.A. (2011). Automated System for Monitoring Communication Channels of Telecommunication Systems. *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Advanced Information Technologies, Automation Tools and Systems their Implementation at Russian Enterprises" (AITA-2011)* (Moscow, Russia, 2011, April 4–8) / V.A. Trapeznikova Institute of Control Sciences RAS. Moscow, pp. 1023–1031 [in Russian].

МЕТОДИ ТА ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ЗАСОБИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ НЕЛІНІЙНИХ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ МОДЕЛЕЙ ВОЛЬТЕРРИ В ЧАСТОТНІЙ ОБЛАСТІ

Досліджується точність та обчислювальна стійкість методів детермінованої ідентифікації нелінійних динамічних систем у вигляді багатовимірних амплітудно- і фазочастотних характеристик. Розглядаються апроксимаційний та інтерполяційний методи ідентифікації з використанням тестових полігармонічних сигналів. Обчислювальна стійкість процедури ідентифікації забезпечується за допомогою методу регуляризації некоректних задач. Для згладжування оцінок отриманих характеристик використовується вейвлет-фільтрація.

Ключові слова: нелінійні динамічні системи, непараметрична ідентифікація, модель Вольтерри, багатовимірні частотні характеристики, полігармонічні сигнали, регуляризація, вейвлет-фільтрація.

МЕТОДЫ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ИДЕНТИФИКАЦИИ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ ВОЛЬТЕРРЫ В ЧАСТОТНОЙ ОБЛАСТИ

Исследуется точность и вычислительная устойчивость методов детерминированной идентификации нелинейных динамических систем в виде многомерных амплитудно- и фазочастотных характеристик. Рассматриваются аппроксимационный и интерполяционный методы идентификации с использованием тестовых полигармонических сигналов. Вычислительная устойчивость процедуры идентификации обеспечивается с помощью метода регуляризации некорректных задач. Для сглаживания оценок полученных характеристик используется вейвлет-фильтрация.

Ключевые слова: нелинейные динамические системы, непараметрическая идентификация, модель Вольтерры, многомерные частотные характеристики, полигармонические сигналы, регуляризация, вейвлет-фильтрация.

УДК 004.9

Ляшенко Е.Н.

Херсонский национальный технический университет

Кирийчук Д.Л.

Херсонский национальный технический университет

Прачик В.В.

Херсонский национальный технический университет

МЕТОДОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ БАЗ ЗНАНИЙ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИ РАЗВИВАЮЩИХСЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ОСНОВЕ ЛОГИЧЕСКОГО ФОРМАЛИЗМА ДЕСКРИПЦИОННЫХ ЛОГИК

В работе предложена методология разработки баз знаний для интеллектуальных систем управления в условиях возникновения динамически развивающихся чрезвычайных ситуаций. В качестве базового логического формализма для представления знаний предложено использовать дескрипционные логики АЛС. Интенциональные знания в модели представлены в виде набора терминологических аксиом, фиксирующих взаимосвязи основных понятий предметной области, а экстенциональные – в виде утверждений (фактов) об индивидуальных объектах, их свойствах и связях с другими объектами. Доказано, что сформулированная система терминологических аксиом позволяет осуществлять вывод новых (неявных) знаний из знаний, заданных явно в терминологии. Разработана база знаний предметной области, содержащая знания, собранные экспертами и записанные в виде аксиом и фактов при помощи конструкций дескрипционной логики АЛС.

Ключевые слова: база знаний, дескрипционная логика, интеллектуальные системы управления, чрезвычайные ситуации.

Постановка проблемы. В последние десятилетия в Украине наметилась устойчивая тенденция роста числа чрезвычайных ситуаций (далее – ЧС). Возросло количество природных и техногенных катастроф, которые по интенсивности развития, масштабу распространения и продолжительности оказывают негативное влияние на все сферы жизнедеятельности населения страны, объекты экономики и окружающую природную среду [1, с. 1].

В условиях возникновения ЧС требуется максимально быстро принимать решения на этапах подготовки и проведения комплекса аварийно-спасательных и восстановительных работ, а также осуществления анализа их эффективности, что достаточно затруднено в случае отсутствия интеллектуальных систем управления в условиях динамически развивающихся чрезвычайных ситуаций, ядром которых являются интеллектуальные базы знаний (далее – ИБЗ).

Предназначение ИБЗ заключается в хранении, обработке и отображении знаний о предметной области, включая [2, с. 9]:

1) упорядоченные факты и данные, отражающие модель предметной области (предметные данные);

2) модели, правила и алгоритмы, позволяющие рассчитывать определенные показатели функционирования объектов в условиях ЧС, строить цепочки логических выводов и на этой основе делать обобщения и заключения, а также вызывать определенные ассоциации (декларативные знания);

3) управляющие и интерпретирующие структуры, определяющие порядок и способы применения моделей и правил логического вывода для получения или трансформации информации с целью разработки эффективных оперативных, стратегических и тактических планов действий по предупреждению и ликвидации ЧС, адаптируемых к применению в условиях возникновения конкретных ЧС независимо от сценариев их развития (процедурные знания).

Таким образом, научно-прикладной проблемой исследования является разработка ИБЗ для интеллектуальных систем управления в условиях дина-

мически развивающихся чрезвычайных ситуаций, которые обеспечат повышение обоснованности, оперативности и эффективности принимаемых решений при выполнении основных задач управления при ликвидации последствий ЧС.

Анализ последних исследований и публикаций. Анализ работ [3–7] показал, что достаточно широкая аудитория исследователей ставила перед собой задачу по разработке ИБЗ для интеллектуальных систем управления в условиях возникновения природных и техногенных катастроф.

Так, в работе С.И. Вильчик [3, с. 160] выполнено проектирование интеллектуальной системы (далее – ИС) для поддержки принятия решений при ликвидации техногенных ЧС.

Разработана агрегированная многоуровневая модель знаний по управлению безопасностью, основанная на интеграции семантических сетей, фреймового и продукционного подходов. Предложены алгоритмы построения конструкций базы знаний, а также их обоснование с применением агрегированной сети Петри.

Выполнена систематизация и формализация знаний. Описано содержание входной и выходной информации для каждого блока знаний, приведен состав фреймов и механизм их заполнения. Разработаны стратегии логического вывода для динамического управления процессами предупреждения и ликвидации ЧС.

В работе М.А. Грищенко [4, с. 1] разработана технология создания баз знаний (далее – БЗ) и экспертных систем (далее – ЭС), обеспечивающая визуальное моделирование предметной области и последующее автоматизированное создание продукционных БЗ и ЭС на основе разработанных моделей предметной области. В качестве методологической основы автором использовался модельно-ориентированный подход MDA, предполагающий разработку программных систем на основе трансформации и интерпретации информационных моделей.

Для описания платформенно-независимой модели в работе предлагается использовать разработанную автором нотацию для представления продукций именуемую Rule Visual Modeling Language (RVML).

Апробация подхода осуществлена на примере разработки баз знаний экспертных систем для решения задач обеспечения надежности и безопасности опасных нефтехимических объектов.

А.С. Сигов, В.В. Нечаев, М.И. Кошкарев [5, с. 5] предложили архитектурную модель базы знаний для предметно-ориентированных интеллектуаль-

ных систем. В ходе синтеза архитектуры в работе также предложены некоторые варианты оптимизации доступа к информации, например, такие как создание временных таблиц с суженной областью поиска. Подробно описана архитектура баз данных (далее – БД), позволяющая использовать эти варианты оптимизации. Предложенная авторами архитектура БД дает возможность интегрировать между собой различные модели представления знаний, как следствие, проводить модернизацию ИС. Кроме того, предложенная архитектура БЗ позволяет интегрировать между собой различные ИС.

В работе [6, с. 1] разработана модель знаний по управлению процессами ликвидации последствий стихийных бедствий, которая включает в себя шесть этапов, помогающих определить наиболее рациональные альтернативы управления.

О.С. Андрощук [7, с. 174] изложил технологию построения ситуативной базы знаний ИС поддержки принятия решений, сущность которой заключается в формализации концептуальных знаний о ЧС в ситуативной базе знаний (далее – СБЗ). СБЗ основана на взаимодействии трех моделей представления знаний: в форме прецедентов, в форме правил и в форме объектных моделей процесса управления.

Основой технологии разработки СБЗ является предложенный автором объектно-познавательный анализ, в процессе которого происходит формирование понятий предметной области и определение отношений между ними, на основании объектно-ориентированных моделей на языке UML.

По результатам анализа последних исследований и публикаций можно сделать вывод, что в подавляющем большинстве работ для решения поставленных задач использовались следующие модели представления знаний: продукционные модели, сетевые модели или семантические сети, фреймовые модели.

Существенным недостатком использования продукционных моделей является то, что при накоплении достаточно большого числа правил (продукций) они начинают противоречить друг другу [8, с. 40].

Сетевая модель (семантическая сеть) не дает ясного представления о структуре предметной области, поэтому формирование и модификация такой модели весьма затруднительны.

Кроме того, сетевые модели представляют собой структуры, для обработки которых необходим специальный аппарат формального вывода и планирования [8, с. 46].

Синтаксис и семантика семейства логик *ALC*

Название конструкции	Синтаксис	Семантика
Базовая логика <i>ALC</i>		
Атомарные концепты	A, C, D	$A^J \subseteq \Delta^J$, $I = (\Delta^J, \cdot^J)$ – интерпретация, Δ^J – область интерпретации, \cdot^J – интерпретирующая функция.
Концепт «истина»	\top	$\top^J = \Delta$
Концепт «ложь»	\perp	$\perp^J = \emptyset$
Отрицание	$\neg C$	$(\neg C)^J = \Delta / C^J$
Пересечение (конъюнкция)	$C \sqcap D$	$(C \sqcap D)^J = C^J \cap D^J$
Объединение (дизъюнкция)	$C \sqcup D$	$(C \sqcup D)^J = C^J \cup D^J$
Атомарная роль	R	$R_A^J \subseteq \Delta^J \times \Delta^J$
Экзистенциальное ограничение	$\exists R. C$	$(\exists R. \top)^J = \{a \in \Delta^J \mid \exists b. (a, b) \in R^J\}$, a – имя индивида
Универсальное ограничение	$\forall R. C$	$(\forall R. C)^J = \{a \in \Delta^J \mid \forall b. (a, b) \in R^J \rightarrow b \in C^J\}$
Логика <i>ALC</i> \subseteq <i>ALCN</i> \subseteq <i>ALCQ</i> \subseteq <i>ALCJ</i> \subseteq <i>ALCO</i>		
Количественные ограничения на роли	$(\leq nR)$, $(\geq nR. C)$	$(\geq nR)^J = \{a \in \Delta^J \mid \{b \mid (a, b) \in R^J\} \geq n\}$, $(\leq nR)^J = \{a \in \Delta^J \mid \{b \mid (a, b) \in R^J\} \leq n\}$.
Качественное ограничение на роли	$(\leq nR. C)$, $(\geq nR. C)$	$(\leq nR. C)^J = \{a \in \Delta^J \mid \#(R^J(a) \cap C^J) \leq n\}$. $(\geq nR. C)^J = \{a \in \Delta^J \mid \#(R^J(a) \cap C^J) \geq n\}$.
Обратные роли	R^-	$(R^-)^J = \{(a, d) \in \Delta \times \Delta \mid (d, a) \in R^J\}$
Номиналы	$\{a\}$	$\{a\}^J = \{a\}^J$ $\{a^J\} \subseteq \Delta^J$

К недостаткам фреймовых моделей можно отнести их высокую сложность, что проявляется в снижении скорости работы механизма вывода и препятствует достижению необходимой скорости работы ИС, предназначенных для функционирования в условиях динамически развивающихся чрезвычайных ситуаций.

Это и обуславливает актуальность дальнейших исследований по выбранной теме.

Постановка задания. Целью статьи является разработка ИБЗ для интеллектуальных систем управления в условиях динамически развивающихся чрезвычайных ситуаций на основе логического формализма дескрипционных логик.

Использование логического формализма дескрипционных логик позволит наиболее эффективным образом описать исследуемую предметную область, характеризующуюся динамически изменяющейся структурой, с целью выработки эффективных управленческих решений в условиях возникновения и ликвидации последствий ЧС.

Изложение основного материала исследования. Для представления знаний о предметной области в работе предлагается использовать семейство дескрипционных логик *ALC*.

Синтаксис и семантика базовой логики *ALC* и ее расширений *ALC* \subseteq *ALCN* \subseteq *ALCQ* \subseteq *ALCJ* \subseteq *ALCO* представлены в таблице 1 [9, с. 1; 12, с. 48; 14, с. 11, 44].

Синтаксис описывает, какие выражения (концепты, роли, аксиомы) считаются правильно построенными в данной логике. Семантика указывает, как интерпретировать эти выражения, т. е. придает им формальный смысл [13, с. 1].

На рис. 1 приведена иерархия концептов рассматриваемой предметной области.

Семейство дескрипционных логик *ALC* используется для описания интенциональных знаний (описания классов объектов концептами, а отношений между ними – ролями), а также экстенциональных знаний о конкретных объектах (индивидах), их свойствах и связях с другими объектами.

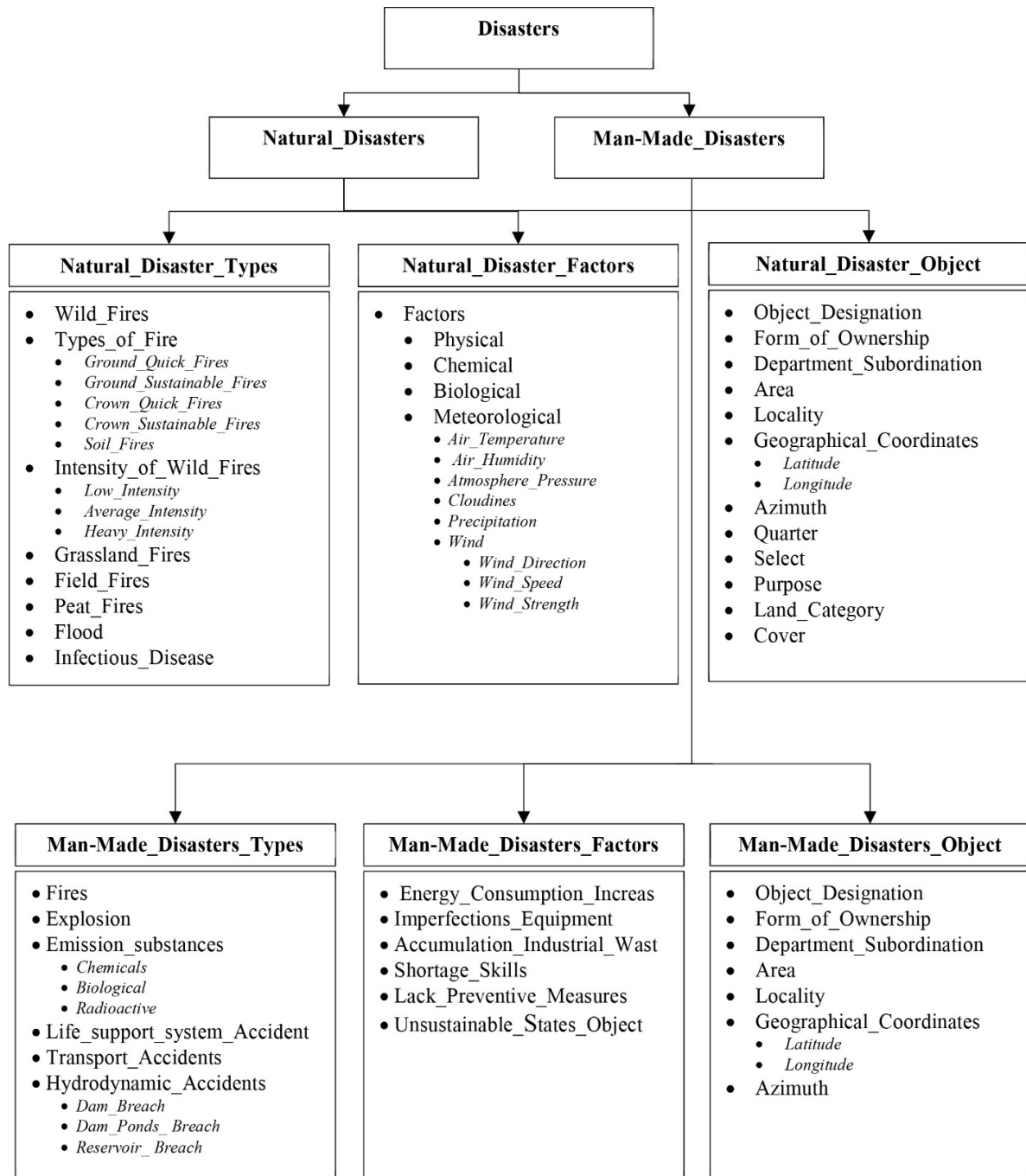


Рис. 1. Иерархия атомарных концептов рассматриваемой предметной области

В соответствии с этим делением, знания, фиксируемые при помощи логик *ALC*, подразделяются на [13, с. 4; 14, с. 2]:

набор терминологических аксиом – *TBox* (\mathcal{T});

набор утверждений (фактов) об индивидах – *ABox* (\mathcal{A}).

Согласно [14, с. 13], терминологической аксиомой называется выражение вида $C \sqsubseteq D$ или $C \equiv D$, где C и D – произвольные концепты. Терминологией *TBox* называется произвольный конечный набор аксиом данного вида.

Зададим набор терминологических аксиом *TBox* предметной области:

$$Disasters \equiv Natural_Disasters \sqcup Man_Made_Disasters$$

$$Natural_Disasters \subseteq \forall hasNatural_Disaster_Types. Natural_Disasters$$

$$Natural_Disasters \equiv Disasters \sqcup \exists hasNatural_Disaster_Types. \top$$

$$Wild_Fires \sqcap (\geq 3 has Intensity_of_Wild_Fires)$$

$$Natural_Disasters \sqcap \exists hasNatural_Disaster_Types. Disasters$$

$Natural_Disasters \subseteq Wild_Fires \sqcap$
 $\exists Natural_Disaster_Object. \{Forested_Area\}$
 $Man_Made_Disasters_Types \subseteq Fires \sqcup Explosion \sqcup Emission_substances \sqcup$
 $Life_support_system_Accident \sqcup Transport_Accidents$
 $Types_of_Fire \subseteq Ground_Quick_Fires \sqcup$
 $Ground_Sustainable_Fires \sqcup$
 $Crown_Quick_Fires \sqcup Crown_Sustainable_Fires \sqcup Soil_Fires.$

Согласно [10, с. 1; 14, с. 14], *ABox* представляет собой систему фактов об индивидах. Факты об индивидах бывают двух видов:

- утверждение о принадлежности индивида a к концепту C , $a : C$;
- утверждение о связи двух индивидов a и b ролью R , aRb .

Таким образом, системой фактов или *ABox* называется конечное множество \mathcal{A} утверждений вида $a : C$ и aRb , где $a, b \in IN$, IN – конечное множество имен индивидов, C – произвольный концепт, R – роль.

Зададим набор утверждений (фактов) об индивидах *ABox* предметной области:

$Disasters: Natural_Disasters \sqcup Man_Made_Disasters$
 $Explosion: Disasters \sqcap \neg Natural_Disasters$
 $Natural_Disasters: \exists hasNatural_Disaster_Types.$
 $\neg Explosion$
 $Emission_substances\ hasTypes\ Chemicals \sqcup$
 $Biological \sqcup Radioactive$
 $Emission_substances: Disaster \sqcap \forall hasFires. \perp.$
 $Man_Made_Disasters_Object: \exists hasGeographical_Coordinates. \{Latitude \sqcup Longitude\}$
 $Natural_Disaster_Factors\ has\ Factors\ Physical$
 $\sqcup Chemical \sqcup Biological \sqcup Meteorological$
 $Meteorological: \exists hasTypes. Atmosphere_Pressure$
 $Flood: \neg Man_Made_Disasters_Types$
 $Man_Made_Disasters \subseteq \forall has\ Man_Made_Disasters_Types.$

Набор терминологических аксиом *TBox* и набор утверждений (фактов) об индивидах *ABox* образуют БЗ предметной области, созданную экспертами в этой области [10, с. 13; 14, с. 14]. Чтобы этими знаниями можно было пользоваться, необходим механизм извлечения информации из БЗ.

Для формулировки запросов необходимо использовать дополнительные конструкции логики *ALC* [11, с. 1; 14, с. 61].

Пусть $Var = \{x_0, x_1, x_2, \dots\}$ – счетное множество индивидуальных переменных.

$u : C, uRv$ – атомарные запросы, где C – концепт, R – роль, u, v – индивиды или переменные из множества Var .

Конъюнктивный запрос – это выражение вида $\exists \bar{y}(t_1 \wedge \dots \wedge t_k)$, где t_i – атомы, $\bar{y} = (y_1, \dots, y_m)$ – список переменных, входящих в t_i . Переменные y_i называются связанными, остальные переменные, входящие в t_i , называются свободными.

Если $\bar{x} = (x_1, \dots, x_n)$ – список свободных переменных запроса q , то запрос можно записать как $q(\bar{x})$. Число свободных переменных запроса q называется его размерностью и обозначается $ar(q)$. Запрос размерности n называется также n – местным запросом.

Для $n = 0$ булев запрос q истинен в базе знаний \mathcal{B} . Если $\mathcal{B} \models q$, то есть для любой интерпретации \mathcal{I} из $\mathcal{I} \models \mathcal{B}$ следует $\mathcal{I} \models q$.

Для $n \geq 1$ набор индивидов \bar{a} называется ответом на запрос $q(\bar{x})$ к базе знаний \mathcal{B} , если $\mathcal{B} \models q(\bar{a})$. Множество ответов на запрос $q(\bar{x})$ к базе знаний \mathcal{B} можно обозначить как $q[\mathcal{B}] = \{\bar{a} \in IN^n \mid \mathcal{B} \models q(\bar{a})\}$.

Множество ответов на запрос к БЗ всегда конечно. Если $|IN| = N$ и $ar(q) = n$, то $|q[\mathcal{B}]| \leq N^n$.

Рассмотрим БЗ предметной области $\mathcal{B} = \emptyset, \mathcal{A}$, где *ABox*

$\mathcal{A} = \{a\ hasDisasters_Types\ b, b: Natural_Disaster_Types, a: \exists hasDisasters_Types. \neg Natural_Disaster_Types\}$.

Сравним следующие два запроса: $q(x) = a\ hasDisasters_Types\ x$ и $p(x) = x : Natural_Disaster_Types$.

Очевидно, что $q[\mathcal{B}] = p[\mathcal{B}] = \{b\}$.

Рассмотрим также следующую интерпретацию $\mathcal{I} = (\Delta, \tau)$, где

$\Delta = \{Fires, Explosion, Emission_substances, Chemicals, Biological, Wild_Fires, Ground_Quick_Fires, Ground_Sustainable_Fires, Flood\}$,

$Natural_Disaster_Types^\tau = \{Wild_Fires, Flood\}$,
 $a^\tau = Wild_Fires, b^\tau = Flood$,

$has\ Disasters_Types^\tau = \{\langle Emission_substances, Chemicals \rangle, \langle Emission_substances, Biological \rangle, \langle Wild_Fires, Ground_Quick_Fires, Wild_Fires, Ground_Sustainable_Fires \rangle\}$.

Данная интерпретация является моделью базы знаний \mathcal{B} предметной области.

Выводы. Предложена методология разработки баз знаний для интеллектуальных систем управления в условиях возникновения динамически развивающихся чрезвычайных ситуаций. В качестве базового логического формализма для представления знаний предложено использовать дескрипционные логики *ALC*.

Сформулирована система терминологических аксиом, которая позволяет осуществлять вывод новых (неявных) знаний из знаний, заданных явно в терминологии.

Разработана база знаний предметной области, содержащая знания, записанные в виде аксиом и фактов при помощи конструкций дескрипционной логики ALC.

Использование логического формализма дескрипционных логик позволило наиболее

эффективным образом описать исследуемую предметную область, характеризующуюся динамически изменяющейся структурой, с целью выработки эффективных управленческих решений в условиях возникновения и ликвидации последствий ЧС.

Список литературы:

1. Інформаційно-аналітична довідка про виникнення надзвичайних ситуацій в Україні у 2018 році / Державна служба України з надзвичайних ситуацій. Дата оновлення: 25.01.2018. URL: <http://www.dsns.gov.ua/ua/Dovidka-za-kvartal/87968.html> (дата звернення: 18.01.2019).

2. Введение в системное проектирование интеллектуальных баз знаний: монография / В.П. Балан, А.В. Душкин, В.И. Новосельцев, В.И. Сумин; под ред. В.И. Новосельцева. Москва: Горячая линия. Телеком, 2016. 107 с.

3. Вильчик С.И. Формирование баз знаний для интеллектуальной системы по предупреждению и ликвидации ЧС на промышленном предприятии: дисс. ... канд. техн. наук: спец. 05.13.01. Красноярск: Рос-сийская академия наук, Сибирское отделение, Институт вычислительного моделирования, 2003. 169 с.

4. Грищенко М.А. Разработка баз знаний и экспертных систем на основе модельно-ориентированного подхода. *XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014*: труды (Москва, 16–19 июня 2014 г.). Москва: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. С. 4107–4112.

5. Сигов А.С., Нечаев В.В., Кошкарев М.И. Архитектура предметно-ориентированной базы знаний интеллектуальной системы. *International Journal of Open Information Technologies*. 2014. Vol. 2. № 12. P. 1–5.

6. Artūras Kaklauskas, Dilanthi Amarantunga, Richard Haigh. Knowledge model for post-disaster management. *International Journal of Strategic Property Management*. 2009. Vol. 13:2. P. 117–128.

7. Андрощук О.С. Ситуаційна база знань інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень в управлінні органами охорони державного кордону. *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба*. 2008. Вип. 3 (18). С. 171–174.

8. Морозова В.А., Паутов В.И. Представление знаний в экспертных системах: учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2017. 120 с.

9. Золин Е. Расширения логики ALC. 2018. С. 35–39. URL: http://lpcs.math.msu.su/~zolin/dl/pdf/DL_06_ALCOIQ.pdf (дата обращения: 18.01.2019).

10. Золин Е. Факты и ABox. 2018. С. 13–16. URL: http://lpcs.math.msu.su/~zolin/dl/pdf/DL_03_ABox.pdf (дата обращения: 18.01.2019).

11. Золин Е. Запросы к базам знаний. 2018. С. 45–49. URL: http://lpcs.math.msu.su/~zolin/dl/pdf/DL_08_Query.pdf (дата обращения: 18.01.2019).

12. The description logic handbook. Theory, implementation, and applications / F. Baader, D. Calvanese, D.L. McGuinness, D. Nardi, P.F. Patel-Schneider. Cambridge University Press, 2003. 574 p.

13. Giuseppe De Giacomo, Maurizio Lenzerini. TBox and ABox Reasoning in Expressive Description Logics. In Proc. of KR-96. M. Kaufmann, Los Altos, 1996. P. 316–327.

14. Stephan Tobies. Complexity Results and Practical Algorithms for Logics in Knowledge Representation: PhD thesis. LuFG Theoretical Computer Science. RWTH-Aachen. Germany, 2001. 182 p.

МЕТОДОЛОГІЯ РОЗРОБЛЕННЯ БАЗ ЗНАТЬ ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ В УМОВАХ ВИНИКНЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ, ЩО ДИНАМІЧНО РОЗВИВАЮТЬСЯ, НА ОСНОВІ ЛОГІЧНОГО ФОРМАЛІЗМУ ДЕСКРИПЦІЙНИХ ЛОГІК

У роботі запропоновано методологію розроблення баз знань для інтелектуальних систем керування в умовах виникнення надзвичайних ситуацій, що динамічно розвиваються. Як базовий логічний формалізм для подання знань запропоновано використовувати дескрипційні логіки ALC. Іntenціональні знання в моделі подано у вигляді набору термінологічних аксіом, які фіксують взаємозв'язки основних понять предметної галузі, а екстенціональні – у вигляді тверджень (фактів) про індивідуальні об'єкти, їх властивості й зв'язки з іншими об'єктами. Доведено, що сформульована система термінологічних аксіом дає змогу здійснювати виведення нових (неявних) знань зі знань, заданих явно в термінології. Розроблено базу знань предметної галузі, що містить знання, зібрані експертами та записані у вигляді аксіом і фактів за допомогою конструкцій дескрипційної логіки ALC.

Ключові слова: база знань, дескрипційна логіка, інтелектуальні системи керування, надзвичайні ситуації.

KNOWLEDGE BASE DEVELOPMENT METHODOLOGY FOR INTELLIGENT CONTROL SYSTEMS IN THE CONDITIONS OF DYNAMIC DEVELOPING EMERGENCIES BASED ON THE DESCRIPTIVE LOGICAL FORMALISM

The methodology of developing the knowledge bases for intelligent control systems in the conditions of dynamic developing emergencies, has been proposed. As a basic logical formalism for the representation of knowledge to use the ALC description logic, has been proposed. Intensional knowledge in the model has been presented in the form of a set of terminological axioms, fixing the relationship of the basic concepts of the domain, and extensional – in the form of statements (facts) about individual objects, their properties and relationships with other objects. It has been proven that the formulated system of terminological axioms allows for the derivation of new (implicit) knowledge from knowledge specified explicitly in terminology. The knowledge base for the subject area, containing knowledge collected by experts and recorded in the form of axioms and facts using ALC descriptive logic constructs, has been developed.

Key words: *knowledge base, description logic, intelligent control systems, emergencies.*

Оксанич И.Г.

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского

КИБЕРНЕТИЧЕСКАЯ СУЩНОСТЬ ПОКАЗАТЕЛЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ

В работе предложена кибернетическая продуктовая модель операции, определены формальные признаки, которыми должны обладать оценочные показатели, предлагаемые для определения эффективности операций. Поскольку параметры глобальной модели операции реагируют на любое изменение управления, на их основе можно создавать показатели, отображающие разные стороны исследуемой операции. Установлено, что значение показателя (формулы) эффективности является идентификатором целевых операций. Операции с более высоким значением эффективности являются предпочтительными для владельца результатов операционного процесса, поскольку обеспечивает ему большие возможности.

Ключевые слова: модель, операция, показатель, эффективность, критерий.

Постановка проблемы. Выбор критерия эффективности для любой управляемой системы является самым ответственным моментом исследования системы. Но процесс выбора такого критерия, который в настоящее время предлагается в различных публикациях, является в значительной степени субъективным и требующим в каждом отдельном случае индивидуального подхода. Заметим также, что в литературе термин «эффективность» связывается и с системой, и с операцией, и с решением. Образуемые при этом понятия считают эквивалентными, а математическое выражение критерия эффективности называют целевой функцией, поскольку нахождение ее экстремального значения является отображением цели операции [1].

Использование критерия эффективности, теоретически, должно обеспечить реализацию максимума возможностей для владельца результатов операционного процесса. Отсюда следует, что для формирования критерия эффективности требуется определить поставленную цель, характеристики системы, реализующей операцию, и показатели исхода операции.

Использование показателя эффективности для выбора наилучшего управления переводит данный показатель в статус критерия оптимизации. Поэтому поиск формулы эффективности или её разработка давно волновали специалистов, связанных с управлением.

Но следует заметить, что проблема выбора критерия эффективности состоит в том, что на сегодня разработано множество показателей, которые их разработчики определяют как критерии эффективности. При этом, без процедуры верификации разработанного критерия, предлагается использовать тот или иной показатель как показатель эффективности.

Поэтому разработка единого кибернетического показателя эффективности, который можно было бы интегрировать в управление любой системы, является важной научной задачей, позволяющей поднять на новый уровень вопросы автоматизации процессов управления.

Анализ последних исследований и публикаций. Принятие решения о разработке или вводе в эксплуатацию конкретной системы зависит не только от ответа на вопрос, способна ли она функционально реализовать все поставленные перед ней задачи, но и от того, насколько эффективно она будет работать.

В ряде работ [2–4] авторы предлагают оценивать эффективность системы по четырем блокам, выделяя экономическую, социальную, функциональную и информационную эффективность. Каждый блок содержит показатели, позволяющие оценить эффективность системы управления по выделенным направлениям, при этом экономические показатели рассчитываются по формуле рентабельности, остальные – с помощью балльных оценок экспертов. Обобщенный критерий эффективности представляет собой суммирование оценок, однако он не прошел процедуру верификации, поэтому подходы, предложенные авторами, требуют доработок и уточнений.

Достаточно сложным является выбор критерия эффективности вероятностных операций. В работе [5] автор пытается решить указанную выше проблему, используя правило, по которому операция считается эффективной, если вероятность достижения цели по показателям эффективности равна вероятности достижения цели с оптимальными значениями этих показателей. Заметим, что применение методов классической теории вероятностей допустимо при повторяемости

опытов и одинаковости условий, что в данном случае не достижимо.

В работах [6; 7] авторы пытаются выбирать единые показатели и критерии эффективности функционирования систем, используя системный подход и методы исследования операций. Оптимизация осуществляется с использованием технико-экономических показателей. В результате в состав разработанного показателя эффективности входят показатели, характеризующие как материальные, так и дублирующие их параллельные финансовые потоки.

Для оценки результативности кластерных структур [8] автором предложена методика оценки результативности функционирования кластерной структуры, которая использует системы показателей эффективности, отражающих реализацию тех аспектов интеграции, которые обуславливают экономическую эффективность взаимодействия субъектов хозяйствования в кластерной структуре. В работе эффективность функционирования кластера определяется формулой, что представляет собой разницу между суммой всех положительных выгод (маркетинговых, технологических, информационных, экономических и финансовых составляющих) и суммой дополнительных затрат на создание кластера. Если формула дает положительный результат, то интегрированное формирование состоялось. Если же, наоборот, результат отрицательный, то интегрированное формирование обречено на неудачу. На чем основывается это утверждение – из текста статьи не ясно, поэтому применение этой формулы как критерия эффективности вызывает вопросы.

В последнее время много работ посвящены оценке эффективности логистических операций [9; 10]. В них приводится комплекс оценочных критериев, позволяющих, по мнению авторов, определить затраты логистических операций, обусловленные выполнением заказов потребителей. Поэтому критерий эффективности операции сводится к минимизации издержек в течение всего жизненного цикла товара. Но подавляющее большинство логистических операций имеет распределенный во времени характер движения входной продукции, а альтернативные логистические операции, как правило, имеют разную продолжительность во времени, поэтому возникает сложность в выборе единого показателя для оценки эффективности логистических операций.

В работе [11] проанализированы теоретические подходы к понятию и оценке эффективности. Автором отмечено, что отсутствует единое опре-

деление кибернетической категории «эффективность». Такая ситуация приводит к использованию разнообразных технических и технико-экономических показателей для формулы эффективности.

Неопределенность в вопросах выбора критерия эффективности приводит к необходимости исследования моделей операционных процессов. Так, в работах [12] детально описываются классы эталонных моделей операций с предопределенной эффективностью и моделей операций с распределенными параметрами разной продолжительности по входу.

Поскольку методы поиска оптимальной траектории управления несовершенны и требуют дальнейшего рассмотрения, то в работе [13] определены ограничения на возможности использования прямых методов оценки эффективности с использованием технологий математического моделирования.

Показатели, которые будут использоваться в качестве критериев эффективности, должны проходить процедуру верификации. Поэтому представляет интерес разработанный в [14] метод тестирования показателей, которые планируется использовать в качестве критерия эффективности операций с распределенными параметрами.

Постановка задания. Сложность выявления показателя для оценки эффективности производственных процессов состоит в том, что его идентификация невозможна с использованием прямых методов. Таким образом, существует потребность в разработке частных оценочных показателей, которые можно использовать в качестве критериев эффективности применительно к специально разработанным классам эталонных операций для тестирования показателей, предназначенных для использования в качестве критерия оптимизации.

Целью данной работы является определение глобальной модели операции и исследование её параметров в процессе управления, что позволит создавать показатели, которые будут отображать разные стороны исследуемой операции.

Изложение основного материала исследования. Определение показателя для оценки эффективности системных операций является важнейшим этапом оптимизации технологических процессов любого предприятия. В работе [15] определена продуктовая модель кибернетической операции. Исследование количественных параметров этой модели показывает, что анализ её данных не позволяет высказывать суждение об эффективности операционного процесса.

Для высказывания суждения об эффективности операционного процесса необходимо опираться

на данные глобальной модели операции. Эти данные могут быть получены в результате определения и регистрации количественных параметров входных и выходных продуктов.

Определим множество I – входных продуктов r_i и множество J – выходных продуктов p_j . С учетом такого подхода к определению входных и выходных продуктов модель продуктовой кибернетической операции будет иметь вид рис. 1.

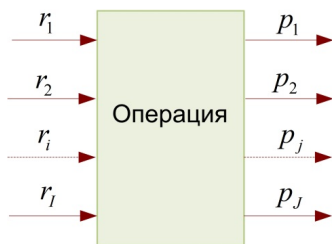


Рис. 1. Концептуальная модель кибернетической операции

Опишем движение продуктов операции с помощью количественных параметров, которые можно представить в виде сигналов регистрации $rq(t)$ – сигнал регистрации движения входного продукта операции; $pq(t)$ – сигнал регистрации движения выходного продукта операции. Для того, чтобы количественные параметры всех продуктов операции были между собой сопоставимы, их необходимо отмасштабировать путем приведения к сопоставимым величинам. Естественным коэффициентом масштабирования в экономических системах является стоимость единицы системного продукта.

Если стоимость i -го входного продукта обозначить символами RS_i , а стоимость j -го выходного продукта – PS_j , то движение продуктов по входу и выходу может быть отображено с использованием глобальных функций входа $re_i(t)$, выхода $pe_j(t)$:

$$re_i(t) = RS_i \int_{t_0}^t rq_i(t) dt, \quad (1)$$

$$pe_j(t) = PS_j \int_{t_0}^t pq_j(t) dt. \quad (2)$$

Поскольку отмасштабированные потоки входных и выходных продуктов во времени можно суммировать между собой, появляется возможность представить модель любой операции в виде функций – приведенной функции входа $re(t)$ и приведенной функции выхода $pe(t)$:

$$re(t) = \sum_{i=1}^I RS_i \int_{t_0}^t rq_i(t) dt, \quad (3)$$

$$pe(t) = \sum_{j=1}^J PS_j \int_{t_0}^t pq_j(t) dt. \quad (4)$$

Модель операции в виде двойки $(re(t), pe(t))$ пределим понятием «глобальная модель операции» (далее – ГМО).

Любое изменение управления приводит к изменению параметров этих функций. Следовательно, ГМО содержит в себе всю необходимую информацию для сравнительной оценки таких операций относительно эффективности (рациональности) использования ресурсов.

Интегрирование функций $re(t)$ и $pe(t)$ на интервале проведения операции позволяет получить интегральные сопоставимые оценки операции по входу и выходу:

$$RE = \int_{t_s}^{t_f} re(t) dt; \quad (5)$$

$$PE = \int_{t_s}^{t_f} pe(t) dt, \quad (6),$$

где RE – стоимостная оценка входных продуктов простой ГМО; PE – стоимостная оценка выходных продуктов простой ГМО; t_s время начала операции, а t_f время её завершения.

Определив время операции (ТО) как разницу между моментом начала и завершения операции, любую операцию можно представить в виде простой глобальной модели операции вида (RE, TO, PE) .

Используя параметры тройки, простую ГМО можно представить в виде графа (рис. 2):

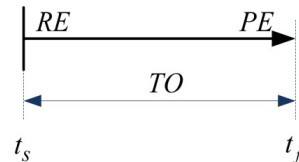


Рис. 2. Графическая модель простой глобальной операции

Технология преобразования входных и выходных продуктов операции к виду глобальной модели изображена на рис. 3.

С использование параметров простой ГМО их изменение от управления будет иметь вид рис. 4.

Любая операция осуществляется с целью повышения ценности множества выходных продуктов по отношению к ценности множества входных продуктов операции. Поскольку выходная продукция с заданным качеством может быть получена при различных количественных соотношениях входной продукции, возникает вопрос выбора лучшей операции среди множества возможных.

Отличительной особенностью множества простых ГМО является возможность высказывать суждение об эффективности некоторых пар операций.

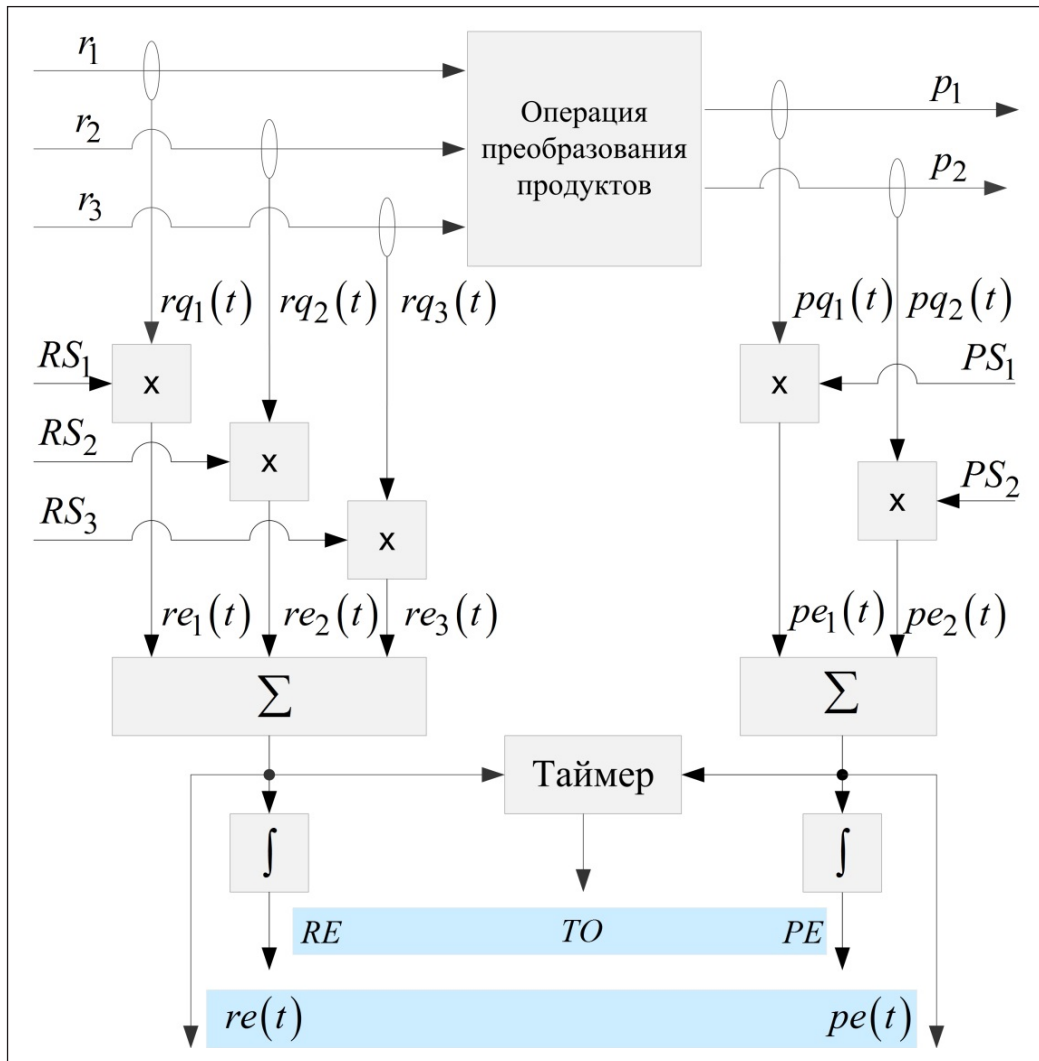


Рис. 3. Принцип формирования глобальной модели операции:

$rq_i(t)$ – количественные параметры входной продукции операции,
 $pq_i(t)$ – количественные параметры выходной продукции операции,
 RS_i – сопоставимые величины экспертных (стоимостных) оценок по входу,
 PS_i – сопоставимые величины экспертных (стоимостных) оценок по выходу,
 $re(t)$ – глобальная функция входа, $pe(t)$ – глобальная функция выхода

Например, если $RE_1 = RE_2$, $PE_1 = PE_2$ то, поскольку $TO_1 > TO_2$ эффективность операции x_2 выше эффективности операции x_1 . Или если $RE_1 = RE_2$, $TO_1 = TO_2$ то, поскольку $PE_1 > PE_2$ эффективность операции x_1 выше эффективности операции x_2 .

Поскольку параметры глобальной модели операции реагируют на любое изменение управления, на их основе можно создавать показатели, отображающие разные стороны исследуемой операции.

Таким образом, можно создать классы эталонных операций, каждый из которых имеет свою функциональную направленность, для которых определить рейтинговую оценку эффективности с использованием локального критерия эффективности.

Определение глобальной модели операции и наблюдение за изменением её параметров в процессе управления позволяет сделать такие заключения:

глобальная модель может быть определена по отношению к любой операции, т. е. любая операция может быть представлена в виде глобальной модели вида $[re(t), pe(t)]$ или любая операция может быть представлена в виде простой глобальной модели вида $[RE, TO, PE]$;

глобальная модель содержит в себе всю необходимую информацию для того, чтобы обеспечить принятие решения относительно эффективности операционного процесса.

Выводы. Установлено, что значение показателя (формулы) эффективности является иденти-

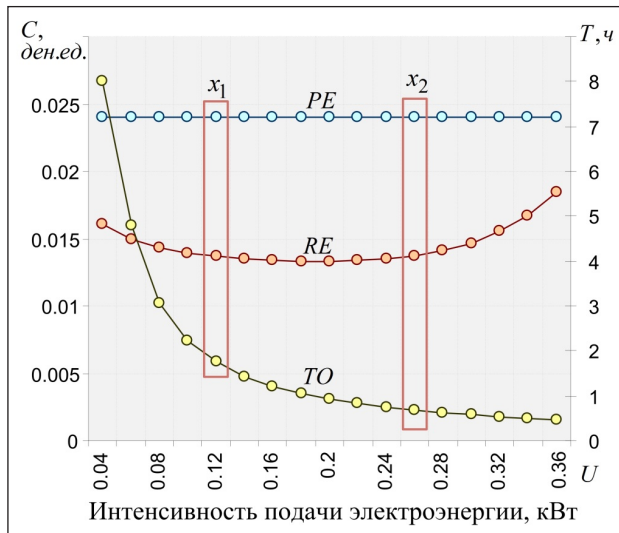


Рис. 4. Изменение параметров простой глобальной модели операции от управления

фикатором целевых операций. Операции с более высоким значением эффективности являются предпочтительными для владельца результатов операционного процесса, поскольку обеспечивают ему большие возможности.

Общий характер ГМО позволяет высказать гипотезу, что, если формула эффективности существует и отображает некоторый универсальный кибернетический закон, то составляющими такого выражения должны быть объекты ГМО: двойка $(re(t), pe(t))$ или тройка (RE, TO, PE) .

Следует заметить, что проверка адекватности такой формулы эффективности не может быть осуществлена с использованием прямых методов. Поэтому, чтобы осуществить верификацию разработанного показателя на предмет возможности его использования в качестве показателя эффективности, необходимо разработать непрямые методы исследования.

Поэтому результатами дальнейших исследований должна стать разработка метода верификации показателей оценки эффективности простых глобальных операций. Для этого потребуются создать множество классов эталонных операций. Затем с использованием разработанного прогностического показателя определить рейтинговую оценку каждой операции относительно эффективности парной операции. Тестирование разработанного показателя на классах эталонных операций позволит отобрать те критерии, с использованием которых будут получены непротиречивые результаты.

Список литературы:

1. Родионов И.Б. Теория систем и системный анализ. М.: Наука. 2007. 229 с.
2. Арутюнов В.В. Показатели эффективности эрготехнических систем. *Научные и технические библиотеки. Государственная публичная научно-техническая библиотека России*. 2014. № 6. С. 5–14.
3. Шавкун Г.А. Подход к оценке эффективности функционирования системы управления затратами промышленного предприятия. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Экономика и управление*. 2017. № 1. С. 29–34.
4. Ковалишина Г.В., Хачатрян С.Р., Королева Н.В. Системный подход в оценке эффективности управления фирмой. *Аудит и финансовый анализ*. 2002. № 2. С. 169–184.
5. Жарик А.М. Выбор единых показателей и критериев эффективности функционирования систем ПВО важных государственных объектов. *Системы озброєння і військова техніка*. 2011. № 2 (26). С. 199–204.
6. Загородній А.Г., Ясінська А.І. Оцінювання ефективності управління витратами машинобудівного підприємства на засадах системного підходу. *Вісник національного університету «Львівська політехніка». Серія: Логістика*. 2008. № 623. С. 332–337.
7. Короткевич Л.М., Барсуков А.А. Добавленная стоимость как критерий эффективности производственного процесса промышленного производства. *Наука и техника*. 2016. Т. 15. № 6. С. 536–545.
8. Рутко Д.Ф. Оценка эффективности функционирования кластерных структур. *Научные труды РИВШ. Философско-гуманитарные науки*. 2009. Вып. 7 (12). С. 413–419.
9. Шумаев В., Решетник М. Оценка издержек и эффективности функционирования логистической системы предприятия. *Ресурсы, информация, снабжение, конкуренция (РИСК)*. 2005. № 1. С. 31–34.
10. Мифтяхетдинов И.А. Оценка эффективности функционирования логистической системы на машиностроительных предприятиях. *Проблемы управления. Тезисы докладов 14-го Всероссийского студенческого семинара*. 2006. Вып. 1. С. 61–63.
11. Евдокимова Т.В. Анализ генезиса теоретических подходов к понятию и оценке эффективности. *Вестник Томского государственного университета. Экономика*. 2013. № 3 (23). С. 22–27.
12. Lutsenko I., Fomovskaya E., Oksanych I., Vikhrova E., Serdiuk O. Determination of formal signs of indicators for the operation efficiency evaluation with the distributed parameters. 2017. Vol. 1, Issue 4 (85). P. 24–30.
13. Lutsenko I., Oksanych I., Shevchenko I., Karabut N. Development of the method of modeling operational processes for tasks relating to decision-making. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 2, Issue 4 (92). P. 26–32.

14. Lutsenko I., Fomovskaya O., Oksanych I., Serdiuk O. Development of criterion verification method for optimization of operational processes with the distributed parameters. *Radio Electronics Computer Science Control*. 2017. Vol. 3. P. 161–174.

15. Луценко И.А., Шевченко И.В., Оксанич И.Г. Основы эффективного управления. Кременчуг: ЧП Щербатых А.В. 2017. 219 с.

КІБЕРНЕТИЧНА СУТНІСТЬ ПОКАЗНИКА ЕФЕКТИВНОСТІ

У роботі запропонована кібернетична продуктова модель операції, визначені формальні ознаки, якими повинні володіти оціночні показники, запропоновані для визначення ефективності операцій. Оскільки параметри глобальної моделі операції реагують на будь-яку зміну управління, на їх основі можна створювати показники, котрі відображають різні сторони досліджуваної операції. Встановлено, що значення показника (формули) ефективності є ідентифікатором цільових операцій. Операції з більш високим значенням ефективності є кращими для власника результатів операційного процесу, оскільки забезпечують йому більші можливості.

Ключові слова: модель, операція, показник, ефективність, критерій.

CYBERNETIC NATURE OF EFFICIENCY INDICATOR

The paper presents a cybernetic product model of an operation and formal characteristics for estimating indicators to calculate the operation effectiveness. Since the global operation model parameters respond to any change in control, they can be used as a base for finding indicators which measure different aspects of the operation being studied. It has been established that the effectiveness indicator (formula) is a target operations indicator. Operations with higher efficiency are preferable for the owner of operational process results since it provides him with great opportunities.

Key words: model, operation, indicator, efficiency, criterion.

УДК 004.415:378.091.212.2

Осадчий В.В.

Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького

Круглик В.С.

Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького

Осадча К.П.

Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького

Сердюк І.М.

Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького

Букресв Д.О.

Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАСОБУ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ВСТУПУ АБІТУРІЄНТІВ ДО ЗАКЛАДІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ

У статті відображено етапи й особливості розробки програмного засобу для прогнозування вступу абітурієнтів до закладів вищої освіти. Автори розглядають особливості розробки математичного апарату майбутнього програмного засобу та розкривають перелік використаних у програмному засобі функцій.

Ключові слова: програмний засіб, прогнозування, нейронні мережі, статистика, управління.

Постановка проблеми. Нині доцільно використовувати методи нейронних мереж у задачах із неповною інформацією або інформацією з великою кількістю шумів, особливо в задачах, де рішення можна знайти інтуїтивно, але традиційні математичні моделі не дають бажаного результату. Властивість мережі навчатися на прикладах робить її більш привабливою порівняно із системами, які працюють за заздалегідь закладеним правилом [1]. Методи нейронних мереж можуть використовуватися незалежно від інших або ж служити одним із найкращих доповнень до традиційних методів статистичного аналізу, більшість із яких пов'язані з побудовою моделей, заснованих на тих чи інших припущеннях і теоретичних висновках. Нейромережевий підхід однаково придатний для лінійних і складних нелінійних залежностей, особливо ж ефективний у розвідувальному аналізі даних, коли ставиться мета з'ясувати, чи є залежності між змінними. Дані можуть бути неповними, суперечливими і навіть свідомо спотвореними. Якщо між вхідними та вихідними даними існує якийсь зв'язок, навіть такий, який неможливо вирахувати за допомогою традиційних кореляційних методів, то нейронна мережа здатна автоматично налаштуватися на неї з заданим ступенем

точності. У час постійної модернізації світу ці зміни не проходять без проблем і в освітньому просторі, прогнозування вступу абітурієнтів до закладів вищої освіти стає все більш неточним, тому було зроблено висновок про доцільність використання нейромережевого підходу у прогнозуванні результатів вступної кампанії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. До вивчення проблематики аналізу та порівняння методів навчання нейронних мереж у різні часи долучалися провідні вчені світу, серед них: С.А. Федосин, Д.О. Ладяєв, О.А. Мар'їна, Д.О. Васенко, Е.В. Пучков. Проблеми створення і застосування нейронних мереж досліджували П. Вассермен, Р. Ліпман, Х. Мохамад, Б. Перлмуттер, Д. Спешт, Д. Тархов, К. Фунахаши, С. Хайкін, Дж. Хопфілд, І. Чуча, Д. Шофелт, Л.Г. Комарцова, А.В. Максимов [3] та ін. Нейронні мережі Хопфілда і Хеммінга описував у своїх роботах С. Короткий. Основні етапи побудови інтелектуальних систем прийняття рішень розглядали О.В. Нестеренко, О.І. Савенков та О.О. Фаловський [5].

Водночас проблема використання нейромережевого підходу для вирішення завдання з прогнозування вступу до закладів вищої освіти і результатів вступної кампанії є недостатньо дослідженою.

Постановка завдання. Розробка математичного апарату для прогнозування вступу абітурієнтів до закладів вищої освіти.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для того, щоб оцінити можливості алгоритму машинного навчання, ми повинні розробити кількісну міру своєї діяльності. Зазвичай ця міра продуктивності P є специфічною для завдання T , що виконується у системі, для подальшої роботи називатимемо цю міру «точністю моделі».

Ми часто вимірюємо точність моделі. Точність – це тільки один із прикладів оцінки правильності моделі. Ми можемо також отримати еквівалентну інформацію шляхом вимірювання частоти помилок, тобто частки прикладів, для яких модель виробляє неправильний висновок [3].

Імовірнісні моделі часто є ймовірними розподілами, тільки у неявному вигляді. Обчислення фактичного значення ймовірності, призначеного до певної точки у просторі, у таких моделях є нерозв'язним. У цих випадках необхідно розробити альтернативний критерій, який відповідає проектним завданням, або створити наближення до бажаного критерію. Для створення такого наближення виникає потреба у навчанні моделі, тож розглянемо його особливості на прикладі навчань із вчителем і навчанням без вчителя.

Навчання без вчителя і навчання з учителем – неформально визначені терміни. Багато технологій машинного навчання можуть бути використані для виконання обох завдань. Наприклад, правило ланцюга ймовірності говорить, що для вектора $x \in \mathbb{R}^n$ спільний розподіл можна розкласти:

$$p(x) = \prod_{i=1}^n P(x_i | x_1, x_2, \dots, x_{i-1}) \quad (1)$$

Це розкладання означає, що ми можемо вирішити нібито неконтрольоване завдання моделювання $p(x)$, розділивши його на p підконтрольних проблем навчання. З іншого боку, ми можемо вирішити проблему навчання контролем навчання $p(y|x)$ з використанням традиційних неконтрольованих технологій для вивчення спільного розподілу $p(x,y)$ і виводячи:

$$P(y|x) = E_y p(x,y) \quad (2)$$

Для опису набору даних у вигляді матриці плану необхідно описати всі приклади як вектори однакового розміру. Це не завжди можливо. У таких випадках опис виконується не у вигляді набору даних, а у вигляді матриці з m рядків. Ми опишемо його як набір, що містить T елементів: $\{x(1), x(2), \dots, x(t)\}$.

Одним зі способів вимірювання характеристик моделі є обчислення середньої квадратичної помилки моделі на тестовому наборі [5]. Якщо

$y(test)$ дає передбачення моделі на тестовому наборі, то середній квадрат помилки визначається:

$$MSE_{test} = \frac{1}{2} \sum (y(test) - \hat{y}(test))^2 \quad (3)$$

Інтуїтивно можна побачити, що ця наявність помилки зменшується до 0, коли $y(test) = \hat{y}(test)$. Ми також можемо бачити, що

$$MSE_{test} = \frac{1}{2} \sum |y(test) - \hat{y}(test)|^2 \quad (4),$$

тому похибка зростає щоразу, коли евклідова відстань між передбаченнями та ціллю збільшується.

Нам необхідно розробити алгоритм, який дозволить зменшити MSE_{test} , коли алгоритм дозволить отримати досвід спостереження $(x(train), y(train))$. Для цього потрібно мінімізувати середній квадрат помилки на навчальному наборі. Щоб звести до мінімуму MSE_{train} , ми можемо просто вказати, де її градієнт дорівнює 0 (рис. 1):

$$\nabla_w MSE_{train} = 0 \quad (5)$$

$$\nabla_w \sum (y(train) - \hat{y}(train))^2 = 0, \quad (6)$$

$$\nabla_w \sum (X(train)w - y(train))^2 = 0. \quad (7)$$

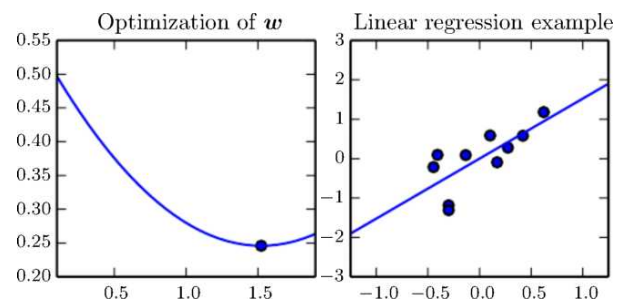


Рис. 1. Лінійна задача регресії, з навчальним набором, що складається з десяти точок даних, кожна з яких містить одну особливість

$$\nabla_w (X(train)w - y(train))^T (X(train)w - y(train)) = 0 \quad (8)$$

$$\nabla_w (w^T X^T (Xw - y)) = 2X^T (Xw - y) = 0 \quad (9)$$

$$2X^T Xw - 2X^T y = 0 \quad (10)$$

$$S = X^T X, \quad T = X^T y \quad (11)$$

Система рівнянь, рішення якої дається формулою (11), відома як нормальне рівняння. (11) становить простий алгоритм навчання.

Варто зазначити, що термін лінійної регресії часто використовується для позначення дещо складнішої моделі з одним додатковим параметром-терміном b (12).

$$y = w^T x + b \quad (12)$$

Відображення параметрів передбачення, як і раніше, є лінійною функцією, а відображення з особливими прогнозами – тепер афінна функ-

ція. Це розширення афінних функцій означає, що сюжет передбачень моделі, як і раніше, виглядає як лінія, але вона не повинна проходити через початок координат.

Більшість алгоритмів машинного навчання мають кілька параметрів, котрі можна використовувати для керування поведінкою алгоритму навчання. Вони називаються гіперпараметрами. Їх значення не пристосовані до самого алгоритму навчання.

Статистика пропонує багато інструментів, які можуть бути використані для вирішення задачі не тільки на навчальному наборі, але і для загального випадку. Такі основоположні поняття, як оцінки параметрів, помилка і дисперсії можуть бути використані, щоб формально характеризувати поняття узагальнення і перенавчання.

Оцінка точки є спробою забезпечити єдине «краще» прогнозування деякої кількості інтересу. У загальному випадку кількість інтересу може бути одним параметром або вектором параметрів деякої параметричної моделі, як у прикладі лінійної регресії (13), або цілою функцією.

Для того, щоб відрізнити оцінки параметрів від їх справжнього значення, наша конвенція позначатиме точкову оцінку параметра b на 0 .

Нехай $\{x(l) \ x(m)\}$ деяка безліч m незалежних і однаково розподілених точок даних. Блок оцінки точки або статистики є будь-якою функцією даних:

$$bt = g(x(l) \ x(m)) \quad (13)$$

Визначення не вимагає повертати значення g , близькі до дійсних b , або навіть ті, для яких діапазон g збігається з набором допустимих значень b . Це визначення точки оцінки є дуже загальним і дозволяє розробити блок оцінки з великою гнучкістю, тоді як майже будь-яка функція, таким чином, кваліфікується як оцінювач.

Оцінка точки може також стосуватися оцінки взаємозв'язку між вхідними і цільовими змінними. Згідно з моделлю Хопфеляда ми називаємо ці типи точкових оцінок функціями оцінок [5].

Іноді ми зацікавлені у проведенні оцінки функції (або функції наближення). Тут ми намагаємося передбачити змінну у заданий вхідний вектор x . Ми припускаємо, що існує функція $F(X)$, яка описує приблизну залежність між y і x . Наприклад, ми можемо вважати, що $y = f(x) + e$, де e позначає частини y . В оцінці функції ми зацікавлені у наближенні p з моделлю або оцінкою.

Незміщена оцінка визначається як:

$$\text{зміщення } (m_0) = E(m_0) - 0 \quad (14),$$

де очікування даних (розглядаються як випадкові величини) і 0 є істинним базовим значенням і

використовується для визначення розподілу генерування даних.

Оцінка 0 називається незміщеною, якщо z сув $(e) = 0$, звідки випливає, що $E(0_e) = 0$. Оцінювач bt називається асимптотично незміщеним, якщо $\lim_{m \rightarrow \infty} \text{bias}(0_m) = 0$, звідки випливає, що $\lim_{m \rightarrow \infty} E(0_m) = 0$.

Згідно з формулою Бернуллі розподілу із середнім значенням 0 :

$$P(x(z); 0) = 0_x(I) (1 - 0) (1 - x(z)) \quad (15)$$

Дисперсія або стандартна похибка блоку оцінки дає міру того, як можна було б очікувати оцінку, що обчислюється з даних, змінювати незалежно один від одного, як ми дискретизуємо набір даних з основного процесу генерування даних. Подібно до того, як ми могли б, як оцінювач, проявляти низьку упередженість, ми також хотіли б мати його відносно низьку дисперсію.

Коли ми обчислимо будь-яку статистику, використовуючи кінцеве число вибірок, наша оцінка істинного основного параметра є невизначеною, в тому сенсі, що ми могли б отримали інші зразки з того ж розподілу, і їх статистика матиме різні прогнози. Очікувана ступінь зміни будь-якої оцінки є джерелом помилок, які ми хочемо виміряти [5].

Стандартна похибка середнього значення є дуже корисною у машинному навчанні експериментів. Ми часто оцінюємо помилки узагальнення шляхом обчислення середнього значення вибірки помилки на тестовому наборі. Кількість прикладів у тестовому наборі визначає точність цієї оцінки. Так, наприклад, 95% довірчий інтервал по центру середнього значення JM є

$$(JM - 1.96SE(JM), JM + 1.96SE(JM)) \quad (16)$$

У машинному навчанні експериментів прийнято говорити, що алгоритм A краще, ніж алгоритм B , якщо верхня межа 95% довірчого інтервалу для похибки алгоритму A менша, ніж нижня межа 95% довірчого інтервалу похибки алгоритму B .

Дисперсія оцінки зменшується як функція m у зв'язку з числом прикладів у наборі даних. Це загальна властивість популярних оцінок, які ми будемо повертати до того, як опишемо послідовність.

Алгоритми майже всіх глибоких навчань можна охарактеризувати як досить простий рецепт: об'єднати специфікації набору даних, функції витрат, процедури оптимізації та моделі [5].

Розуміючи, що ми можемо замінити будь-який із цих компонентів, переважно незалежно від інших, ми можемо отримати дуже широкий спектр алгоритмів.

Функція вартості, зазвичай, включає в себе щонайменше один член, який викликає процес

навчання, щоб виконати статистичну оцінку. Найбільш поширена функція витрат – це негативний логарифм правдоподібності, у якому мінімізація функції витрат призводить до оцінки максимальної правдоподібності.

Функція витрат може також включати в себе додаткові умови, такі як точки регуляризації. Так ми додаємо значення розпаду функції лінійної регресії витрат для отримання

$$J(sh, b) - L || sh | g - Ex, y \sim PDATA \ 10g \ Pmodel (y | x) \quad (17)$$

Це дозволяє оптимізувати замкнуту форму. Якщо ми змінимо модель на нелінійну, то більшість функцій витрат не може бути більше неоптимізованими в закритій формі. Це вимагає від нас вибрати ітераційну чисельну процедуру оптимізації, таку як градієнтний спуск.

Неконтрольоване навчання може підтримуватися шляхом визначення набору даних, що містить тільки X і забезпечення відповідної неконтрольованої вартості і моделі. Так ми отримаємо перший вектор PCA , вказавши, що це наша функція втрати:

$$J(sh) - Exp(PDATA) || x - g(x; j) || 2 \quad (18),$$

тоді як наша модель визначається, щоб мати sh із нормою однією функцією відновлення $g(x) - sh \ TXW$.

У деяких випадках функція витрат може бути функцією, яку ми не можемо реально оцінити. Ми можемо звести її до мінімуму за допомогою ітераційної чисельної оптимізації настільки, наскільки у нас є певний спосіб апроксимації її градієнти.

Для реалізації поставлених завдань щодо програмного засобу, згідно з виявленим математичним апаратом, було розроблено ряд функцій.

Формули (8) – (18) дозволяють розрахувати основні параметри, що впливають на кількісний прогноз вступу абітурієнтів до закладів вищої освіти.

Згідно з формулами (8) – (11) розраховуємо стартову суму вхідних коефіцієнтів:

$$k1_sum += Math.Pow((arr[s, 1] - k1_sr), 2)$$

Після розрахунку кількісних мір графів виникає потреба у визначенні кожного вектора, відповідно до цього розраховуємо значення коефіцієнтів для подальшого розрахунку остаточного прогнозу:

$$y_k1_sum += (arr[s, 0] - y_sr) * (arr[s, 1] - k1_sr)$$

Після розрахунку коефіцієнтів проводимо остаточний прогноз згідно з формулами (15) – (17):

$$prognoz = b0 + b1 * arr[size - 1, 1] + \dots + bn * arr[size-1, n];$$

Після проведення розрахунків прогнозу оцінюємо рівень похибки за формулою (3) та, у разі

низької точності, уточнюємо базу знань шляхом редагування результатів прогнозування (рис. 2).

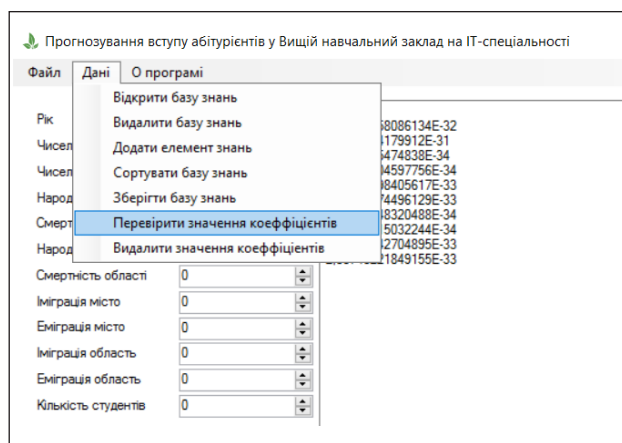


Рис. 2. Відображення перевірки коефіцієнтів

Для створення можливості коректного відображення інформації у зрозумілому для користувачів вигляді (графіки) було розроблено рід функцій [2], наприклад `Kol_Vstup`, які генерують графічне відображення даних за блоками (рис. 3).

```
private void Kol_Vstup(object sender, EventArgs e)
{
    double[] z = new double[size + 1];
    double[] y = new double[size + 1];
    for (int i = 0; i < size; i++)
    {
        z[i] = i + 1;
        y[i] = arr[i, 11];
    }
    chart1.ChartAreas[0].AxisX.Minimum = 0;
    chart1.ChartAreas[0].AxisX.Maximum = size + 1;
    chart1.ChartAreas[0].AxisX.MajorGrid.Interval = 1;
    chart1.Series[0].Points.DataBindXY(z, y);
    label2.Text = "Кількість вступників";
}
```

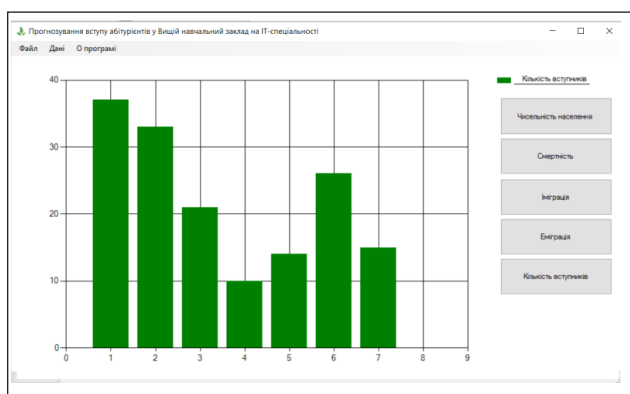


Рис. 3. Графічне відображення отриманих даних

Висновки. У дослідженні було визначено, що нині доцільно використовувати методи нейронних мереж у задачах із неповною інформацією або інформацією з великою кількістю шумів, особливо в задачах, де рішення можна знайти інтуїтивно, але

традиційні математичні моделі не дають бажаного результату. Було проаналізовано сфери використання нейронних мереж та особливості їх побудови, визначено основні проблеми прогнозування. З'ясовано, що ефективне рішення проблем прогнозування досягається лише в тому разі, коли нейронна мережа навчається на великому обсязі даних і використовується якісна навчальна вибірка, тоді алгоритм дасть задовільний результат і значення похибки прогнозу-

вання зменшиться до мінімального рівня, у зв'язку з чим було проаналізовано особливості розрахунку точності правильності моделі та визначено подальший вектор досліджень. Надалі планується доробка та розвиток програмного засобу з метою розширення його функціоналу і зменшення рівня похибки для більш точного відображення результатів прогнозування в умовах постійного коливання ринку навчальних послуг.

Список літератури:

1. Букреев Д.О. Прогнозування фондового ринку за допомогою нейронних мереж. *Інформаційні технології в освіті та науці*. 2018. № 10. С. 36–43.
2. Осадчий В.В., Круглик В.С., Букреев Д.О. Розробка програмного засобу для прогнозування вступу абітурієнтів до закладів вищої освіти. *Ukrainian Journal of Educational Studies and Information Technology*. 2018. Вип. 6. № 3. С. 55–69.
3. Комарцова Л.Г., Максимов А.В. Нейрокомпьютеры. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2004.
4. Карандашев Я.М., Крыжановский Б.В., Литинский Л.Б. Обобщенная модель Хопфилда и статфизический подход: общий случай. *Нейроинформатика-2011. XIII Всероссийская научно-техническая конференция*: сб. науч. трудов. М., НИЯУ МИФИ, 2010. Ч. 3. С. 181–190.
5. Нестеренко О.В., Савенков О.І., Фаловський О.О. Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень: навч. посіб. Київ, 2016.

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВСТУПЛЕНИЯ АБИТУРИЕНТОВ В ВЫСШИЕ УЧЕБНЫЕ ЗАВЕДЕНИЯ

В статье отражены этапы и особенности разработки программного средства прогнозирования поступления абитуриентов в высшие учебные заведения. Авторы рассматривают особенности разработки математического аппарата будущего программного средства и раскрывают перечень использованных в программном средстве функций.

Ключевые слова: *программное средство, прогнозирование, нейронные сети, статистика, управление.*

FEATURES OF DEVELOPMENT OF THE SOFTWARE FOR FORECASTS OF APPLICATION OF ABITURIENTS TO HIGHER EDUCATION UNITS

The article presents the stages and peculiarities of developing a software tool for predicting the entrance of entrants to higher education institutions. The authors reflect the peculiarities of the development of the mathematical apparatus of the future software, and break the list of functions used in the software tool.

Key words: *software tool, forecasting, neural networks, statistics, management.*

УДК 658:005.932

Пушкар О.І.

Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця

Андрющенко Т.Ю.

Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПОНЯТТЯ «ПАРТНЕРСЬКІ ВІДНОСИНИ» ВИДАВНИЧО-ПОЛІГРАФІЧНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Проведений аналіз показав, що існує прогалина в управлінні партнерськими відносинами видавничо-поліграфічних підприємств. Для отримання ефекту від втілення систем підтримки прийняття рішень в управлінні партнерськими відносинами видавничо-поліграфічних підприємств і їх стейкхолдерів важливим є дослідження сутності понять «партнерство», «партнерські відносини». Тож уточнена сутність понять «партнерство» та «партнерські відносини». Сформовано поняття «партнерські відносини видавничо-поліграфічних підприємств». Додовнено та розширено класифікацію видів партнерських відносин видавничо-поліграфічних підприємств.

Ключові слова: партнерські відносини, управління партнерськими відносинами, видавничо-поліграфічні підприємства, партнерство, види партнерських відносин.

Постановка проблеми. Дедалі частіше підприємства усвідомлюють, що для ефективної роботи необхідно постійно перебувати в тісному контакті зі своїми стейкхолдерами. Аналіз внутрішньої інформації (отриманої за результатами роботи таких систем) дозволяє проаналізувати стан кожного стейкхолдера більш чітко, ґрунтуючись на об'єктивних даних. Це набагато надійніше, ніж складати певні судження, ґрунтуючись тільки на суб'єктивному баченні ситуації. Тому створення систем підтримки прийняття рішень (далі – СППР) з управління партнерськими відносинами видавничо-поліграфічних підприємств надає підприємству певні переваги й економічні переваги.

Першим кроком на шляху створення СППР з управління партнерськими відносинами (далі – ПВ) видавничо-поліграфічних підприємств (далі – ВПП) є створення бази знань, котра описує сферу ПВ. ПВ, у свою чергу, потребують виявлення й аналізу понять, які складають сферу СППР з управління ПВ ВПП.

Постає актуальне питання щодо вибору типу ПВ ВПП зі стейкхолдерами, що зумовило вибір теми дослідження та її актуальність.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематикою ПВ займаються як вітчизняні, так і закордонні науковці. ПВ та оцінка ефективності їх взаємовідносин висвітлені в працях таких науковців, як А. Загородній [4], З. Коваль [5], Н. Чухрай, Я. Криворучко [13], Д. Корчунов [6], Я. Гордон [3]. Особливостям формування партнерських відносин приділено праці М. Ус [12].

Найбільш значними для розвитку теорії систем управління взаємовідносинами підприємств є наукові дослідження І.І. Бажин, С.Б. Арсенєва, В.Б. Бріткова, Н.А. Сальнікова, у яких запропоновані нові методи взаємодії з клієнтами, стратегічного управління й ефективності взаємодії підприємств із клієнтами.

Постановка завдання. Метою дослідження є формалізація базових понять «партнерство» та «партнерські відносини» між ВПП і їх стейкхолдерами на основі обґрунтування й уточнення цих понять для подальшого використання у формуванні бази знань СППР для управління ПВ ВПП. Для досягнення поставленої мети сформульовано завдання: визначити зміст таких понять, як «партнерство», «партнерські відносини», розглянути розвиток цих відносин зі споживачами.

Виклад основного матеріалу дослідження. Терміни «партнерство» та «партнерські відносини» не є новими. Але поняття «стейкхолдери» не досліджене повною мірою. У науковій літературі одночасно із поняттям «партнерські відносини» використовується поняття «партнерство» або «господарські відносини». Для подальшого використання у СППР із формування ПВ необхідне уточнення цих понять.

У переважній більшості категорію «партнерство» використовують як у науковій літературі, так і в побуті, коли мають на увазі соціальне та ділове партнерство. Соціальне партнерство – економічна категорія, яка розкриває зміст відносин у соціально-трудовій сфері. Ділове партнерство –

Узагальнення тлумачень поняття «партнерські відносини»

Автор	Тлумачення поняття «партнерські відносини»
М.І. Ус [12]	форма відносин між підприємствами, що ґрунтуються на основі добровільної співпраці, взаємної довіри та підтримки, розподілі прав, зобов'язань і відповідальності сторін із метою отримання додаткових конкурентних переваг
Н. Чухрай і Я. Криворучко [13]	створюють переваги незалежно від галузевої належності, тому як партнерів можна розглядати всі наявні підприємства за всіма напрямками відносин з оглядом на стан і цілі, яких необхідно досягти
К. Правельська-Скшипек [14]	офіційні відносини між окремими особами або групами, за яких попередньо погоджені взаємні очікування та зобов'язання сторін. Основним принципом є поділ як здобутків, так і ризиків. Бути партнером означає мати фактичний вплив на прийняття рішень і нести відповідальність за їх реалізацію
Т.М. Лаптії [8]	добровільна співпраця рівноправних суб'єктів, об'єднаних спільними цілями з метою досягнення визначених результатів з укладанням письмової або усної домовленості, яка є підставою встановлення партнерських відносин
А.В. Бусигін [2]	договірні відносини, які встановлюються між певною кількістю підприємств і дають можливість кожному з них отримати оптимальний рівень прибутку за рахунок обміну результатами діяльності (купівлі, доставки товарів), які відображаються у товарній чи грошовій формах
В.В. Масленніков [10]	вид економічних відносин, заснованих на спільних діях і зусиллях сторін, об'єднаних спільним інтересом (зиском), а також спрямованих на досягнення спільних цілей, які добре усвідомлені учасниками таких відносин
Д. Корчунов [6]	процес співпраці між компанією-споживачем і компанією-постачальником, внаслідок якої обидві сторони отримують економічні вигоди

термін, що застосовується для характеристики відносин, побудованих як на міждержавному рівні (використовується у дипломатичних колах), так і в межах певної країни (відносини між підприємницькими структурами й органами влади) [9].

Науковці у своїх дослідженнях підкреслюють той факт, що партнерство може мати як формальну основу (оформлене юридичними договорами), так і неформальну, тобто здійснюватися на основі усних домовленостей. Фахівці у галузі права пропонують визначати партнерство як одну з найважливіших юридичних форм організації підприємства і, на їхню думку, таке поняття можна розглядати з декількох позицій, зокрема: 1) як юридичну форму відносин між сторонами; 2) як особистий зв'язок між учасниками; 3) як плідну взаємодію, співробітництво між кількома суб'єктами господарювання [7].

У роботі науковців Н. Чухрай і Я. Криворучко [13], присвяченій оцінюванню та розвитку відносин між бізнес-партнерами, зазначається, що у формуванні взаємовідносин, крім постачальників, виробників, посередників і споживачів, необхідно звернути увагу на відносини підприємства з іншими інституціями. Вони пропонують поділити основні сфери налагодження відносин на п'ять напрямів і як головні напрями взаємовідносин підприємства визначають відносини з внутрішнім і зовнішнім середовищем. Взаємовідносини

з внутрішнім середовищем передбачають встановлення відносин із персоналом підприємства, організаційними підрозділами й акціонерами. Взаємовідносини із зовнішнім середовищем передбачають відносини з посередниками, кінцевими споживачами, клієнтами, впливовими інституціями, з постачальниками і надавачами послуг. У роботі також зазначено, що напрями взаємовідносин відрізняються способами та силою впливу на підприємство.

На основі аналізу літературних джерел представлено (табл. 1) підходи до тлумачення поняття «партнерські відносини».

Опрацювавши літературні джерела [1–6; 8; 10–11], можна дійти висновків, що тлумачення поняття «партнерські відносини» є досить повними і точними, але не уточнюють галузеву належність, тому не враховують специфіку регулювання зв'язків ВПП зі стейкхолдерами.

На основі проведеного дослідження формується визначення поняття ПВ. ПВ ВПП складаються з постачальника матеріалів, замовників, надавачів послуг та інших груп, і ґрунтуються на основі співпраці, взаємної довіри та підтримки, поступок, розподілі прав, зобов'язань і ризиків. Кінцевою метою таких відносин є отримання конкурентних переваг, де враховуються інтереси усіх учасників, хоча для кожного з партнерів результати можуть бути не максимальні.

За класифікацією [12] види ПВ формуються залежно від умов, за яких вони створюються, та цілей. Проаналізувавши літературні джерела, побудуємо кваліфікацію видів ПВ ВПП. У табл. 2 внесені такі ПВ, які потенційно можуть бути між ВПП та їх стейкхолдерами. Ці ПВ можуть залежати від типу самих відношень; від терміну, на які вони укладаються; типу ринкових структур і кінцевої мети партнерства.

Таблиця 2

Класифікація видів ПВ ВПП

Класифікація видів партнерських відносин	
Вид ПВ	Тип ПВ
За тривалістю	постійні тимчасові: а) з пролонгацією б) без пролонгації <i>довгострокові</i> <i>випадкові</i>
За ступенем охоплення ринку	міжнародні міжрегіональні регіональні локальні
За кількістю учасників	двосторонні багатосторонні
За учасниками формування	з постачальниками з покупцями з посередниками <i>із замовниками</i> <i>з обслуговуючими структурами</i> <i>з виконавцями супутніх технологічних операцій</i>
За галузевим охопленням	моногалузеві полігалузеві
За метою формування	виробничі фінансові маркетингові техніко-технологічні організаційні навчальні <i>посередницькі</i>
За резидентністю	з резидентами з нерезидентами
За типом господарської взаємодії	матеріальні фінансові інформаційні трудові освітні <i>нематеріальні</i>
За ринковим положенням	монополісти олігополісти

(курсивом зазначено види партнерських відносин, запропоновані авторами)

Формуємо змістовне визначення ПВ шляхом формалізації поняття. Розглядаємо ПВ як вектор

P_{ij} , що містить у загальному вигляді такі складники: i, j, k, l – суб'єкти відносин. Тоді ПВ має вигляд: $R = \{r_{ijk}\}_{k=1}^m$, де $k = 1, m$;

r_{ij1} – добровільна співпраця;

r_{ij2} – взаємна довіра та підтримка;

r_{ij3} – розподіл прав, зобов'язань;

r_{ij4} – відповідальність сторін;

r_{ij5} – взаємні очікування;

r_{ij6} – поділ як здобутків, так і ризиків;

r_{ij7} – фактичний вплив на прийняття рішень;

r_{ij8} – досягнення визначених результатів;

r_{ij9} – можливість кожному з них отримати оптимальний рівень прибутку за рахунок обміну результатами діяльності;

r_{ij10} – спільні дії та зусилля сторін;

r_{ij11} – спільні інтереси;

r_{ij12} – досягнення спільних цілей.

З урахуванням вищесказаного ПВ має вигляд

$$P_{ijk} = \{P_{1i}, P_{2j}, P_{3k}\}.$$

Для створення ПВ ВПП необхідно враховувати критерії, за якими можна обрати й оцінити ефективність того чи іншого партнера. Розглянемо критерії, які впливають на вибір ПВ ВПП, на прикладі вибору постачальників:

1. Якість продукції.

2. Своєчасність доставки.

3. Ціна в інших постачальників.

4. Обслуговування (якість технічної допомоги, ставлення постачальника і час відповіді на прохання про допомогу, кваліфікація обслуговуючого персоналу і т. д.).

5. Повторні пропозиції з розробки продукції або послуги зі зниження ціни.

6. Технічна, інженерна та виробнича потужності.

7. Оцінка дистриб'юторських можливостей (якщо постачальник виконує функцію дистриб'ютора).

8. Детальна оцінка фінансів та управління.

Наведені критерії використовуються в більшості зарубіжних фірм-виробників продукції для вибору постачальників ресурсів.

Узагальнення розглянутих підходів дозволяє виділити головні критерії, на яких рекомендується будувати систему взаємовідносин постачальника [1]:

1. Якість продукції. Стосується здатності постачальника забезпечити товари та послуги відповідно до специфікацій, а також вимог споживача, незалежно від того, чи відповідає вона специфікації.

2. Надійність постачальника (чесність, відповідальність, зацікавленість у веденні бізнесу з

цією компанією, фінансова стабільність, репутація у своїй сфері, дотримання раніше встановлених обсягів і термінів поставки та ін.).

3. Ціна. У ціні повинні враховуватися всі витрати на закупівлю конкретного матеріального ресурсу, такі як транспортування й адміністративні витрати, ризик зміни курсів валют і митні збори та ін.

4. Якість обслуговування. Оцінка за цим критерієм вимагає збору інформації у досить широкого кола осіб із різних підрозділів компанії та сторонніх джерел. Необхідно вивчати думку про якість технічної допомоги, швидкість реакції на мінливі вимоги й умови поставок, прохання про технічну допомогу, кваліфікацію обслуговуючого персоналу і т. д.

5. Умови оплати і можливість позапланових поставок. Постачальники, які пропонують вигідні умови платежу (наприклад, із можливістю отримання відстрочки або кредиту) і гарантують можливість отримання позапланових поставок, дозволяють уникнути багатьох проблем із постачанням.

Системі встановлених критеріїв може відповісти кілька постачальників. У цьому разі необхідно їх ранжувати, спираючись на результати безпосередніх контактів із представниками постачальників.

Висновки. У роботі розглядаються поняття «партнерство», «партнерські відносини». Для отримання ефекту від втілення системи управління ПВ ВПП і їх стейкхолдерів важливим є дослідження сутності цих понять. Також уточнена сутність категорій «партнерство», «партнерські відносини». Сформовано поняття «партнерські відносини видавничо-поліграфічних підприємств». Доповнено та розширено класифікацію видів ПВ ВПП. Розглянуто критерії, які впливають на вибір ПВ ВПП, на прикладі вибору постачальників.

У перспективі подальших досліджень заплановано розробку методики оцінки ефективності ПВ ВПП.

Список літератури:

1. Андрущенко Т.Ю. Системи управління взаємовідносинами із стейкхолдерами на поліграфічному підприємстві. *Системи обробки інформації*. 2012. № 8 (106). С. 170–176.
2. Бусигін А.В. Основний курс: підручник. М.: ІНФРА-М, 1997. 607 с.
3. Гордон Я.Х. Маркетинг партнерских отношений. СПб.: Питер, 2001. 379 с.
4. Завгородня А.В., Ямпільська Д.О. Маркетингове планування. СПб.: Питер, 2002. 385 с.
5. Ковальов А.І., Войленко В.В. Маркетинговий аналіз. М.: Центр економіки і маркетингу, 2000. 265 с.
6. Корчунов Д. Организация процессов по работе с клиентами. *Отдел маркетинга*. 2005. № 3. С. 24–26.
7. Крихівська Н.О. Аналіз наукових підходів до дефініції поняття «партнерські відносини». *Економічна теорія та історія економічної думки*. 2014. Вип. I (53). С. 19–25.
8. Лаптії Т.М. Теоретичний зміст поняття і практика застосування партнерства в сучасній економіці. *Економіка і регіон*. 2012. № 6 (37). С. 165–168
9. Магомедова А. Теоретичні засади формування партнерських відносин між суб'єктами підприємництва. URL: http://archive.nbuv.gov.ua/ejournals/PSPE/2011_4/Magomedova_411.htm
10. Масленников В.В. Формування партнерських відношень в підприємницькій діяльності (питання теорії та практики): дис. ... док. економ. наук: 08.00.30. Москва, 1998. 293 с.
11. Мурахтанова Н.М., Срьоміна Є.І. Маркетинг: навч. посіб. М.: Видавничий центр «Академія», 2002.
12. Ус М.І. Сучасні напрямки формування партнерських відносин. *Бізнес-Інформ*. 2011. № 8. С. 181–183.
13. Чухрай Н.І. Оцінювання і розвиток відносин між бізнеспартнерами: монографія. Львів: Растр-7, 2008. 360 с
14. Prawelska-Skrzypek G. Partnerstwo w realizacji projektow. Rozwoj przez partnerstwo. Krakow: Wyd. Uniwersytetu Jagiellockiego, 2008. 67 s.

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПОНЯТИЙ «ПАРТНЕРСКИЕ ОТНОШЕНИЯ» ИЗДАТЕЛЬСКО-ПОЛИГРАФИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Проведенный анализ показал, что существует пробел при формировании партнерских отношений издательско-полиграфических предприятий. Для получения эффекта от внедрения систем поддержки принятия решений в управление партнерскими отношениями издательско-полиграфических предприятий и их стейкхолдеров важным является исследование сущности понятий «партнерство», «партнерские отношения». Поэтому уточнена сущность понятий «партнерство» и «партнерские отношения». Сформировано понятие «партнерские отношения издательско-полиграфических предприятий». Дополнена и расширена классификация видов партнерских отношений издательско-полиграфических предприятий.

Ключевые слова: партнерские отношения, управление партнерскими отношениями, издательско-полиграфические предприятия, партнерство, виды партнерских отношений.

FORMALIZATION OF CONCEPTS “PARTNER RELATIONS” OF PUBLISHING POLYGRAPHIC ENTERPRISES

The conducted analysis of the subject area showed that there is a gap in the formation of partnerships for publishing and printing companies. From the point of view of obtaining the effect of the implementation of the DSS on the management of affiliate relations by publishing and printing companies and their stakeholders, it is important to study the treatment of the essence of the concepts of “partnership” and “partnership relations”. Thus, the essence of the concepts of “partnership” and “partnership relations” is clarified. The concept of “partnership relations of publishing and printing enterprises” is formed. The classification of types of partner relations of publishing and printing enterprises is supplemented and expanded.

Key words: *partnership relations, management of partner relations, publishing and printing enterprises, partnership, types of partnership relations.*

Терейковська Л.О.

Київський національний університет будівництва і архітектури

АНАЛІЗ ЗАСОБІВ РОЗПІЗНАВАННЯ ЕМОЦІЙНОГО СТАНУ ЛЮДИНИ ЗА ГОЛОСОМ

Стаття присвячена проблемі впровадження засобів розпізнавання емоційного стану людини в інформаційні системи різноманітного призначення. Визначена обмеженість поширених засобів розпізнавання емоцій, що базуються на аналізі геометрії обличчя людини. Показано перспективність застосування засобів розпізнавання емоцій на основі аналізу інтонації та тембру голосу людини. На основі результатів аналізу відомих розробок сформовано базовий перелік характеристик, які можуть бути використані для оцінки відповідності зазначених засобів умовам поставленої задачі розпізнавання. Запропоновано співвіднести шляхи подальших досліджень із розробкою процедури оцінки ефективності засобів розпізнавання та формуванням переліку характеристик засобів розпізнавання емоцій на основі таких біометричних параметрів, як колір підшкірного візерунка кровоносних судин обличчя та малюнок сітківки ока.

Ключові слова: емоційний стан, голосовий сигнал, тембр голосу, інтонація голосу, розпізнавання емоцій, засоби розпізнавання.

Постановка проблеми. Однією з важливих тенденцій розвитку інформаційних систем загального та спеціального призначення є впровадження в них засобів розпізнавання емоційного стану (далі – ЗРЕС). Так, відомі спроби застосування ЗРЕС у системах розпізнавання впливу на підсвідомість у мультимедійних повідомленнях засобів масової інформації під час ведення інформаційних війн, для діагностування психічних захворювань, в індустрії розваг і системах управління розумним будинком. Викликає інтерес застосування ЗРЕС у системах дистанційної освіти для оптимізації навчального навантаження. Саме на ЗРЕС базується функціонування більшості відомих систем розпізнавання брехні (поліграфів). Крім того, впровадження ЗРЕС в інтерфейс інформаційних систем загального призначення є одним із сучасних напрямів їх вдосконалення. Нині найбільш поширеними є ЗРЕС на основі аналізу геометрії обличчя людини. Однак суттєвою перешкодою використання таких ЗРЕС є необхідність отримання якісного зображення обличчя. Тому одним з основних напрямів розвитку ЗРЕС є застосування в них аналізаторів інших біометричних параметрів. Перспективним вважається застосування аналізатора голосового сигналу (далі – ГС) людини [6; 10]. Це пояснюється тим, що сьогодні засоби реєстрації ГС є невід’ємною частиною більшості відомих інформаційних систем. Водночас практичний досвід і результати робіт [2; 9] вказують на необхідність модернізації таких ЗРЕС у напрямі зменшення ресурсоемності, збільшення точності розпізнавання, скорочення

терміну розробки та підвищення адаптованості до інших умов застосування, що і зумовлює актуальність досліджень у цьому напрямі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Загалом під поняттям «емоції» розуміють особливий клас психічних станів, які відображають ставлення людини до навколишнього світу, до інших людей, до самої себе та до результатів своєї діяльності [1; 3; 8]. У сучасній психології виділяють сім базових емоцій, прояви яких не залежать від раси і культури людини. Зазначимо, що базові емоції – це елементарні емоції, які більше ні на що не розщеплюються і самі можуть бути складниками інших складних емоцій. До базових емоцій належать радість, гнів, відраза, смуток, страх, подив, зневага. Слід зауважити, що в деяких роботах [4; 7] виділяють не сім, а чотири базові емоції: щастя (радість), смуток (сум), переляк (страх), здивування і гнів / відразу (огиду). Кількість і номенклатура складних емоцій досі чітко не визначена, а відповідна теорія далека від досконалості. Всі емоції поділяються на позитивні і негативні, а також на стенічні й астенічні. Позитивні емоції пов’язані із задоволенням потреб, а негативні викликають почуття незадоволення і вимагають зміни ситуації. Стенічні емоції активізують організм і піднімають настрій (гнів, лють, захват), астенічні (туга, печаль, смуток, сором) – розслаблюють людину і пригнічують активність організму. Завдання розпізнавання емоцій є слабоформалізованим, а його рішення ускладнюється невизначеністю характеристик проявів емоцій у ГС. Зазначимо, що

ГС – це складний акустичний сигнал, джерелом якого є голос людини. Оскільки близько 40% інформації людина сприймає завдяки інтонації голосу та тембру ГС, розробку ЗРЕС пов'язують з аналізом вказаних характеристик. Зазначимо, що інтонація ГС є збірним поняттям, що включає тональність, силу звучання, темп мовлення, наголоси і паузи. З погляду розпізнавання емоцій найбільш важливими складниками є тональність ГС і темп мовлення [3; 9]. Тональність ГС відображає в ньому емоційно-вольову установку людини у досягненні конкретної мети. За типом впливу розрізняють три види тональності: мажорну, мінорну, нейтральну. Виділяють такі характеристики тональності, як спокій і напруженість. Спокій – відносно рівний стан, а напруженість – нестійкий стан тональності, що характеризується накопиченням певної кількості сигналів іншої тональності, подальше збільшення якої здатне привести до якісного стрибка і переходу в іншу тональність. Темп мовлення відображає швидкість проголошення різних елементів мови (звуків, складів, слів). Тембр голосу – психоакустична характеристика, зумовлена формантною структурою спектра ГС, ступенем вираженості шумових компонентів, негармонійних обертонів, модуляційними процесами, зростанням і згасанням ГС. Як і тональність ГС, тембр голосу відображає яскравість звуку, його індивідуальність і багато в чому визначається поточним психологічним станом людини [10; 11].

У більшості відомих ЗРЕС тональність і тембр ГС оцінюють на основі висоти основного тону й обертонів. Типова технологія оцінки полягає у фільтрації ГС, визначенні квазістаціонарних фрагментів, спектральному аналізі кожного із вказаних квазістаціонарних фрагментів, розрахунку мел-кепстральних коефіцієнтів (коефіцієнтів лінійного передбачення) та власне у розпізнаванні поточних емоцій. Експлуатаційні характеристики конкретних ЗРЕС визначаються реалізацією кожного з означених етапів. Наприклад, спектральний аналіз квазістаціонарних фрагментів може бути реалізований за допомогою методу Фур'є або за допомогою вейвлет-перетворень. У проаналізованій літературі [1–11] не знайдено обґрунтованого переліку характеристик ЗРЕС, адаптація яких до поставленого завдання розпізнавання зумовлює ефективність використання зазначених засобів.

Постановка завдання. Основною метою публікації є формування переліку характеристик, що можуть бути використані для оцінки відпо-

відності засобів розпізнавання емоційного стану людини на основі ГС умовам поставленої задачі розпізнавання. Для цього слід провести аналіз відомих рішень у сфері створення таких засобів розпізнавання.

Виклад основного матеріалу дослідження. Сьогодні відома достатньо велика кількість ЗРЕС на основі голосового сигналу. Однак обмежений обсяг публікації й обмежена доступність деяких ЗРЕС зумовила можливість аналізу тільки найбільш відомих та апробованих рішень.

Комп'ютерна система Вищої школи економіки (Росія) (perm.hse.ru) дозволяє на основі аналізу ГС розпізнавати вісім базових емоцій – нейтральність, спокій, щастя, сум, гнів, страх, відразу та здивування [8]. Заявлена середня точність розпізнавання сягає 71%. Точність розпізнавання нейтральності та спокою є більш високою, а точність розпізнавання страху, суму, здивування та відрази нижча за середню. Система має експериментальний характер. Основою блоку дикторонезалежного розпізнавання є рекурентна нейронна мережа типу LSTM, що застосовується для аналізу ГС, поданого у вигляді набору мел-кепстральних коефіцієнтів. У системі передбачено фільтрацію білого шуму та вирівнювання гучності ГС.

Створена в Ізраїлі **технологія відстеження емоцій у реальному часі Beyond Verbal** (www.beyondverbal.com) передбачає можливість визначення близько 400 варіантів емоційного стану диктора. Технологія використовується рядом компаній і передбачає використання різноманітних механізмів обробки ГС. Остаточна класифікація емоційного стану реалізується за допомогою спеціальних шаблонів, для створення яких було проаналізовано 2 300 000 аудіозаписів ГС зі 170 країн світу. Технологія передбачає можливість як дикторозалежного, так і дикторонезалежного розпізнавання емоцій.

Мобільний додаток Xpression розроблений компанією EI Technologies із Великої Британії (www.ei-technologies.com) і здатен розпізнавати 4 емоційні стани людини: спокій, щастя, сум, гнів і тривогу. Додаток має клієнт-серверну архітектуру. Клієнтський модуль використовується для реєстрації ГС та його попередньої обробки. На сервері аналізуються фрагменти ГС тривалістю 200 мілісекунд. Для цього використовується нейронна мережа, на вхід якої подаються параметри, які описують гучність ГС, його тональність і темп мовлення. Процес розпізнавання має дикторозалежний характер,

Характеристики засобів розпізнавання емоцій на основі голосу

№	Опис характеристик
Особливості розпізнавання	
N _{1,1}	Повнота розпізнавання базових емоцій
N _{1,2}	Можливість розпізнавання складних емоцій
N _{1,3}	Адаптованість до мови диктора
N _{1,4}	Адаптованість до статі диктора
N _{1,5}	Адаптованість до віку диктора
N _{1,6}	Можливість фільтрації шуму
N _{1,7}	Можливість нормалізації гучності ГС
N _{1,8}	Можливість розпізнавання в умовах наговпу
N _{1,9}	Дикторозалежність процесу розпізнавання
N _{1,10}	Можливість числової оцінки емоційного стану
N _{1,11}	Можливість аналізу динаміки емоцій
N _{1,12}	Можливість аналізу спонтанного мовлення
N _{1,13}	Необхідність використання навчальних баз даних, що містять приклади ГС із різними емоціями
N _{1,14}	Точність розпізнавання
N _{1,15}	Обчислювальна складність розпізнавання
N _{1,16}	Часова складність розпізнавання
Технічна реалізація	
N _{2,1}	Можливість інтеграції з системами управління базами даних
N _{2,2}	Можливість інтеграції з різноманітними системами реєстрації аудіопотоку
N _{2,3}	Можливість аналізу різноманітних форматів аудіофайлів
Сервісні можливості	
N _{3,1}	Верифікація користувача
N _{3,2}	Визначення віку
N _{3,3}	Визначення раси
N _{3,4}	Визначення статі
N _{3,5}	Можливість інтеграції з ЗРЕС, що базуються на інших біометричних ознаках

що передбачає створення шаблону конкретного користувача. Надалі додаток стежить за відхиленнями тембру голосу, його гучності, зміною проміжків часу між звуками і словами та порівнює все це з означеним шаблоном. Класифікація здійснюється на підставі розрахованих відхилень. У процесі розробки визначено, що представники різних народів говорять із різною швидкістю та гучністю, а люди різного віку та статі мають різні інтонації.

У роботі [4] наведено опис експериментальної системи розпізнавання емоцій у людській мові з використанням вейвлетів. Система призначена для розпізнавання в аудіозаписах 4 базових емоцій: гніву, страху, радості та норми. Наведено детальний опис математичного забезпечення системи. Розпізнавання реалізується на основі величин коефіцієнтів кореляції, для розрахунку яких використовується спектральний аналіз ГС на основі вейвлету Морле.

У роботі [7] описана програма для вимірювання емоцій абонента мобільного телефону. Результатом роботи програми є графік емоційної кривої абонента, що може бути використаний для розпізнавання його емоцій шляхом порівняння з емоційними кривими базових і складних емоцій.

Програма *EmoWatch* від японської компанії Smartmedical (eng.smartmedical.jp/) призначена для ідентифікації та розпізнавання емоцій користувачів мобільних пристроїв компанії Apple. Програма базується на технології Emrpath, яка аналізує основний тон, обсяг і швидкість ГС. Завдяки цій інформації програма дозволяє аналізувати енергетичні рівні користувача і розпізнавати гнів, спокій, радість, сум. Програма є дикторозалежною та має можливість розпізнавання незалежно від мови користувача.

Крім розглянутих систем розпізнавання емоцій, відомий цілий ряд комплексів, функціональність яких також базується на аналізі ГС. Ці комплекси призначені для вирішення таких завдань: верифікації користувачів, визначення функціонального стану людини, розпізнавання брехні, створення різноманітних голосових ефектів, визначення раси, віку та статі.

Проведений аналіз дозволив виділити три групи характеристик ЗРЕС. Перша група характеризує особливості розпізнавання ЗРЕС, друга група – особливості технічної реалізації, а третя – сервісні (додаткові) можливості ЗРЕС. Короткий опис характеристик представлено в табл. 1. Надалі цей перелік може бути уточнений і доповнений.

За період 2014–2018 рр. опубліковано декілька баз даних (далі – БД), у яких містяться аудіозаписи голосів людей із різними емоціями. Найбільш відомими є Emo-DB, RAVDESS та UMSSSED. Наприклад, БД Emo-DB (emodb.bilderbar.info) містить записи голосу професійних акторів німецькою мовою. БД включає 535 записів ГС 10 дикторів (5 чоловіків, 5 жінок), що відтворюють набір дискретних 7 базових емоційних станів. Наявність цих БД, з одного боку, сигналізує про прогрес у сфері ЗРЕС на основі ГС, а з іншого – уможлиблює вдосконалення таких засобів.

Результати проведеного аналізу дозволили за допомогою виділених характеристик оцінити можливість проаналізованих засобів розпізнавання

емоцій. У базовому варіанті оцінки виставлені за бінарної шкалою (0/1), що відповідає відсутності / наявності зазначених можливостей. Отримані оцінки для першої групи характеристик частково показані в табл. 2. Акцентування уваги на першій групі характеристик продиктовано тим, що тематика подальших досліджень пов'язана з розробкою ефективних моделей і методів розпізнавання емоцій, виражених у ГС.

Таблиця 2

Оцінки першої групи характеристик засобів розпізнавання.

Назва ЗРЕС	Характеристика ЗРЕС				
	N _{1,1}	N _{1,2}	N _{1,3}	N _{1,4}	N _{1,5}
Комп'ютерна система Вищої школи економіки	1	0	0	0	0
Beyond Verbal	1	1	1	1	1
Xpression	1	0	1	1	1
Система розпізнавання емоцій у людській мові	1	0	0	0	0
Програма для вимірювання емоцій абонента мобільного телефону	1	0	0	0	0
EmoWatch	1	0	1	0	0

Як впливає з аналізу даних табл. 2, більшість проаналізованих ЗРЕС погано пристосовані до

зміни статі та віку диктора. Більшість відомих ЗРЕС не розпізнає складні емоції.

Формування переліку характеристик ЗРЕС дозволяє окреслити напрям наступного етапу досліджень – розробки процедури визначення шляхів забезпечення ефективності зазначених засобів в ІС різного призначення. За аналогією з відомими рішеннями у сфері розробки багаторівневих систем розпізнавання ГС [6] в основі процедури можливо використовувати такий принцип: ефективність ЗРЕС визначається тим, наскільки повно характеристики зазначених засобів відповідають особливостям ІС.

Висновки. Проведене дослідження дозволило обґрунтувати базовий перелік характеристик засобів автоматизованого розпізнавання емоційного стану людини за тембром та інтонацією голосу, який дозволяє оцінити відповідність зазначених засобів умовам поставленої задачі розпізнавання. Визначено, що напрями подальших досліджень полягають у розробці процедури визначення шляхів забезпечення ефективності засобів розпізнавання емоцій в інформаційних системах різного призначення. Також доцільно сформулювати перелік характеристик засобів розпізнавання емоцій на підставі аналізу таких біометричних ознак, як колір підшкірного візерунка кровоносних судин особи та малюнок сітківки ока.

Список літератури:

1. Вартанов А.В. Антропоморфный метод распознавания эмоций в звучащей речи. *Национальный психологический журнал*. Москва, 2013. № 2 (10). С. 69–79.
2. Гришук Т.В., Биков М.М. Моделирование процесса анализа и классификации голосовых команд: монография. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. 146 с.
3. Заболеева-Зотова А.В., Орлова Ю.А., Розалиев В.Л., Бобков А.С. Задача создания системы автоматизированного распознавания эмоций. *Материалы междунар. науч.-техн. конф. «OSTIS-2012»*. Минск, 2012. С. 347–350.
4. Иванович А.В., Бредихин А.И. Распознавание эмоций в человеческой речи с использованием вейвлетов. *Материалы LXII междунар. науч.-практ. конф.* Новосибирск, 2018. С. 30–42.
5. Лебедева Н.Н., Каримова Е.Д. Акустические характеристики речевого сигнала как показатель функционального состояния человека. *Успехи физиологических наук*. 2014. Т. 45. № 1. С. 57–95.
6. Михайленко В.М., Терейковська Л.О., Терейковський І.А., Ахметов Б.Б. Нейромережеві моделі та методи розпізнавання фонем в голосовому сигналі в системі дистанційного навчання: монографія. Київ: ЦП «Компринт», 2017. 252 с.
7. Михайлов В.О. Программная реализация измерения эмоций абонента мобильного телефона. *Современные проблемы науки и образования*. 2012. № 5. С. 45–62.
8. Попова А.С., Рассадин А.Г., Пономаренко А.А. Детектирование эмоций в мультимедиа контенте. *Материалы междунар. науч.-техн. конф. «ИСТ – 2017»*. Москва, 2017. С. 852–857.
9. Ребрун І.А., Сидоров К.В., Филатова Н.Н., Ханеев Д.М. Модель проявления эмоций в естественной речи. *Материалы четырнадцатой национальной конф. по искусственному интеллекту «КИИ – 2014»*. Казань, 2014. С. 112–121.
10. Сидоров К.В. Биотехническая система мониторинга эмоций человека по речевым сигналам и электроэнцефалограммам: дис. ... канд. тех. наук: 05.11.17. Тверь, 2015. 182 с.
11. He L. Stress and Emotion Recognition in Natural Speech in the Work and Family Environments: Ph.D. Dissertation. *RMIT University*. 2010. 197 p.

АНАЛИЗ СРЕДСТВ РАСПОЗНАВАНИЯ ЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА ПО ГОЛОСУ

Статья посвящена проблеме внедрения средств распознавания эмоционального состояния человека в информационные системы различного назначения. Определена ограниченность распространенных средств распознавания эмоций, основанных на анализе геометрии лица человека. Показана перспективность применения средств распознавания эмоций на основе анализа интонации и тембра голоса человека. На основе результатов анализа известных разработок сформирован базовый перечень характеристик, которые могут быть использованы для оценки соответствия указанных средств условиям поставленной задачи распознавания. Предложено соотнести пути дальнейших исследований с разработкой процедуры оценки эффективности средств распознавания и формированием перечня характеристик средств распознавания эмоций на основе таких биометрических параметров, как цвет подкожного узора кровеносных сосудов лица и рисунок сетчатки глаза.

Ключевые слова: эмоциональное состояние, голосовой сигнал, тембр голоса, интонация голоса, распознавание эмоций, средства распознавания.

ANALYSIS OF MEANS OF RECOGNITION OF THE EMOTIONAL STATE OF HUMAN BY VOICE

The article is devoted to the problem of introducing means of recognition of the human emotional state into information systems of various purposes. The limited limitations of the common means for recognizing emotions based on the analysis of human geometry are determined. The perspective of the use of emotional recognition methods is shown on the basis of intonation analysis and human voice timbre. On the basis of the results of the analysis of known developments, a basic list of characteristics has been formed that can be used to assess the conformity of the indicated means with the conditions of the problem of recognition. It is proposed to correlate the ways of further research with the development of a procedure for evaluating the effectiveness of means of recognition and the formation of a list of characteristics of emotional recognition devices based on such biometric parameters as the color of the subcutaneous pattern of blood vessels of the face and the retinal eye.

Key words: emotional state, voice signal, timbre of voice, voice intonation, emotional recognition, recognition mean.

УДК 004.021

Тільняк Ю.Я.

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

МОДИФІКАЦІЯ АЛГОРИТМУ MD5 ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЦІЛІСНОСТІ ЕЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБІГУ ДЛЯ БЛОКЧЕЙН

У статті розглянуто спосіб застосування дискретних відображень для генерації детерміновано хаотичних числових рядів із метою підвищення криптостійкості хеш-функцій для блокчейн. Проведено порівняльний аналіз розробленої хеш-функції й аналога у вигляді методу MD5. За результатами аналізу встановлено, що хеш-функція є стійкою до інформаційних атак.

Ключові слова: блокчейн, захист інформації, хеш-функція, алгоритм MD5, електронний контроль документообігу.

Постановка проблеми. Сучасний рівень розвитку інформаційних технологій характеризується тенденцією домінування електронних документів над традиційними паперовими носіями інформації. Сьогодні важливо приділити особливу увагу захисту інформації, що в них міститься. Потреба введення електронного документообігу є невід'ємною частиною для блокчейн, через це виникає проблема достовірності електронних документів. Фахівці у галузі керування й обміну електронними документами зацікавлені у вирішенні проблем, пов'язаних із запобіганням і несвоєчасним виявленням несанкціонованих змін у змісті електронних документів або комунікацій в умовах зростання кількості комп'ютерних злочинів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Традиційно для безпеки електронної інформації застосовують хеш-функції (hash-function). Нині популярними функціями хеш є MD5 і SHA-1. У лютому 2005 р. було опубліковано перший звіт про потенційну вразливість хеш-функції, що вперше виявлено в алгоритмі SHA-1. Насамперед цю проблему розглянув Національний інститут стандартів і технологій (NIST), видавши специфікації SHA-1 як FIPS 180-2 – офіційний федеральний стандарт США для обробки інформації. Новий захищений алгоритм для розробки даних перебуває на стадії тестування та перевірки (NIST 2012) [1]. Зважаючи, що SHA-1 є незадовільною з погляду практики застосування на сучасному рівні методів криптоаналізу та реалізації інформаційних атак, у дослідженні безпеки електронної інформації для блокчейн ми розглянемо модифікацію MD5.

Постановка завдання. Метою дослідження є застосування алгоритму MD5 для контролю цілісності електронного документообігу для блокчейн.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Розглянемо прототип SecureHashAlgorithm, який був розроблений Національним інститутом стандартів і технологій (NIST) і опублікований як федеральний інформаційний стандарт (FIPS PUB 180) у 1993 р. SHA-1, а також MD5 на алгоритмі MD4 [1; 2].

Розглянемо алгоритм виконання SHA-1. На вхід надсилається максимальна довжина 264 біт. На виході створюється дайджест повідомлення 160 біт.

Робота алгоритму SHA-1 заснована на виконанні такої послідовності дій. Повідомлення доповнюється таким чином, що його довжина є кратною 448 по модулю – 512. Кількість доданих бітів знаходиться у діапазоні від 1 до 512. Додавання є однією одиницею з необхідною кількістю нулів.

Потім до повідомлення додається блок із 64 біт. Це 64-бітове ціле число без знака відображає довжину вихідного повідомлення.

На цьому етапі генерується повідомлення, довжина якого перевищує 512 біт. Збільшене повідомлення становить послідовність 512-бітових блоків довжини L , тобто загальна довжина розширеного повідомлення $L \times 512$ біт і кратна шістнадцяти 32-бітовим словам.

Для ініціалізації SHA-1 використовується 160-бітовий буфер для зберігання проміжних і кінцевих результатів хеш-функції. Буфер може бути представлений як п'ять 32-бітових регістрів A , B , C , D і E . Ці регістри ініціалізуються такими шістнадцятковими числами:

$$A = 67452301$$

$$B = \text{EFCDAB89}$$

$$C = 98\text{BADCFE}$$

$$D = 10325476$$

$$E = \text{C3D2E1F0}$$

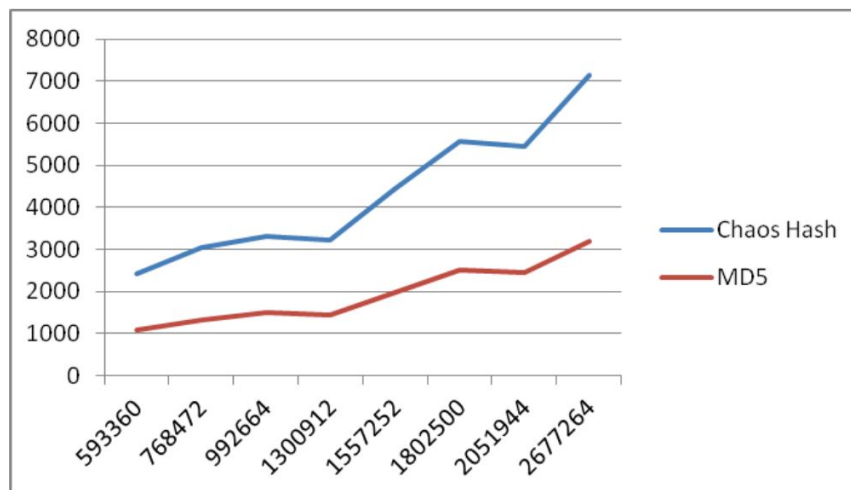


Рис. 1. Графік порівнянь результатів роботи MD5 і даних алгоритму

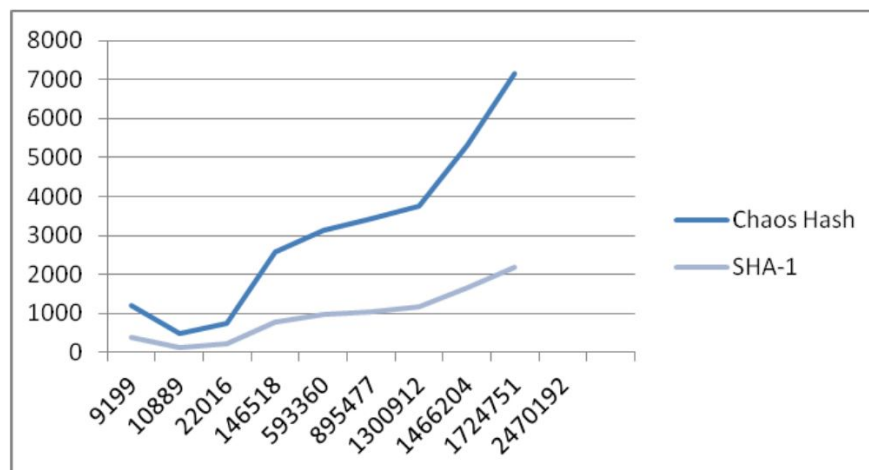


Рис. 2. Графік порівнянь показників продуктивності SHA-1 і розробленого алгоритму

Після того виконується обробка у вигляді 512-бітових блоків.

В основі алгоритму лежить модуль, що складається з 80 циклічних обробок, позначених як H_{SHA} . Всі 80 циклів мають однакову структуру.

Кожен цикл приймає поточний оброблений 512-бітний блок і 160-бітове значення буфера ABCDE і змінює вміст цього буфера.

У кожному циклі використовується додаткова константа K^t , яка набуває тільки чотирьох різних значень:

- $0 \leq t \leq 19$ $K^t = 5A827999$
(ціле число $[230 \times 21/2]$);
- $20 \leq t \leq 39$ $K^t = 6ED9EBA1$
(ціла частина числа $[230 \times 31/2]$);
- $40 \leq t \leq 59$ $K^t = 8F1BBCDC$
(ціле число $[230 \times 51/2]$);
- $60 \leq t \leq 79$ $K^t = CA62C1D6$
(ціла частина числа $[230 \times 10^{1/2}]$) [2].

Щоб отримати хеш наступну частину повідомлення, вихід 80-го циклу є хеш-значенням попереднього. Модуль 2^{32} додає незалежно для кожного з п'яти слів у буфері з кожним із відповідних слів у попередньому хеші.

Після обробки всіх 512-бітових блоків вихід L-етапу є дайджестом 160-бітового повідомлення.

Проведемо покрокову реалізацію алгоритму формування хеш-функції з використанням детермінованої хаотичної послідовності чисел. Генеруючи дискретну хаотичну послідовність і регулюючи її дані, отримуємо дайджест, що відповідає цим даним.

Як генератор детерміновано хаотичної послідовності приймається дискретна карта Лоренца:

$$x + 1 = 1 - 2 \times |x|.$$

Всі операції виконуються над числами з рухомою комою з подвійною точністю.

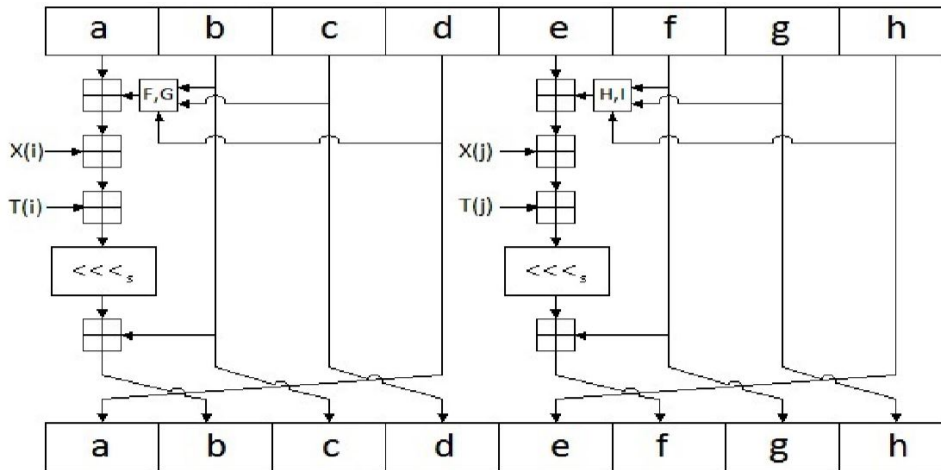


Рис 3. Блок-схема зміненого алгоритму MD5

Крок 1. Присвоюємо значення ініціалізації (початкового) хаотичної послідовності кількості, отриманого з такої операції:

$$x_i = 0xFFFFFFFFFFFFFFFF / 0x100000000000000.$$

Крок 2. Створюємо значення хаотичної послідовності.

Крок 3. Беремо наступний байт із даних і ділимо його значення на 1 000.

Крок 4. Ми виводимо отримане значення зі значення визначеної детермінованої послідовності; якщо згенероване значення хаотичної послідовності більше нуля, тоді додаємо.

Крок 5. Ми робимо 10 послідовних поколінь хаотичної послідовності без змішування.

Крок 6. Якщо всі дані передані, то дайджест є знаком і мантією останнього елемента хаотичної послідовності. В іншому разі він повертається до кроку 2.

Для тесту продуктивності програми було створено файл інциденту, що записується для тесту продуктивності, а також розмір отриманого файлу і час оброблення алгоритмом файлу (рис. 1, 2).

На рис. 1, 2 видно: на горизонтальній осі – кількість даних у байтах, а на вертикальній – час обробки цього обсягу в мільйонах.

Як видно з графіків, використовуються дискретні індикатори, що призводить до детермінованих і хаотичних процесів для створення функцій, які заважають індивідам, здійснюють інформаційний напад, вибирають електронні файли і здійснюють контроль. Непередбачуваність поведінки хаотичної системи і велика кількість дискретних відображень забезпечують основні вимоги, попередні й ефективні функції [1–2]:

1. необоротність, що виникає з властивостей дискретного відображення Лоренца;

2. опір до зіткнення першого роду: для повідомлення завдання M неможливо вибрати інше повідомлення N , для якого $H(N) = H(M)$, що забезпечує сильну залежність дискретної дисплейної орбіти від великих об'єктів, визначених значенням кожного файлу електронного документа;

3. стійкість до зіткнення другого роду: практична нездатність подолати пару повідомлень, які мають той самий дайджест, що і результат хешування.

Сьогодні питання дослідження шляхів подальшого зниження вразливості криптографічних хеш-функцій для різних додатків актуальні, оскільки за постійного зростання потужності та швидкодії сучасних обчислювальних засобів ймовірність успішної атаки також зростає. Алгоритми хешування, які використовуються у сучасних стандартах на електронний підпис в інших суміжних додатках [1–3], мають досить високу стійкість до колізій, однак ускладнення алгоритму часто призводить до збільшення обчислювальної складності і витрат на його реалізацію. Тому відносно прості хеш-алгоритми, використовувані в додатках, які не потребують високого рівня стійкості, можуть залишатися практично корисними. Наприклад, хеш-функції MD5 і SHA-1 досі продовжують використовуватися у деяких практичних додатках, незважаючи на виявлені вразливості, оскільки володіють високою швидкістю. Таким чином, дослідження можливості модифікації таких криптографічних протоколів із метою підвищення їх стійкості продовжує викликати не тільки науковий, але і практичний інтерес [3–5].

У роботі пропонується варіант модифікації алгоритму MD5. Якщо в наявному протоколі вихідна хеш-сума становить 128 біт, то пропонований алгоритм хешує текст довільної довжини, перетворюючи його в 256-бітну послідовність. На рис. 3 показана блок-схема модифікованого алгоритму.

Під час тестування програмного коду було показано, що модифікований алгоритм має той самий порядок обчислювальної складності, що і стандартний, тобто час обчислення хеш-суми одного і того ж тексту за допомогою обох алгоритмів практично не відрізняється (табл. 1). Це є важливим фактором, оскільки основною перевагою хеш-функцій такого виду і є швидкодія.

Таблиця 1

Час обчислення хешу

Кількість вхідних даних (кількість символів)	Час обчислення стандартного MD5 на комп'ютері з частотою 2 ГГц	Час обчислення модифікованого MD5 на комп'ютері з частотою 2 ГГц
10	0.038	0.041
50	0.045	0.044

Також хеш-функція повинна задовольняти таку умову, що за зміни одного біта досягається «лавинний ефект», тобто хеш істотно відрізняється для хешування вхідних даних. Приклад порівняння таких повідомлень і відповідних згорток наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Вихідні дані модифікованого MD5

Вхідний текст	Отриманий хеш
Hello	cbd02904ff8ad1f3dee3c92bc2418c2f7b214cc3769299558fb5a423f74b2bb2
Iello	e39b1e6cd4f6e7e18103e0cae8eb667ec4a3bdc4970887048e6c45209d4814cb

У підвищенні стійкості MD5 після процедури модифікації можна переконаватися, розглянувши основні атаки на хеш-функції і порівнявши основний і вдосконалений алгоритми. Атака «днів народження» [4] – один із методів пошуку колізій хеш-функцій на основі парадоксу днів народження. Для заданої криптографічної хеш-функції f є метою атаки для пошуку колізії другого роду. Для цього обчислю-

ються значення f для випадково вибраних блоків вхідних даних доти, поки не будуть знайдені два блоки, що мають однаковий хеш. Таким чином, якщо f має N різних рівноймовірних вихідних значень і N є досить великим, то з парадоксу днів народження випливає, що в середньому після перебору $1,25 \times \sqrt{N}$ різних вхідних значень буде знайдена шукана колізія. Якщо ж хеш-функція генерує n -бітне значення, то число випадкових вхідних даних, для яких хеш-коди з великою ймовірністю дадуть колізію, однаково не $2n$, а тільки близько 2^2

Таким чином, для MD5 різної розмірності хешу існує різна кількість вхідних даних для порівняльної ймовірності колізії (табл. 3).

Атака «грубою силою» [5] може бути виконана для знаходження першого прообразу за заданим хеш-значенням або для знаходження другого прообразу, що дає таке ж хеш-значення, як і сигнальне повідомлення. Суть атаки полягає в послідовному або випадковому переборі вхідних повідомлень і порівнянні результату виконання хеш-функції з її заданим значенням [4–7]. Складність такої атаки оцінюється 2^{n-1} операцій обчислення хеш-значення, де n – довжина хеш-значення. З табл. 3 показано, що модифікований алгоритм вимагає в $3,5 \times 1038$ разів більше операцій, ніж стандартний [8].

Висновки. Запропонований варіант модифікації алгоритму MD5 дозволяє за швидкодії знизити ймовірність колізії як першого, так і другого роду. Використання таких алгоритмів, наприклад, у додатках прискореного пошуку даних у великих масивах, де колізія призводить не до порушення цілісності повідомлення, а всього лише до помилки пошуку, може значно підвищити ефективність роботи таких систем за рахунок зниження ймовірності такої помилки. Застосування модифікації такого алгоритму у введенні електронного документообігу дозволить збільшити рівень безпеки у середовищі комунікації для блокчейн зокрема.

Таблиця 3

Ймовірність колізії

Розмірність хеш (n)	Кількість рівноможливих вхідних значень (2n)	Кількість вхідних даних, за яких колізія буде із заданою вірогідністю				
		10-6%	0,1%	1%	25%	50%
128	3.4×1038	2.6×1016	8.3×1017	2.6×1018	1.4×1019	2.2×1019
256	1.2×1077	4.8×1035	1.5×1037	4.8×1037	2.6×1038	4.0×1038

Список літератури:

1. Wang X., Yin Y.L., Yu H. Finding collisions in the full SHA-1. *Advances in cryptology – CRYPTO 2005. Lecture Notes in Computer Science*. Berlin: Springer-Verlag, 2005. V. 3621. P. 17–36.
2. Довгаль В.М., Гордиенко В.В., Никитин М.О. Алгоритм на основе механизмов хаотической динамики для контроля целостности электронных документов. *Ученые записки. Электронный научный журнал*. Курск, 2012. С. 29–32.
3. ГОСТ Р 34.11-2012. Информационная технология. Криптографическая защита информации. Функция хеширования.
4. Халимов Г.З. Универсальное хеширование по максимальной кривой третьего рода. *Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика*. 2011. № 1 (96). Вып. 17/1. С. 137–145.
5. Халимов О.Г., Буханцов А.Д., Халимов Г.З. Построение кривых Гурвица для универсального хеширования. *Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика*. 2014. № 1 (172). Вып. 29/1. С. 153–160.
6. Ohta K., Koyama K. Meet-in-the-Middle Attack on Digital Signature Schemes. *Abstract of AUSCRYPT'90*. 1990. P. 110–121.
7. ANSI X9.30 (PART 2), American National Standard for Financial Services – Public key cryptography using irreversible algorithms for the financial services industry – Part 2: The secure hash algorithm (SHA), ASC X9 Secretariat – American Bankers Association, 1993.
8. Буханцов А.Д., Дружкова И.В. О модификации алгоритма MD5. *Научные ведомости. Серия: Экономика. Информатика*. Белгород, 2016. № 2 (223). Вып. 37. С. 174–177.

МОДИФИКАЦИЯ АЛГОРИТМА MD5 ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЦЕЛОСТНОСТИ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА ДЛЯ БЛОКЧЕЙН

В статье рассмотрен способ применения дискретных отражений для генерации детерминировано хаотических числовых рядов с целью повышения криптоустойчивости хэши-функций для блокчейн. Проведен сравнительный анализ разработанной хэши-функции и аналога в виде метода MD5. В результате анализа установлено, что хэши-функция является устойчивой к информационным атакам.

Ключевые слова: блокчейн, защита информации, хэши-функция, алгоритм MD5, электронный контроль документооборота.

MODIFICATION OF MD5 ALGORITHM FOR CONTROL OF THE INTEGRITY OF ELECTRONIC DOCUMENTARY CIRCULATION FOR BLOCKCHAIN

In the article the method of using discrete maps for generation of deterministically chaotic numerical series is considered in order to increase the cryptostability of hash functions for blockchain. A comparative analysis of the developed hash function and analog in the form of the MD5 method has been carried out. According to the results of the analysis, it has been established that the hash function is resistant to information attacks.

Key words: blockchain, information protection, hash function, MD5 algorithm, electronic control of document circulation.

Тіменко А.В.

Запорізький національний технічний університет

Шкарупило В.В.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ОРКЕСТРУВАННЯ ІОТ-СЕРВІСІВ

У статті досліджуються підходи до оркестрування IoT-сервісів. Розглядаються технології, на яких ґрунтується функціонування IoT-систем. Характеризується поточний стан і поширення Інтернету речей. Оркестрування IoT-сервісів розглядається як основоположна складова частина організації узгодженої взаємодії компонентів IoT-системи шляхом централізованого координування. Підходи до оркестрування аналізуються з позиції специфіки застосування.

Ключові слова: IoT, SDN, SOA, координування, оркестрування, програмна система, сервіс.

Постановка проблеми. Нині відзначається стрімке зростання кількості електронних пристроїв, що взаємодіють, обмінюються даними (годинників, мобільних телефонів, холодильників тощо). Такі пристрої прийнято називати «розумними» [1]. Водночас гостро постає питання побудови успішно функціонуючих систем на їх основі у різних сферах застосування: «розумного будинку» (smarthome) – керування освітленням, перемикачами живлення, індикаторами задимлення тощо [2]; «розумного міста» (smartcity) – керування постачанням електроенергії, тепла тощо [3] та ін. Стверджується, що у 2020 р. очікується функціонування близько 20 млрд «розумних» пристроїв [4].

Враховуючи вищесказане, варто зазначити, що канонічний підхід до побудови, обслуговування та реконфігурування комп'ютерних мереж, на основі яких би будувалася успішно функціонуюча та масштабована інфраструктура взаємодіючих «розумних» пристроїв, не є задовільним – з урахуванням потенційної кількості таких пристроїв. Шляхом вирішення цього питання є адаптація принципів програмно-конфігурованих мереж (SDN, Software Defined Networking) – підходу, що полягає у розмежуванні рівнів керування і даних [5]. Завдяки цьому значно спрощується процес вирішення задач, пов'язаних із реконфігуруванням та обслуговуванням мережі. Це можливо за рахунок того, що відповідні дії пропонується вирішувати на програмному, а не на апаратному рівні. З цією метою вводиться поняття «контролера» – програмної системи для автоматизації процесів централізованого координування, моніторингу, реконфігурування мережі тощо. Водночас постає питання: яким саме чином здійснювати озвучене

координування в масштабах усієї розподіленої системи взаємодіючих пристроїв? У цьому аспекті можна провести аналогію із сервіс-орієнтованою архітектурою (SOA, Service-oriented Architecture), де функціонування розподіленої системи ґрунтується на взаємодії – координуванні – веб-сервісів. Подібні системи прийнято називати композитними веб-сервісами (композиціями веб-сервісів) [6]. Безпосередньо координування, зазвичай, здійснюється централізовано – згідно з моделлю оркестрування [7].

Під оркеструванням розумітимемо централізоване координування компонентів розподіленої програмної системи з метою організації їх узгодженої взаємодії для досягнення бажаного ефекту – виконання заданого потоку робіт для реалізації відповідного бізнес-процесу. Окремий бізнес-процес розглядатимемо у контексті певного сценарію предметної сфери: наприклад, моніторинг та обробка показників датчиків вологості у приміщенні з метою створення сприятливих умов для функціонування і розвитку певної екосистеми тощо. Поняття «оркестрування» пропонується відобразити з контексту веб-сервісів у контекст сервісів, що функціонують на основі технологій поверх програмно-конфігурованих мереж. Дослідження наявних підходів до оркестрування таких сервісів дозволить охарактеризувати актуальний стан відповідних напрацювань і виявити перспективні напрями подальших досліджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для реалізації взаємодії «розумних» пристроїв у глобальному масштабі широко використовується концепція Інтернету речей поверх технології SDN [8], що ґрунтується на імплементації механізму M2M-взаємодії (machine-to-machine):

як поверх типового спектру технологій – TCP/IP, RFID (Radio Frequency Identification) [9] тощо, так і поверх нових технологій, таких як віртуалізація мережевих функцій (NFV, Network Functions Virtualization) – підхід, що полягає у відмежуванні мережевих функцій від фізичних пристроїв, на яких вони виконуються [10]. Концепція NFV реалізується за рахунок оперування мережевими функціями у віртуальному середовищі. Подібний підхід забезпечує гнучкість із позиції оперативності реагування на зміну вимог до мережевих конфігурацій, ресурсів, функцій. Під мережевими ресурсами зазвичай розуміють обчислювальні ресурси, обсяг пам'яті мережевих вузлів, різноманітні веб-додатки та сервіси. Названі ресурси можуть розміщуватися як у «хмарному» середовищі – згідно з концепцією хмарних обчислень (CC, Cloud Computing), так і у перспективному відгалуженні – «туманному» середовищі – за концепцією «туманних» обчислень (FC, Fog Computing). Відповідно до концепції CC мережеві ресурси розміщуються у розподіленому віртуальному середовищі – «хмарі» [11]. Ключові відмінні риси FC як еволюційної гілки від CC такі: територіальна розподіленість, гетерогенність, наявність значної кількості мережевих вузлів, мобільність, пріоритетність бездротового доступу [12]. FC – модель розподілених обчислень, що ґрунтується на розміщенні даних і засобів їх обробки якнайближче до джерела цих даних. Подібна концепція є особливо вагомим саме в контексті Інтернету речей, оскільки таким чином суттєво знижується обсяг даних, що передаються мережею, а також знижуються комунікаційні затримки. Озвучені риси формують сприятливе підґрунтя для розгляду технології FC як опорного базису для реалізації M2M-взаємодії територіально розподілених «розумних» пристроїв. Цей процес описується парадигмою Інтернету речей (IoT, Internet of Things) [13]. Варто враховувати такі аспекти: вимоги до незначного обсягу мережевого трафіку, малий обсяг оперативної пам'яті та незначні обчислювальні можливості пристроїв, обмеженість заряду батарей пристроїв тощо. Дотримання озвучених аспектів можливе як за рахунок залучення різноманітних «легких» протоколів обміну даними, наприклад, MQTT (Message Queue Telemetry Transport) [14], CoAP (Constrained Application Protocol) [15] тощо, так і за рахунок правильним чином організованого координування взаємодією пристроїв. Останній позиції і присвячена наша робота, а саме – аналізу наявних підходів до оркестрування IoT-сервісів, за рахунок якого здійснюється координування пристроїв.

Постановка завдання. У роботі ставиться і вирішується таке завдання: проаналізувати підходи до оркестрування IoT-сервісів. За результатами проведеного аналізу можливо виявити, окреслити й охарактеризувати специфіку застосування проаналізованих підходів; виявити перспективний напрям (напрями) подальших досліджень. IoT-сервіси (далі – сервіси) розглядаються як веб-сервіси, призначені до застосування в IoT-середовищі. Під IoT-системою розуміється сукупність сервісів, що взаємодіють згідно з моделлю оркестрування – шляхом централізованого координування. Як компонент такої системи може розглядатися як окремий атомарний (неподільний) сервіс, так і певна підсистема – композиція сервісів, що взаємодіють за визначеним сценарієм.

Виклад основного матеріалу дослідження. Попередньо зазначимо: композитні IoT-сервіси, зазвичай, охоплюють сенсори, пристрої, обчислювальні ресурси, а також інфраструктуру, яка сполучає названі складники [16]. Більше того, проводячи паралелі між SOA та IoT, варто зазначити, що така ключова концепція SOA, як динамічна композиція сервісів є характерною і для IoT [17]. Застосування сервісів із прив'язкою до певної визначеної предметної сфери має на меті сприяти підвищенню показників захищеності даних і надійності системи загалом – за рахунок того, що кожен окремий потік робіт (work flow) інкапсулюється у межах відповідного композитного сервісу. Оркестрування варто розглядати у контексті налаштування системи відповідно до вимог користувацьких запитів до неї. Проявом подібного оркестрування є певний потік робіт, який протікає за рахунок координування компонентів IoT-системи. Доречно враховувати складність системи з позиції значної кількості залучених мережевих вузлів, взаємодія яких здійснюється за рахунок координування сервісів. Постає низка задач, що потребують вирішення, зокрема одержання результату роботи композитного сервісу із задовільними показниками QoS-характеристик (Quality of Services), наприклад, із часовою затримкою не більше заданого значення. Складності додає і ad-hoc-режим функціонування системи, за якого конфігурація апаратного та / або програмного забезпечення мережі, топологія мережі змінюються динамічно. Оркестрування за ad-hoc-режиму пропонується будувати на основі потоково-орієнтованої парадигми програмування та відповідних методик [18]. Альтернативний підхід – розробка архітектури, що забезпечує динамічне оркестрування IoT-сервісів, побудованих на засадах SOA [19].

Підходи до оркестрування IoT-сервісів розглянемо також із позиції залучення охарактеризованих вище основоположних технологій. Наприклад, ґрунтуючись на технологіях SDN та NFV, було запропоновано застосовувати пограничний SDN/NFV-придатний вузол, на якому мають бути розгорнуті віртуальні середовища для маніпулювання мережевими ресурсами [20]. Такий підхід відповідає принципам концепції FC, що має на меті зменшити обсяг трафіку, який циркулюватиме мережею внаслідок взаємодії сервісів, а також покращити часові затримки, пов'язані з комунікацією. Зазначений підхід також породжує низку нових питань, наприклад, яким чином забезпечити координування пограничних вузлів, як організувати їх взаємодію з позиції інтероперабельності – здатності до взаємодії з позиції підтримки різних протоколів, різної корпоративної належності тощо.

Більше того, оркестрування IoT-сервісів доречно розглядати також і з погляду цілісності даних, які циркулюють між сервісами. Попередньо вже було проведено масштабне дослідження на предмет встановлення та забезпечення цілісності зовнішніх щодо певної підсистеми IoT-системи даних [21]. За результатами цього дослідження відповідні напрацювання було узагальнено та систематизовано. Стверджено, що підходи до перевірки цілісності даних можна умовно згрупувати таким чином: підходи, напрямлені на підтвердження придатності даних до одержання (POR, Proof of Retrievability), та підходи, орієнтовані на підтвердження володіння даними (PDP, Provable Data Possession). Підходи першої групи ґрунтуються на формулюванні суджень стосовно цілісності даних на основі верифікації (перевірки) супутніх метаданих, другої групи – на основі верифікації вибіркового даних. Підходи і першої, і другої груп можна охарактеризувати як такі, що

спрямовані на забезпечення цілісності даних із позиції попередження несанкціонованого доступу до них, підміни даних тощо. Прикладом відповідних рішень є система ContextIoT, яка за рахунок забезпечення контекстної цілісності даних, що циркулюють на рівні потоку керування та потоку даних, сприяє ефективному контролю доступу користувачів до ресурсів IoT-системи [22].

Для забезпечення цілісності даних під час передавання їх від сенсорів до підсистем обробки даних пропонується застосовувати цифрові підписи, які ґрунтуються на використанні еліптичних кривих (ECDSA, Elliptic Curve Digital Signatures) [23]. Це, в свою чергу, супроводжується додатковими споживанням пристроями енергії.

Отже, розглянуті підходи до оркестрування IoT-сервісів суттєво різняться за спрямованістю та характером реалізації. Варто відзначити нестачу підходів, які б адресували оркестрування IoT-сервісів із позиції інтероперабельності, адже саме цей аспект можна охарактеризувати як один із першочергових – враховуючи масштаб IoT-систем з погляду кількості залучених пристроїв, їх територіального розподілу та розмаїття корпоративної належності.

Висновки. Таким чином, у роботі було проведено аналіз підходів до оркестрування IoT-сервісів. За результатами проведеного аналізу встановлено, що названі підходи суттєво різняться як за спрямованістю, так і за характером реалізації. Було виявлено, що переважна більшість розглянутих підходів орієнтована на забезпечення та підтримку цілісності даних, що циркулюють між компонентами IoT-систем. Питання забезпечення узгодженості взаємодії компонентів IoT-систем при оркеструванні IoT-сервісів із позиції інтероперабельності, на нашу думку, потребують подальших досліджень.

Список літератури:

1. Conti M., Dehghantanha A., Franke K., Watson S. Internet of Things security and forensics: Challenges and opportunities. *Future Generation Computer Systems*. 2018. Vol. 78. Part 2. P. 544–546.
2. Sivaraman V., Gharakheili H.H., Vishwanath A., Boreli R., Mehani O. Network-level security and privacy control for smart-home IoT devices. *Internet of Things Communications and Technologies (IoT-CT): Proc. IEEE WiMoB Workshop, Abu Dhabi, United Arab Emirates, Oct. 19–21, 2015*. P. 163–167.
3. Kyriazis D., Varvarigou T., White D., Rossi A., Cooper J. Sustainable smart city IoT applications: Heat and electricity management & Eco-conscious cruise control for public transportation. *A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM): Proc. 2013 IEEE 14th International Symposium, Madrid, Spain, June 4–7, 2013*. P. 1–5.
4. Li S., Xu L.D., Zhao S. 5G Internet of Things: A survey. *Journal of Industrial Information Integration*. 2018. Vol. 10. P. 1–9.
5. Kreutz D. et al. Software-defined networking: a comprehensive survey. *Proceedings of the IEEE*. 2015. Vol. 103. № 1. P. 14–76.
6. Tan W., Fan Y., Ghoneim A., Hossain M.A., Dustdar S. From the Service-Oriented Architecture to the Web API economy. *IEEE Internet Computing*. 2016. Vol. 20. № 4. P. 64–68.

7. Peltz C. Web services orchestration and choreography. *Computer*. 2003. Vol. 36. № 10. P. 46–52.
8. Al-Fuqaha A., Guizani M., Mohammadi M., Aledhari M., Ayyash M. Internet of Things: A survey on enabling technologies protocols and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2015. Vol. 17. № 4. P. 2347–2376.
9. Landt J. The history of RFID. *IEEE Potentials*. 2005. Vol. 24. № 4. P. 8–11.
10. Mijumbi R. et al. Network function virtualization: state-of-the-art and research challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2016. Vol. 18. № 1. P. 236–262.
11. Armbrust M. A view of cloud computing. *Communications of the ACM*. 2010. Vol. 53. № 4. P. 50–58.
12. Bonomi F., Milito R., Zhu J., Addepalli S. Fog computing and its role in the Internet of Things. *MCC workshop on Mobile cloud computing: proceedings of the first edition, Helsinki, Finland, August 13–17, 2012*. P. 13–16.
13. Atzori L., Iera A., Morabito G. The Internet of Things: a survey. *Computer Networks*. 2010. Vol. 54. № 15. P. 2787–2805.
14. Singh M., Rajan M.A., Shivraj V.L., Balamuralidhar P. Secure MQTT for Internet of Things (IoT). *Communication Systems and Network Technologies: Proceedings 2015 Fifth International Conference, Gwalior, India, April 4–6, 2015*. P. 746–751.
15. Rahman R.A., Shah B. Security analysis of IoT protocols: A focus in CoAP. *Big Data and Smart City (ICBDSC): 2016 3rd MEC International Conference, Muscat, Oman, March 15–16, 2016*. P. 1–7.
16. Wen Z., Yang R., Garraghan P., Lin T., Xu J., Rovatsos M. Fog orchestration for internet of things services. *IEEE Internet Computing*. 2017. Vol. 21. № 2. P. 16–24.
17. Miorandi D., Sicari S., De Pellegrini F., Chlamtac I. Internet of things: vision, applications and research challenges. *Ad Hoc Networks*. 2012. Vol. 10. № 7. P. 1497–1516.
18. Kortuem G., Kawsar F., Sundramoorthy V., Fitton D. Smart objects as building blocks for the internet of things. *IEEE Internet Computing*. 2010. Vol. 14. № 1. P. 44–51.
19. Guinard D., Trifa V., Karnouskos S., Spiess P., Savio D. Interacting with the SOA-based Internet of Things: discovery, query, selection, and on-demand provisioning of web services. *IEEE Transactions on Services Computing*. 2010. Vol. 3. № 3. P. 223–235.
20. Vilalta R. et al. End-to-end SDN orchestration of IoT services using an SDN/NFV-enabled edge node. *Optical Fiber Communication Conference: proceedings, Anaheim, California United States, March 20–22, 2016*.
21. Liu C., Yang C., Zhang X., Chen J. External integrity verification for outsourced big data in cloud and IoT: A big picture. *Future Generation Computer Systems*. 2015. Vol. 49. P. 58–67.
22. Jia Y. J. et al. Context IoT: Towards providing contextual integrity to appified IoT platforms. *Network and Distributed System Security: proceedings of 24th Annual Symposium, NDSS 2017, San Diego, California, USA, February 26–March 1, 2017*. P. 1–15.
23. Bauer J., Staudemeyer R.C., Pöhls H.C., Fragkiadakis A. ECDSA on things: IoT integrity protection in practise. *Information and Communications Security: proceedings of 18th International Conference, ICICS 2016, Singapore, Singapore, November 29 – December 2, 2016*. P. 3–17.

АНАЛІЗ ПОДХОДІВ К ОРКЕСТРОВКЕ ІОТ-СЕРВІСІВ

В статті досліджуються підходи к оркестровке ІоТ-сервісів. Розглядаються технології, на яких ґрунтується функціонування ІоТ-систем. Характеризується теперішнє стан і розповсюдженість Інтернету речей. Оркестровка ІоТ-сервісів розглядається як основопологаюча складова організації узгодженого взаємодія компонентів ІоТ-системи шляхом централізованого координування. Підходи к оркестровке аналізуються з позиції специфіки застосування.

Ключові слова: ІоТ, SDN, SOA, координування, оркестровка, програмна система, сервіс.

ANALYSIS OF THE APPROACHES TO IOT-SERVICES ORCHESTRATION

The scientific article is devoted to investigation of the approaches to IoT-services orchestration. The core technologies the functioning of IoT-systems is built upon are considered. Current state of the IoT actuality and dissemination is characterized. The orchestration of IoT-services is considered as the main building block of providing the consistent communication between the components of IoT system by way of centralized coordination. The approaches to orchestration are analyzed from the applicability specifics perspective.

Key words: IoT, SDN, SOA, coordination, orchestration, software system, service.

УДК 681.5

Топалов А.М.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Кондратенко Ю.П.

Чорноморський національний університет імені Петра Могили

Козлов О.В.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

СИНТЕЗ І ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПЛАВУЧОГО ДОКУ ДЛЯ ЗАДАЧ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

Стаття описує розроблену авторами узагальнену математичну модель плавучого доку для задач автоматичного керування. Запропонована модель складається з математичного опису головних елементів баластної системи і корпусу плавучого доку у формі диференціальних рівнянь. На основі розробленої математичної моделі сформована структура системи автоматичного керування осадкою плавучого доку. Отримані результати комп'ютерного моделювання у вигляді перехідних процесів занурення та спливання плавучого доку з судном і без судна. Аналіз результатів моделювання показує, що розроблена авторами математична модель має високу адекватність реальним процесам і достатньою мірою відображає основні властивості реального плавучого доку як складного об'єкта керування.

Ключові слова: плавучий док, докові операції, математична модель, система автоматичного керування, баластна система.

Постановка проблеми. Плавучі доки, як суднопідійомні споруди, порівняно із сухими доками мають меншу первісну вартість і термін будівництва, а також значно меншу тривалість докових операцій. Плавучі доки більш мобільні, можуть використовуватися у відриві від судноремонтної бази, дозволяють простіше проводити модернізацію [1–3].

Спуск чи підняття судна плавучим доком є складним відповідальним процесом. Зазвичай, під час виконання докових операцій власна вага судна передається через кільблоки палубі понтона, внаслідок чого можуть відбутися нахили та порушення міцності. Тому прогин, перегин і кути нахилу (крен і диферент) плавучого доку повинні знаходитися в межах допустимого діапазону, щоб забезпечити безпеку експлуатації суднопідійомної споруди.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У науково-технічній літературі є певна кількість публікацій стосовно автоматизації та математичного моделювання морських об'єктів. Математичний опис різноманітних морських плавучих об'єктів і суден докладно розглянуто в роботах [4; 7–14]. Зокрема, в [11] наведено математичне моделювання руху морських об'єктів, розглядаються задачі статичної та динамічної. У роботі [4], в свою чергу, описано застосування імітаційного

моделювання безпосередньо під час дослідження систем керування доковими операціями плавучих доків. У процесі дослідження динаміки плавучих конструкцій слід відзначити різні постановки задач, що використовуються різними дослідниками у цій сфері. Так, в [11] розглядається задача динаміки плавучої споруди за малих коливань. У роботі [12] наведена задача нелінійної динаміки за кінцевих коливань споруди і постійних гідродинамічних характеристик. У свою чергу, задача нелінійної динаміки за кінцевих коливань споруди зі змінними гідродинамічними характеристиками розглянута в [13]. Також роботи [11; 14] присвячені вирішенню задачі динаміки споруди з урахуванням динаміки якірних пристроїв.

Кількість публікацій стосовно моделювання плавучих доків різного призначення в науковій літературі обмежена, а задачі розробки адекватних математичних моделей для синтезу та дослідження систем автоматичного керування доковими операціями плавучих доків нині залишаються предметом наукових досліджень.

Постановка завдання. Складність сучасних плавучих доків як технологічних об'єктів зумовлює необхідність розробки спеціалізованих систем керування їх доковими операціями в автоматичних режимах. Для дослідження ефективності таких систем автоматичного керування на стадії їх

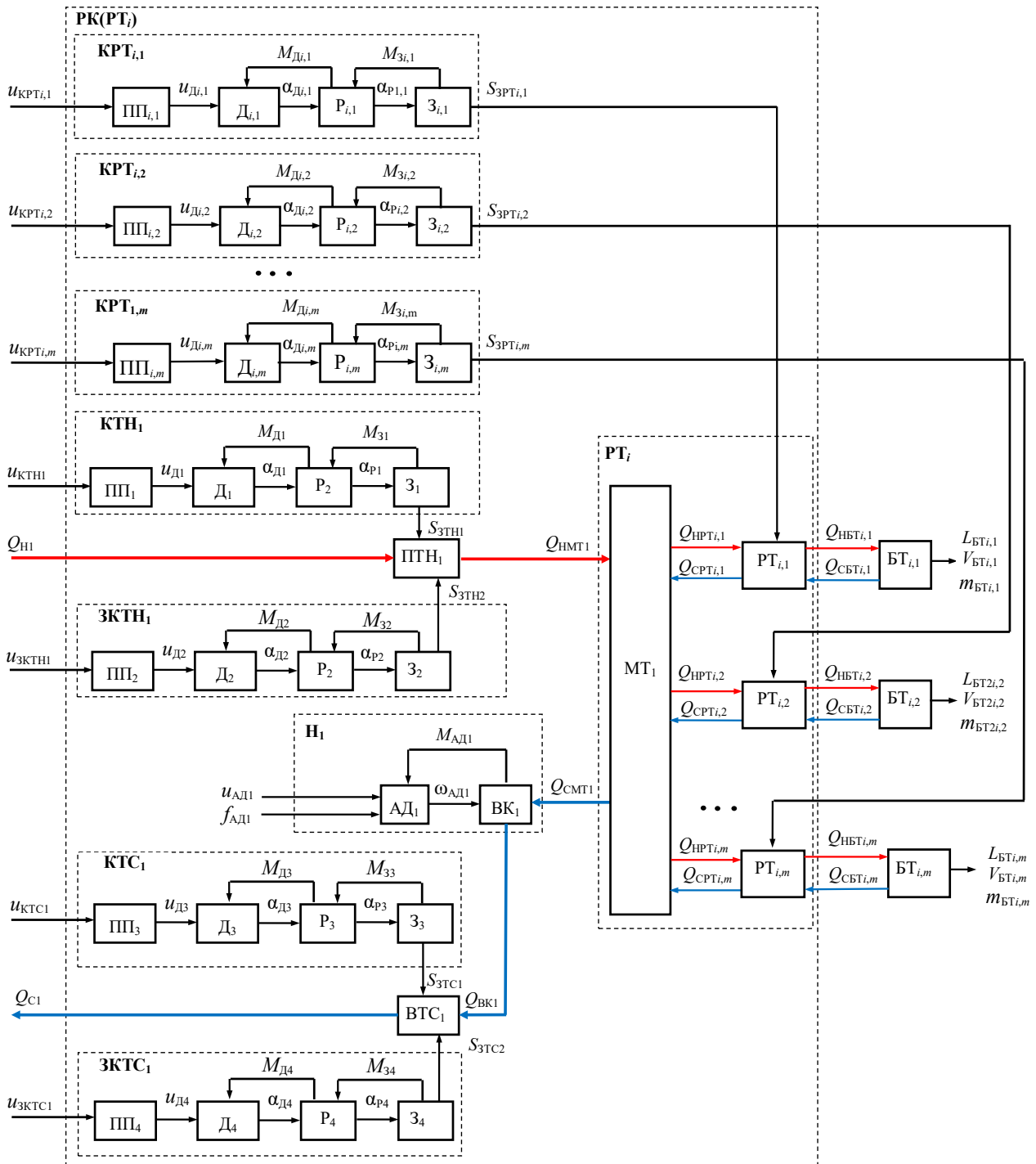


Рис. 1. Функціональна структура фрагмента баластної системи в рамках *i*-ї розподільної коробки (червона лінія – напрямок руху рідини під час наповнення баластних танків, синя лінія – напрямок руху рідини під час спустошення баластних танків)

проектування доцільно використовувати методи математичного та комп'ютерного моделювання [12; 13]. Аналітичне математичне та комп'ютерне моделювання порівняно з експериментальними та іншими підходами є ефективним інструментом із низькою вартістю. Метою статті є розробка

математичної моделі плавучого доку як складного об'єкта керування та дослідження процесів проведення його докових операцій під час занурення та спливання з судном і без судна.

Виклад основного матеріалу дослідження. Докові операції плавучого доку є технологічними

процесами занурення та спливання для обслуговування судна. Підняття судна плавучим доком здійснюється в такій послідовності. Док, приймаючи баластну воду через клінкети в баластні відсіки понтона і веж, занурюється на глибину, достатню для установки судна. Після цього (а) судно заводиться над опорними пристроями стапель-палуби, (б) з баластних відсіків насосами відкачується вода та (в) проводиться посадка судна на докові опори. Процес підняття судна завершується остаточним спливанням дока.

Отже, формуючи узагальнену математичну модель плавучого доку як складного об'єкта керування, доцільно здійснити розробку математичних моделей: баластних танків, трубопроводу, приводів клінкетів і корпусу плавучого доку як об'єкта керування осадкою.

Баластна система відіграє найголовнішу роль, оскільки вона призначена для забезпечення занурення та спливання плавучого доку на певне задане значення рівня його осадки, що є ключовим керованим параметром під час проведення докових операцій плавучого доку.

Баластна система плавучого доку складається з баластних танків, трубопроводів і розподільних коробок. Кожна розподільна коробка обслуговує певну кількість баластних танків і включає один прийомний трубопровід для технологічного процесу наповнення баласту, насос та один відливний трубопровід для технологічного процесу спустошення рідкого баласту. Від розподільної коробки в кожний баластний танк понтона виведені трубопровідні відведення складників розгалуженого трубопроводу. Трубопровідна арматура зазвичай представлена у вигляді автоматизованих клінкетів, що розміщуються на прийомному і відливному трубопроводах і на кожній гілці розгалуженого трубопроводу. Самі розподільні коробки з'єднані між собою за кільцевою або лінійною схемами загальним трубопроводом із клінкетами.

Число розподільних коробок лінійної або кільцевої схем визначається залежно від заданого часу занурення і спливання плавучого доку. Функціональна структура фрагмента баластної системи для i -ї розподільної коробки наведена на рис. 1, де $i = 1 \dots n$.

На рис. 1 прийнято такі позначення: РК(РТ_{*i*}) – розподільна коробка з розгалуженим трубопроводом; БТ_{*i,1*}, БТ_{*i,2*}, ..., БТ_{*i,m*} – баластні танки; Н₁ – насос; ПТН₁ – прийомний трубопровід наповнення; ВТС₁ – відливний трубопровід спустошення; МТ₁ – магістральний трубопровід; РТ_{*i*} – розгалужений трубопровід; РТ_{*i,1*}, РТ_{*i,2*}, ..., РТ_{*i,m*} – відве-

дення (гілки) РТ_{*i*}; КТН₁ – клінкет ПТН₁; КТС₁ – клінкет ВТС₁; ЗКТН₁ – запірний клінкет ПТН₁;

КРТ_{*i,1*}, КРТ_{*i,2*}, ..., КРТ_{*i,m*} – клінкети складників РТ_{*i*}; ПП, Д, Р, З – перетворювач потужності, привідний двигун, редуктор і затвор, що входять до складу кожного з клінкетів КТН₁, КТС₁, ЗКТН₁, ЗКТС₁, КРТ_{*i,1*}, КРТ_{*i,2*}, ..., КРТ_{*i,m*}; АД₁, ВН₁ – асинхронний двигун і відцентрове колесо Н₁; $u_{КТН1}$, $u_{КТС1}$, $u_{ЗКТН1}$, $u_{ЗКТС1}$, $u_{КРТi,1}$, $u_{КРТi,2}$, ..., $u_{КРТi,m}$ – сигнали керування КТН₁, КТС₁, ЗКТН₁, ЗКТС₁, КРТ_{*i,1*}, КРТ_{*i,2*}, ..., КРТ_{*i,m*}; $u_{Д1}$, $u_{Д2}$, $u_{Д3}$, $u_{Д4}$, $u_{Дi,1}$, $u_{Дi,2}$, ..., $u_{Дi,m}$ – значення напруги керування Д₁, Д₂, Д₃, Д₄, Д_{*i,1*}, Д_{*i,2*}, ..., Д_{*i,m*}; $\alpha_{Д1}$, $\alpha_{Д2}$, $\alpha_{Д3}$, $\alpha_{Д4}$, $\alpha_{Дi,1}$, $\alpha_{Дi,2}$, ..., $\alpha_{Дi,m}$ – значення кутів повороту валів Д₁, Д₂, Д₃, Д₄, Д_{*i,1*}, Д_{*i,2*}, ..., Д_{*i,m*}; $\alpha_{З1}$, $\alpha_{З2}$, $\alpha_{З3}$, $\alpha_{З4}$, $\alpha_{Зi,1}$, $\alpha_{Зi,2}$, ..., $\alpha_{Зi,m}$ – значення кутів повороту вихідних валів Р₁, Р₂, Р₃, Р₄, Р_{*i,1*}, Р_{*i,2*}, ..., Р_{*i,m*}; $S_{ЗТН1}$, $S_{ЗТС1}$, $S_{ЗТН2}$, $S_{ЗТС2}$, $S_{ЗРТi,1}$, $S_{ЗРТi,2}$, ..., $S_{ЗРТi,m}$ – площини задіяних поверхонь затворів З₁, З₂, З₃, З₄, З_{*i,1*}, З_{*i,2*}, ..., З_{*i,m*}; $M_{Д1}$, $M_{Д2}$, $M_{Д3}$, $M_{Д4}$, $M_{i,1}$, $M_{i,2}$, ..., $M_{i,m}$ – значення моментів навантаження Д₁, Д₂, Д₃, Д₄, Д_{*i,1*}, Д_{*i,2*}, ..., Д_{*i,m*}; $M_{З1}$, $M_{З2}$, $M_{З3}$, $M_{З4}$, $M_{Зi,1}$, $M_{Зi,2}$, ..., $M_{Зi,m}$ – значення моментів навантаження від З₁, З₂, З₃, З₄, З_{*i,1*}, З_{*i,2*}, ..., З_{*i,m*}; $u_{АД1}$, $f_{АД1}$ – значення напруги та частоти керування Н₁, відповідно; $\omega_{АД1}$ – значення кутової швидкості обертання АД₁; $M_{АД1}$ – значення моменту навантаження АД₁; $Q_{Н1}$ – витрата баластної рідини під час наповнення на вході РК(РТ_{*i*}); $Q_{С1}$ – витрата баластної рідини під час спустошення на виході розподільної коробки; $Q_{НМТ1}$ – витрата баластної рідини під час наповнення на вході МТ₁; $Q_{СМТ1}$ – витрата баластної рідини під час спустошення на виході МТ₁; $Q_{ВК1}$ – витрата баластної рідини під час спустошення на виході ВК₁; $Q_{НРТi,1}$, $Q_{НРТi,2}$, ..., $Q_{НРТi,m}$ – витрата баластної рідини під час наповнення на вході РТ_{*i,1*}, РТ_{*i,2*}, ..., РТ_{*i,m*}; $Q_{СРТi,1}$, $Q_{СРТi,2}$, ..., $Q_{СРТi,m}$ – витрата баластної рідини під час спустошення на виході РТ_{*i,1*}, РТ_{*i,2*}, ..., РТ_{*i,m*}; $Q_{НБТi,1}$, $Q_{НБТi,2}$, ..., $Q_{НБТi,m}$ – витрата баластної рідини під час наповнення на вході БТ_{*i,1*}, БТ_{*i,2*}, ..., БТ_{*i,m*}; $Q_{СБТi,1}$, $Q_{СБТi,2}$, ..., $Q_{СБТi,m}$ – витрата баластної рідини під час спустошення на виході БТ_{*i,1*}, БТ_{*i,2*}, ..., БТ_{*i,m*}; L , V , m – рівень, об'єм і маса баластної рідини кожного БТ_{*i,1*}, БТ_{*i,2*}, ..., БТ_{*i,m*}.

Керування поточними значеннями параметрів L , V , m баласту здійснюється за допомогою наповнення або спустошення баластних танків.

Для моделювання трубопровідної ділянки наповнення чи спустошення рідкого баласту необхідно враховувати геометричні характеристики трубопроводу і регулюючих клінкетів. Стосовно трубопроводу необхідно мати такі дані: діаметри проміжних труб, довжини прямих труб, число і характер місцевих опорів (звуження, розширення,

поворот) для підрахунку сумарного значення коефіцієнтів втрат у ділянках наповнення і спустошення. Для клінкетів необхідно мати такі дані: прохідний перетин у заданому режимі й умовну пропускну здатність кожного клінкету.

Фізичні процеси в трубопроводі незалежно від типу операцій (наповнення чи спустошення) описуються рівнянням збереження кількості руху (баланс сил).

Розіберемо складний трубопровід баластної системи на ділянки. Введемо допущення, що трубопровідна ділянка є об'єктом із зосередженими параметрами. Відповідно баланс сил буде таким:

$$m \frac{dv}{dt} = F_{ТЖ} + F_{PE} - F_{PA} - F_T \quad (1),$$

де m – маса рідини в зосередженому об'ємі; v – швидкість рідини; F_{PE} , F_{PA} – сила тиску на вході і виході; $F_{ТЖ} = mgsin\alpha$ – сила тяжіння; α – кут нахилу трубопроводу до горизонту; F_T – сила тертя; g – прискорення вільного падіння.

Якщо знехтувати силою тяжіння в рівнянні (1) і перейти від балансу сил до балансу тисків, то можна отримати таку математичну модель ділянки трубопроводу на основі прирощень (різниць) [15]:

$$\begin{cases} \frac{L}{S_{TP}} \frac{dK}{dt} = \Delta P_E + \Delta \Delta P_H - \Delta \Delta P_{PK} - \Delta \Delta P_{TP} - \Delta P_A; \\ \Delta P_H = f(\Delta K, \Delta n); \\ \Delta P_{PK} = k_{PK} \left(\frac{K}{S_{PK}} \right)^2; \\ \Delta P_{TP} = k_{TP} K^2, \end{cases} \quad (2),$$

де ΔP_H – перепад тиску на насосі; L – сумарна довжина прямих частин ділянки трубопроводу; ΔP_E , ΔP_A – тиск на вході і виході ділянки трубопроводу; S_{TP} – перетин трубопроводу; S_{PK} – перетин трубопроводу в регулюючому клінкеті; ΔP_{PK} – перепад тиску на регулюючому клінкеті; ΔP_{TP} – втрати тиску в трубопроводі; K – масова витрата рідини; n – частота обертів відцентрового колеса насоса; k_{PK} – коефіцієнт запірнього клінкету, що залежить від витрати і перетину клінкету; k_{TP} – коефіцієнт трубопроводу, що залежить від місцевих опорів і тертя.

В окремих випадках у рівнянні (2) перепад тиску на насосі може бути відсутнім. Насос може працювати за постійного числа обертів (технологічний процес спустошення баластних танків) або може зовсім бути відсутнім (технологічний процес наповнення баластних танків самопливом).

Як приводи трубопровідної арматури доцільно використовувати вентильні електродвигуни, які також називають безколекторними двигунами постійного струму. Порівняно з асинхронними

двигунами вони мають значно менший час розгону та гальмування, більший питомий момент, а також більш широкий діапазон регулювання швидкості обертання за постійної потужності.

Для опису приводу автоматизованого клінкету скористаємося такою системою рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{dI_Y}{dt} = \frac{U_Y - R_Y I_Y - k_E \omega_D}{L_Y}; \\ \frac{d\omega_D}{dt} = \frac{k_M I_Y - M_H}{J_\Sigma}, \end{cases} \quad (3),$$

де I_Y – струм у якірному ланцюзі; U_Y – напруга джерела живлення, R_Y – активний опір якоря; L_Y – індуктивність якірної обмотки; J_Σ – приведений момент інерції до ротора двигуна; k_M – коефіцієнт пропорційності; k_E – коефіцієнт пропорційності постійної електрорушійної сили двигуна; M_H – момент навантаження; ω_D – кутова швидкість обертання валу двигуна.

Для опису баластного танку розглянемо його витрати притоку і стоку (K_e , K_a). Зміни кількості рідини в резервуарі зв'язані такою залежністю:

$$\frac{dm}{dt} = \Delta K_e - \Delta K_a \quad (4)$$

Перерахунок зміни маси в зміні об'єму ΔV проводиться за допомогою густини $\frac{dm}{dt} = \rho \frac{dV}{dt}$, а рівняння (4) можна представити у вигляді:

$$\rho S \frac{d\Delta H}{dt} = \Delta K_e - \Delta K_a \quad (5),$$

де ΔH – приріст рівня рідини в баластному танку; S – площа дна баластного танку; ρ – густина рідини.

Надалі сформуємо математичну модель корпусу плавучого доку. Внаслідок розподілення маси рідини в баластних танках плавучий док зміщується у вертикальному положенні відносно поверхні води та, відповідно, має певну плавучість за різної осадки.

Плавучість зумовлена дією на плавучий док сил власної ваги разом із вагою судна та тиску води. Рівнодійна сили тяжіння дорівнює вазі плавучого доку або сумарній вазі плавучого доку і судна, що докується, та проходить через центр тяжіння, а також спрямована вертикально вниз. Рівнодійна вертикальних складників сил тиску води називається силою підтримки. Згідно із законом Архімеда вона спрямована вертикально вгору, проходить через центр тяжіння підводних частин плавучого доку і судна та називається центром величини. Сила підтримки дорівнює вазі води в об'ємі підводних частин плавучого доку та судна і часто враховується у вигляді масової водотоннажності.

Процеси нерівномірного вертикального руху плавучого доку можна описати такою системою рівнянь:

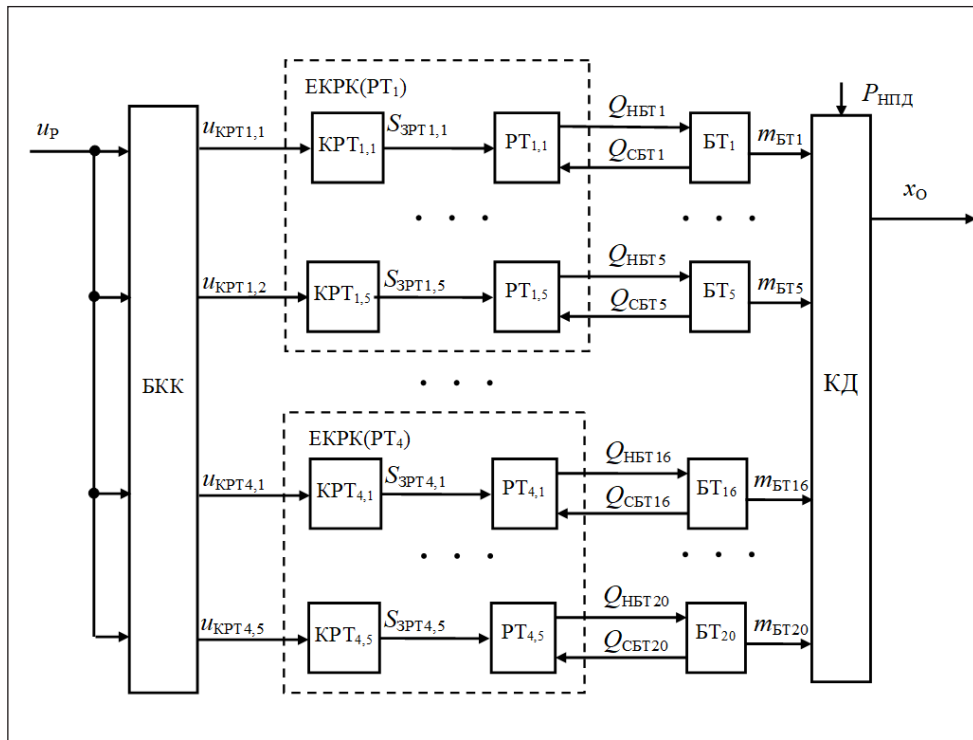


Рис. 2. Функціональна структура узагальненої системи управління осадкою плавучого доку

$$\left\{ \begin{array}{l} (m_{пд\sigma} + \lambda) \frac{d^2 T}{dt^2} = (P_{пд} + P_{нпд}) - R_{\Phi} - R_T - D_{впд}; \\ P_{пд} = m_{пд\sigma} g; \\ P_{нпд} = m_c g - k_c (T_{пд} - H_{пд}); \\ D_{впд} = k_{впд} T_{пд}; \\ R_T = k_T \left(\frac{dT_{пд}}{dt} \right)^2; \\ R_{\Phi} = k_{\Phi} \left(\frac{dT_{пд}}{dt} \right)^2, \end{array} \right. \quad (6)$$

де λ – прикріплена маса плавучого доку; $m_{пд\sigma}$ – загальна маса плавучого доку, яка складається з маси корпусу $m_{пд}$ плавучого доку та маси баластної води $m_{БТ\sigma}$ всіх баластних танків; $T_{пд}$ – осадка плавучого доку; R_{Φ} – сила опору форми; R_T – сила в'язкого тертя; $D_{впд}$ – сила виштовхування плавучого доку; $P_{пд}$ – сила тяжіння (вага плавучого доку); $P_{нпд}$ – сила навантаження від судна, що докується; m_c – маса судна; $H_{пд}$ – висота понтона плавучого доку; k_c – коефіцієнт судна, який залежить від осадки плавучого доку; $k_{впд}$ – коефіцієнт плавучого доку, що залежить від осадки плавучого доку; k_T – коефіцієнт тертя, який залежить від швидкості плавучого доку; k_{Φ} – коефіцієнт форми, що залежить від швидкості плавучого доку.

В окремому випадку деякими членами системи рівнянь (6) можна знехтувати. Якщо розглядати процес занурення та спливання як квазістатичний,

то рух плавучого доку можна вважати рівномірним, і, відповідно, прикріплена маса λ має несуттєвий вплив. Крім того, швидкість занурення та спливання плавучого доку надзвичайно низька, а отже, сила опору форми R_{Φ} і сила в'язкого тертя R_T будуть також несуттєвими.

Таким чином, рівняння (2), (3), (4), (6) утворюють динамічну математичну модель плавучого доку як складного об'єкта керування осадкою.

Розглянемо функціональну структуру узагальненої системи управління осадкою плавучого доку, що має баластну систему з 4 розподільними коробками і 20 баластними танками (рис. 2), де приймаються такі позначення: ЕКРК(РТ₁), ... ЕКРК(РТ₄) – елементи керування розподільних коробок із розгалуженими трубопроводами; x_0 – реальне значення осадки; БКК – блок керування клінкетами; КД – корпус плавучого доку; $P_{нпд}$ – сила навантаження плавучого доку від судна; КРТ_{1,1}, ..., КРТ_{4,5} – клінкети складників розгалуженого трубопроводу РТ_{1,1}, ..., РТ_{4,5}; u_p – сигнал керування осадкою; $u_{КРТ1,1}, \dots, u_{КРТ4,5}$ – сигнали керування КРТ_{1,1}, \dots, КРТ_{4,5}}; $Q_{НБТ1}, \dots, Q_{НБТ20}$ – витрати баластної рідини під час наповнення на входах БТ_{1}, \dots, БТ_{20}}; $Q_{СБТ1}, \dots, Q_{СБТ20}$ – витрати баластної рідини під час спустошення на виходах БТ_{1}, \dots, БТ_{20}}; $S_{ЗРТ1,1}, \dots, S_{ЗРТ4,1}$ – площини задіяних поверхонь затворів у трубопроводах РТ_{1,1}, \dots}}}}

$PT_{4,5}$; m_{BT1}, \dots, m_{BT20} – маса баластної рідини кожного БТ₁, ..., БТ₂₀.

Незалежно від докової операції занурення або спливання регулювання осадки виконується за допомогою дроселювання клінкетами в РТ, а головним сигналом управління є сигнал регулювання осадки u_p . Сигнал регулювання осадки u_p (0...10 В) прямо пропорційно залежить від сумарної витрати Q_{Σ} . Сигнали керування $u_{KPT1,1}, \dots, u_{KPT4,5}$ (0...10 В) клінкетами КРТ_{1,1}, ..., КРТ_{4,5} формуються в БКК залежно від рівномірного наповнення або спустошення різних баластних танків. Відповідно БКК містить для кожної складової частини розгалуженого трубопроводу коефіцієнти пропорційності між u_p та кожним $u_{KPT1,1}, \dots, u_{KPT4,5}$, що дозволяє регулювати $S_{зРТ1,1}, \dots, S_{зРТ4,5}$, створюючи необхідні витрати $Q_{НБТ1}, \dots, Q_{НБТ20}$ для кожного баластного танку. Крім того, БКК автоматично закриває і відкриває групу КРТ складників РТ для баластних танків у понтоні за певної осадки (осадки плавучого доку за рівня баластної води, що дорівнює рівню висоти баластних танків понтону) під час занурення та спливання плавучого доку відповідно.

Таким чином, залежно від докової операції занурення чи спливання плавучого доку, яка визначає напрямок руху рідкого баласту, подається додатний сигнал u_p (10 В), який відповідає максимальній витраті в кожній складовій частині розгалуженого трубопроводу. Відповідно, для зведення витрати до нуля в певний момент часу сигнал регулювання u_p поступово зменшується до нуля В.

За допомогою розробленої математичної моделі плавучого доку проведено комп'ютерне моделювання основних докових операцій плавучого доку, а саме: занурення без судна, спливання без судна, занурення з судном, спливання без судна. Моделювання перехідних процесів проводилося для плавучого доку середнього класу вантажопідйомністю 8 500 т, що має такі параметри: ширина $B = 32,4$ м; довжина $L = 139,5$ м; ширина кожної вежі $B_B = 3,13$ м; висота понтона $h_{П} = 4,6$ м; висота плавучого доку $h = 12,8$ м; осадка плавучого доку без судна $T = 2$ м; кількість водяного баласту $m_B = 18\,500$ т. Причому максимальна маса доку (масова водотоннажність) з усім обладнанням складає $P_{ПД} = 9\,253$ т. Також баластна система плавучого доку має чотири розподільні коробки, 20 баластних танків та укомплектована баластними насосами продуктивністю 3 750 м³/год. У свою чергу, насоси працюють із постійною частотою обертів коліс відцентрового типу. При-

ймні трубопроводи мають діаметр $d_1 = 750$ мм, розгалужений трубопровід баластних танків має діаметр $d_2 = 350$ мм. Всі клінкети мають мотор-редуктори 2–10 кВт і виступають у ролі регуляторів витрати [1]. Крім того, моделювання перехідних процесів проводилося для плоскобортного судна, що має такі параметри: ширина $B = 22,54$ м; довжина $L = 130$ м; вага $P_C = 8\,400$ т.

Результати комп'ютерного моделювання у вигляді графіків перехідних процесів занурення та спливання плавучого доку наведені на рис. 3, де прийнято такі позначення: t_{31} – час занурення понтона плавучого доку з судном; t_{32} – час занурення понтона плавучого доку без судна; t_{33} – час початку входу розміщеного на кільблоках, судна у воду; t_{34} – час занурення плавучого доку до осадки 8,6 м; t_{C1} – час спливання понтону плавучого доку з судном; t_{C2} – час спливання понтону плавучого доку без судна; t_{C3} – час виходу розміщеного на кільблоках судна за межі води; t_{C4} – час спливання плавучого доку до осадки 3,83 м з судном; t_{C4} – час спливання плавучого доку до осадки 2 м без судна.

Із графіків перехідних процесів занурення (рис. 3, а) видно, що початкова осадка плавучого доку без баласту в усіх баластних танках без судна складає 2 м, а з судном – 3,83 м. Процес занурення плавучого доку проходить повільно доти, поки понтон не зануриться у воду ($H_{ПД} = 4,6$ м), час занурення понтону для плавучого доку з судном $t_{31} = 980$ с, а без судна $t_{32} = 2\,900$ с. Після занурення понтону процес пришвидшується, і вже в момент часу $t_{33} = 5\,900$ с плавучий док (з судном і без судна) досягає осадки у 8,6 м. Процес занурення плавучого доку супроводжується зміною сигналу регулювання u_p , що в процесі призводить до збільшення маси рідкого баласту до 15 700 кг у плавучому доці.

Із графіків перехідного процесу спливання (рис. 3, б) видно, що початкова осадка плавучого доку складає 8,6 м. Процеси спливання плавучого доку з судном і без суттєво відрізняються: час спливання до рівня понтону без судна $t_{C2} = 1\,100$ с, а з судном $t_{C3} = 3\,300$ с. Після спливання плавучого доку до рівня понтона процеси спливання в обох випадках значно сповільнюються. Процес спливання плавучого доку супроводжується зміною сигналу регулювання u_p , що в процесі призводить до зменшення маси рідкого баласту (близько до 0) в плавучому доці.

Адекватність математичної моделі підтверджується результатами комп'ютерного моделювання (рис. 3 а, б), оскільки осадка плавучого

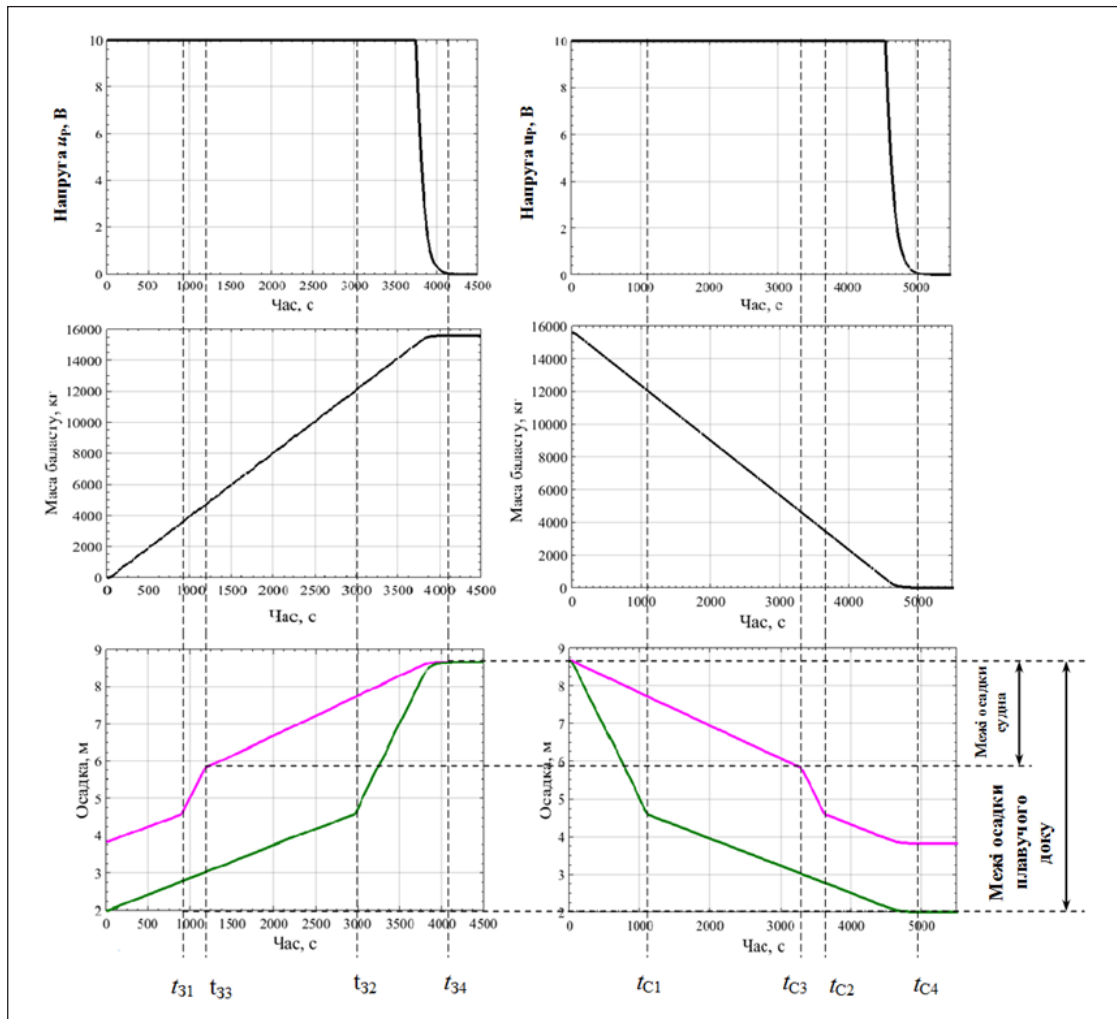


Рис. 3. Перехідні процеси (фіолетова лінія – з судном, зелена лінія – без судна): а) занурення плавучого доку; б) спливання плавучого доку

доку порожнем без судна і з судном становить 2 м і 3,83 м відповідно, що відповідає паспортним даним. У разі збільшення баласту до 15 700 кг осадка плавучого доку з судном і без судна збігаються на рівні 8,6 м, що відповідає осадці судна в 2,81 м (ватерлінія судна). У разі осадки судна в 2,81 м вага і виштовхувальна сила судна рівні між собою, а отже, дія судна на плавучий док стає несуттєвою, що призводить до однакової осадки плавучого доку.

Таким чином, результати комп'ютерного моделювання перехідних процесів (рис. 3) показують, що розроблена авторами математична модель є адекватною і достатньою мірою відображає реальну поведінку плавучого доку під час занурення та спливання з судном і без судна.

Висновки. У роботі представлений синтез математичної моделі плавучого доку як складного об'єкта керування та проведено дослі-

дження його докових операцій занурення та спливання з судном і без судна. Математичний опис у формі диференціальних рівнянь виконано для таких елементів: приводів клінетів, трубопроводів, баластних танків, корпусу плавучого доку. Сформована математична модель плавучого доку дає змогу досліджувати поведінку цього складного об'єкта керування в усталеному та перехідному режимах, зокрема розраховувати поточне значення його осадки під час моделювання таких докових операцій: занурення без судна, спливання без судна, занурення з судном, спливання з судном. Аналіз отриманих результатів комп'ютерного моделювання у вигляді графіків перехідних процесів занурення та спливання плавучого доку показує, що розроблена авторами математична модель має високу адекватність, достатньою мірою відображає основні властивості реального плавучого доку як

складного об'єкта керування з суттєво нелінійними характеристиками. Таким чином, синтезовану математичну модель доцільно застосовувати в подальших дослідженнях для проектування та налагодження високоефективних систем автоматичного керування плавучими доками.

Список літератури:

1. Павлов П.Я., Рогулин А.Н. Эффективность эксплуатации доков. Москва: Транспорт, 1987. 176 с.
2. Kondratenko Y.P. Synthesis and Optimization of Fuzzy Control Systems for Floating Dock's Docking Operations. *Fuzzy Control Systems: Design, Analysis and Performance Evaluation. Series: Computer Science, Technology and Applications*: chapter in the book / Y.P. Kondratenko, O.V. Kozlov, O.V. Korobko, A.M. Topalov; Wendy Santos (Ed). New York: NOVA Science Publishers, 2017. P. 141–214.
3. Рашковський О.С., Щедролюсов О.В., Єрмаков Д.В., Узлов О.М. Проектування, технологія і організація побудови композитних плавучих доків. Херсон: Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, Херсонська філія, 2015. 320 с.
4. Zhukov Yu. Polymetric Sensing in Intelligent Systems. *Advances in Intelligent Robotics and Collaborative Automation*: chapter in the book / Yu. Zhukov, B. Gordeev, A. Zivenko, A. Nakonechniy. River Publishers, 2015. P. 211–234.
5. Вахарловский Г.А., Кучерявенко П.Ф., Бузык В.Ф. Современные доковые сооружения для крупных и средних судов. Ленинград, 1968. 251 с.
6. Григорьев В.И., Марченко Д.В., Симаков Г.В., Смелов В.А. Судоспускные и судоподъемные сооружения. Ленинград: Стройиздат, 1976. 174 с.
7. Спосіб автоматичного контролю осадки, крену, деференту та стрілки прогину / перегину плавспоруди з бездротовою передачею даних: пат. 117729 Україна: МПК G21C 17/035 (2006.01), G01F 23/22 (2006.01), u201613290; заявл. 26.12.2016; опубл. 10.07.2017, Бюл. № 13. 11 с.
8. Топалов А.М., Кондратенко Ю.П., Козлов О.В. Комп'ютеризована система для дистанційної діагностики датчиків рівня баластного комплексу плавучого доку. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки, Інформатика, обчислювальна техніка та автоматизація*. 2018. Т. 29 (68). Ч. 2 № 4. С. 19–25.
9. Topalov A., Kozlov O., Kondratenko Y. Control Processes of Floating Docks Based on SCADA Systems with Wireless Data Transmission. *Perspective Technologies and Methods in MEMS Design*: proceedings of the International Conference MEMSTECH 2016. Polyana, Ukraine, 2016. P. 57–61.
10. Topalov A.M., Kondratenko Y.P., Kozlov O.V. *Computerized intelligent system for remote diagnostics of level sensors in the floating dock ballast complexes*: proceedings of the 14th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer. Kyiv, 2018. P. 94–108.
11. Большев А.С., Михаленко Е.Б., Фролов С.А. Математическое моделирование поведения морских плавучих сооружений. Санкт-Петербург, 2006. 38 с.
12. Фрейдзон И.Р. Моделирование корабельных систем управления. Ленинград, 1975. 232 с.
13. Вагущенко Л.Л., Цымбал Н.Н. Системы автоматического управления движением судна. Одесса: Латстар, 2002. 310 с.
14. Kondratenko Y.P. Fuzzy Controllers for Increasing Efficiency of the Floating Dock's Operations: Design and Optimization. *Control systems: Theory and Applications*: chapter in book / Y.P. Kondratenko, O.V. Kozlov, A.M. Topalov; V.M. Kuntsevich, V.F. Gubarev, Yu.P. Kondratenko, D.V. Lebedev, V.P. Lysenko (Ed). River Publisher, 2018. P. 197–232.
15. Демченко В.А. Автоматизация и моделирование технологических процессов АЭС и ТЭС. Одесса: Астропринт, 2001. 308 с.

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПЛАВУЧЕГО ДОКА ДЛЯ ЗАДАЧ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Статья описывает разработанную авторами математическую модель плавучего дока для задач автоматического управления. Предложенная модель состоит из математического описания главных элементов балластной системы и корпуса плавучего дока в форме дифференциальных уравнений. На основе разработанной математической модели сформирована структура системы автоматического управления осадкой плавучего дока. Получены результаты компьютерного моделирования в виде переходных процессов погружения и всплытия плавучего дока с судном и без судна. Анализ результатов моделирования показывает, что разработанная авторами математическая модель имеет высокую адекватность реальным процессам и в достаточной мере отражает основные свойства реального плавучего дока как сложного объекта управления.

Ключевые слова: плавучий док, доковые операции, математическая модель, система автоматического управления, балластная система.

**SYNTHESIS AND STUDY OF THE MATHEMATICAL MODEL
OF THE FLOATING DOCK FOR THE AUTOMATIC CONTROL TASKS**

The article describes developed by the authors generalized mathematical model of a floating dock for automated control tasks. The proposed model consists of the mathematical description of the main elements of the ballast system and the floating dock hull in the form of differential equations. On the basis of the developed mathematical model, the structure of the automatic control system of the floating dock draft is formed. The results of computer simulation in the form of transients of the floating dock immersion and emersion with and without the vessel are obtained. The analysis of simulation results shows that developed by the authors mathematical model has a high adequacy to real processes and fully reflects the basic properties of a real floating dock as a complex control object.

Key words: *floating dock. docking operations. mathematical model, automatic control system, ballast system.*

УДК 004.9

Трач О.Р.

Національний університет «Львівська політехніка»

Вус В.А.

Національний університет «Львівська політехніка»

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОКАЗНИКІВ ОРГАНІЗАЦІЇ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ВІРТУАЛЬНИХ СПІЛЬНОТ

У статті виділено та проаналізовано параметри показників завдань напрямів організації життєвого циклу віртуальної спільноти. Виділені показники на основі дослідження затребуваності засобів ефективного управління спільнотою. Показники завдань напрямів враховують особливості саме віртуальної спільноти, що дозволяє структурувати виконання проектних завдань для творців віртуальних спільнот.

Ключові слова: віртуальна спільнота, життєвий цикл, показник завдань, користувачі, інформаційне наповнення.

Постановка проблеми. Розроблення математичного забезпечення організації життєвого циклу віртуальних спільнот є складним завданням. Для розуміння формальної моделі організації життєвого циклу віртуальних спільнот необхідно ввести поняття «завдання» та «показник». *Завдання* – завдання напряму з визначеною метою для виконання життєвого циклу віртуальної спільноти. *Показник* – дані про завдання напряму організації життєвого циклу віртуальної спільноти.

Постановка завдання. Основною метою є дослідження параметрів показників напрямів організації життєвого циклу віртуальної спільноти. Параметри показників необхідні для виконання завдань напрямів організації життєвого циклу віртуальної спільноти. Показники забезпечують конкретність і кількісну якість виконання завдання напрямів. Необхідно виокремити показники користувачького, інформаційного та репутаційного напрямів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сьогодні дослідження параметрів показників найчастіше проводяться у користувачькому та інформаційному напрямках. Науковці у [1] виділяють декілька типів користувачів за різними ознаками. У [2] досліджують соціально-демографічні портрети учасників віртуальних спільнот і методи класифікації учасників. Найбільш дослідженим є віковий показник, який виділяють як соціально-демографічний показник для маркетингової діяльності [3–4]. Також виділяють показники [5–6] користувачів та інформаційного наповнення для захисту від інформаційних атак у соціальних мережах. Проте показників і характеристик, які виділяються науковцями, недостатньо для організації життєвого циклу віртуальної спільноти.

Необхідно виділити показники, притаманні саме віртуальній спільноті, що зменшить витрати часу та робочої сили під час створення й управління віртуальною спільнотою.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Параметри показників завдань напрямів організації життєвого циклу віртуальної спільноти – це первинні дані про спільноту. Виокремлені параметри є основними та найбільш використовуваними для всіх типів віртуальних спільнот. Параметри показників є кількісними [7–8].

Виокремимо параметри показників для користувачького, інформаційного та репутаційного напрямів. Ресурсний напрям опрацьовують без показників, використовуючи технічні та технологічні дані.

$$Ind(Stage_{Comi}) = \langle IndUs(Stage_i), IndInf(Stage_i), IndRp(Stage_i) \rangle \quad (1),$$

де $IndUs(Stage_i)$ – користувачький напрям; $IndInf(Stage_i)$ – інформаційний напрям; $IndRp(Stage_i)$ – репутаційний напрям.

Показники користувачького напрямку. Розглянемо систему показників користувачького напрямку організації життєвого циклу віртуальних спільнот. Система показників користувачького напрямку – це комплекс показників, які характеризують повноту виконання завдань користувачького напрямку. До системи належать показники, отримані шляхом аналізу соціально-демографічних портретів користувачів мережі Інтернет, тому що вони визначають характер аудиторії віртуальної спільноти, використовуються в рекламній діяльності та під час популяризації спільнот на комерційних засадах [9].

Система базових показників користувачького напрямку організації життєвого циклу віртуальної спільноти описується кортежем:

$$Ind_Us(Task_i) = \left\langle \frac{UsQuan(Task_i), UsAge(Task_i), UsGeo(Task_i)}{UsLang(Task_i), UsWr(Task_i), UsRd(Task_i)} \right\rangle \quad (2),$$

де $UsQuan(Task_i)$ – показник кількості учасників; $UsAg(Task_i)$ – віковий показник; $UsGeo(Task_i)$ – географічний показник; $UsLang(Task_i)$ – мовний показник; $UsWr(Task_i)$ – показник активності писання; $UsRd(Task_i)$ – показник активності читання.

Показник кількості учасників ($UsQuan$). Показник кількості учасників вказує на обсяг учасників віртуальної спільноти, який є оптимальним для повноцінного виконання завдання користувачького напрямку організації життєвого циклу віртуальної спільноти. Цей показник є кількісним.

Віковий показник ($UsAge$). Цей показник вказує на вік учасників спільноти та введений для контролю вікової категорії учасників віртуальної спільноти. Найкраще подати його у розподілі учасників між віковими категоріями.

Розподіл вікових категорій можна здійснювати, опираючись на наявні дослідження [10–12]: вікових діапазонів, де поділ здійснюється на основі періодизації розвитку людини від народження до смерті; вікових діапазонів демографічного та соціального поділу населення; маркетингових вікових діапазонів.

Маркетингові стратегії із просування, збуту та реклами товарів чи послуг є ефективними та дієвими для задоволення проектних цілей. Тому під час створення віртуальної спільноти як проекту із задоволення цілей і потреб найкраще опиратися на маркетингові вікові діапазони, які також простіші для впровадження, оскільки більшість соціальних мереж і соціальних сервісів під час застосування рекламних кампаній для визначення цільової аудиторії використовують маркетингові вікові діапазони. Наприклад, редактор AdWords від Google (додаток для керування рекламними кампаніями) під час демографічного націлювання реклами пропонує такі допустимі вікові діапазони: «18–24», «25–34», «35–44», «45–54», «55–64», «65 or more» і «Unknown». Проте наявні вікові діапазони редактора AdWords не враховують роботи з підлітками, їх зараховано до вікового діапазону «Unknown». Хоча під час створення віртуальних спільнот певних тематик вікову категорію підліткового віку варто враховувати.

Віковий показник користувачького напрямку організації життєвого циклу віртуальної спільноти опишемо множиною кортежів:

$$UsAge(Task_i) = \left\{ \left\langle UsAgeRange_j, Part(UsQuan)_j \right\rangle \right\}_{j=1}^{N^{UAR}} \quad (3),$$

де $UsAgeRange$ – віковий діапазон (наприклад, «25–34»); $Part(UsQuan)$ – частка кількості учасни-

ків з цього діапазону; N^{UAR} – кількість вікових діапазонів.

Для отримання кількісного вікового показника необхідно використати таку формулу:

$$UsAge(Task_i) = UsAge(Task_i) \times UsQuan(Task_i) \quad (4)$$

Показник географічний ($UsGeo$). Цей показник вказує на географічне розташування учасників спільноти та введений для розподілу на географічні об'єкти. До географічних об'єктів належать: країни, регіони, райони, міста, мікрорайони та ін.

$$UsGeo(Task_i) = \left\{ \left\langle UsGeoRank_j, Part(UsQuan)_j \right\rangle \right\}_{j=1}^{N^{UGR}} \quad (5),$$

де $UsGeoRank_i$ – географічна категорія поділу, визначена аналітиком чи менеджером проекту відповідно до специфіки віртуальної спільноти; $Part(UsQuan)_i$ – частка кількості учасників із цієї категорії; N^{UGR} – кількість географічних категорій.

Показник мовний ($UsLang$). Цей показник вказує на мову спілкування (робочу мову) учасників у віртуальній спільноті та введений із метою кращого розуміння між учасниками та якіснішого сприйняття інформаційного наповнення (дописів, коментарів) іншими учасниками.

Множина може містити декілька робочих мов спільноти:

$$UsLang(Task_i) = \left\{ \left\langle UsLangKind_i, Part(UsQuan)_i \right\rangle \right\}_{i=1}^{N^{ULK}} \quad (6),$$

де $UsLangKind$ – мовний поділ, визначений аналітиком чи менеджером проекту відповідно до специфіки віртуальної спільноти; $Part(UsQuan)$ – частка кількості учасників із цієї мовної категорії; N^{ULK} – кількість мов, що використовуються у віртуальній спільноті.

Показник активності писання ($UsWr$). Цей показник вказує на активність учасників-дописувачів у віртуальній спільноті. Дописувач – зареєстрований учасник віртуальної спільноти, який залишає за собою слід у віртуальній спільноті, є активним учасником спільноти. Ознакою дописувача є певна кількість дописів і коментарів за визначений проміжок часу (наприклад, тиждень). Метою такого учасника є ознайомлення інших учасників спільноти з новинами, цікавою та корисною інформацією, власними поглядами у певній предметній галузі.

Показник активності писання варто розділити на:

$$UsWr(Task_i) = \left\{ \left\langle UsWrM_j, Part(UsQuan)_j \right\rangle \right\}_{j=1}^{N^{UWM}} \quad (7),$$

де $UsWrM$ – поділ активності дописування. Поділ здійснюється на коментарі та дописи; $Part(UsQuan)$ – частка кількості учасників із цієї категорії активності дописування; N^{UWM} – коментарі та дописи, що відповідають за рівень активності дописування у віртуальній спільноті.

Показник активності читання ($UsRd$). Цей показник вказує на активність читачів у віртуальній спільноті. Читач – учасник віртуальної спільноти, який переглядає віртуальну спільноту, поширює її дописи та вподобує їх. Метою такого учасника є ознайомлення з новинами, дописами, дискусіями, думками інших учасників віртуальної спільноти у певній предметній галузі.

$$UsRD(Task_i) = \left\{ \left\{ (UsWrINA_i, Part(UsQuan)_i) \right\}_{i=1}^{N^{IN}} \right\} \quad (8),$$

де $UsWrINA$ – поділ активності писання. Поділ здійснюється на коментарі та дописи; $Part(UsQuan)$ – частка кількості учасників із цієї категорії активності писання; N^{UWM} – поширення та вподобання, що відповідають за рівень активності читання у віртуальній спільноті.

Для додаткового уточнення характеристик користувацького напрямку можуть використовуватися також спеціальні категорії (ролі) користувачів. Так, раціональним є такий розподіл ролей:

- **лідери думок** – особистості з високим рівнем суспільного впливу та числом послідовників;
- **модератори** – особистості з високим рівнем мережевого авторитету й організаційними здібностями;
- **транслятори** – особистості з обмеженими комунікативними функціями поширення інформації;
- **опоненти** – особистості з високим рівнем критичного мислення та мережевим авторитетом;
- **тролі** – особистості зі спеціальними руйнівними комунікативними функціями.

Зазначимо, що вказані ролі охоплюють лише певну частину аудиторії спільноти, хоча користувачі саме цих ролей відіграють ключову роль у її розвитку та формуванні контенту, причому як позитивну, так і негативну. Тому для цих ролей застосовуються ті самі показники, що до аудиторії загалом, проте у визначенні допустимих меж для показників у процесі управління допускається визначення як верхньої, так і нижньої меж.

Розглянемо наведені вище ролі детальніше.

Лідери думок – особистості, які характеризуються високим рівнем креативності, компетентності у предметній галузі та великою кількістю читачів і цитувань матеріалу. Лідери думок, зазвичай, не генерують інтенсивного інформаційного потоку, проте всі їхні матеріали є авторськими не лише за формою, а й за змістом, мають певне суспільне значення. Досконало володіють вмінням створювати доступні, легкі для розуміння тексти, іншими літературними прийомами.

В окремих випадках дописи лідерів думок можуть базуватися на попередньо опублікованих

матеріалах інших авторів (зокрема новин), проте в будь-якому разі мають авторський характер (аналітичний огляд, критичне судження тощо).

Основна функція лідерів думок – формування нового процесу з поширення певної суспільно значимої інформації, зокрема такої, як нові трактування фактів, аналітичні огляди та проголошення нових ідей.

Модератори – авторитетні мережеві особистості, які в силу наявних ресурсів чи персональних характеристик здатні формувати віртуальні спільноти з залученням лідерів думок і звичайних користувачів. Володіють високими комунікативними та психологічними навичками, креативністю. Знання у предметній сфері можуть бути поверхневими.

Основна функція модераторів – координація дій користувачів (як звичайних, так і рольових) і їхнє ресурсне забезпечення. Кількісне визначення модераторів доцільне лише у разі розроблення проектів великих самокерованих спільнот.

Транслятори – особистості, які характеризуються великою мережевою активністю, часто наявністю значного числа читачів і низькою креативністю. Поширюють обсяги схожого тексту з іншого джерела, власні тексти практично відсутні. Можуть використовувати спеціальне програмне забезпечення та діяти в режимі флешмобу у спілці з аналогічними користувачами. В окремих випадках транслятори можуть змінювати форму контенту (в т. ч. і модифікувати текст), залишаючи зміст незмінним. Слід відзначити, що в окремих дослідженнях роль транслятора змішують із роллю лідера думок, акцентуючи увагу не на інформативних функціях, а на здатності поширювати інформацію серед значної кількості споживачів. Проте такий підхід обмежує можливість вибору ефективного соціокомунікативного інструментарію для керування процесом створення контенту.

Основна функція трансляторів – підтримка та посилення впливу лідерів думок і підтримка актуальності спільнот шляхом наповнення контентом.

Опоненти – особистості, які характеризуються специфічним набором характеристик: високою компетентністю у предметній сфері, комунікативними навичками з ведення онлайн-дискусій і низьким рівнем креативності. Опоненти можуть продукувати власні матеріали, але тематично матеріали є прив'язаними до матеріалів, створених лідерами думок, заперечуючи ідеї та факти, наведені у них. Досконало володіють і активно використовують такі риторичні прийоми, як іро-

нія та сарказм, часто володіють значним мережевим авторитетом.

Основна функція опонентів – опонування літерам думок, нівелювання їхніх впливів і матеріалів.

Тролі – спеціальний тип мережево активних особистостей, що характеризується високими комунікативними навичками та психологічною стійкістю, які використовуються в руйнівних цілях щодо спільноти та контенту, що створюється. Головними інструментами є розпалювання ворожнечі в межах спільноти (комунікативне явище «флейму»), зміна акцентів діяльності зі змістовних на порожні балачки (комунікативне явище «флуду») та перевантаження модераторів спільноти організаційними запитами та скаргами. Активно використовують такі риторичні прийоми, як сарказм і перехід на особистості. Діють індивідуально або в межах невеликих кампаній.

Основна функція тролів – руйнування впливу модераторів, зниження впливу лідерів думок і трансляторів.

Показники інформаційного напрямку.

Система показників інформаційного напрямку – це комплекс показників, які характеризують повноту виконання завдань інформаційного напрямку. У системі враховано показники, отримані шляхом аналізу інформаційного наповнення мережі Інтернет, його затребуваності й актуальності.

Система базових показників інформаційного напрямку організації життєвого циклу віртуальної спільноти описується кортежем:

$$Ind_Inf(Task_i) = \left\langle \begin{matrix} InfGeneral(Task_i), InfPost(Task_i), \\ InfComment(Task_i), InfMultimedia(Task_i), \\ InfThematic(Task_i), InfUnicity(Task_i) \end{matrix} \right\rangle \quad (9),$$

де $InfGeneral(Task_i)$ – показник кількості інформаційного наповнення; $InfPost(Task_i)$ – показник дописів; $InfComment(Task_i)$ – показник коментарів; $InfMultimedia(Task_i)$ – показник мультимедіа; $InfThematic(Task_i)$ – показник тематичності; $InfUnicity(Task_i)$ – показник унікальності.

Показник кількості інформаційного наповнення ($InfGeneral$). Загальна кількість інформаційного наповнення віртуальної спільноти, що включає дописи, коментарі і мультимедіа. Для якіснішого функціонування спільноти показники інформаційного напрямку найкраще подавати, опираючись на інтенсивність, тобто кількість інформаційного наповнення за тиждень.

Показник дописів ($InfPost$). Цей показник вказує на кількість дописів упродовж тижня у віртуальній спільноті. Визначається часткою дописів від загальної кількості інформаційного наповне-

ння віртуальної спільноти. Бажану (необхідну) інтенсивність визначає менеджер або аналітик спільноти відповідно до предметної сфери віртуальної спільноти.

Показник кількості коментарів ($InfComment$). Цей показник вказує на кількість коментарів до дописів упродовж тижня у віртуальній спільноті.

Показник кількості мультимедіа ($InfMultimedia$). Цей показник вказує на загальну кількість дописів і коментарів, що містять мультимедіа, упродовж тижня у віртуальній спільноті. До мультимедіа зараховують відео й анімаційні матеріали.

Показник тематичний ($InfThematic$). Цей показник вказує на кількість дописів, які відповідають тематиці предметної галузі віртуальної спільноти. Належність посту до тематичного визначає менеджер організації життєвого циклу віртуальної спільноти.

$$InfThematic(Task_i) = \left\{ \left\langle InfThematic_j, Part(InfQuan)_j \right\rangle \right\}_{j=1}^{N_{ITR}} \quad (10),$$

де $InfThematic_j$ – частка тематичного інформаційного наповнення віртуальної спільноти; $Part(InfQuan)_j$ – загальна кількість інформаційного наповнення.

Показник унікальності ($InfUnicity$). Цей показник вказує на загальну кількість унікальних дописів у віртуальній спільноті. Менеджер повинен звертати увагу лише на копійрайт. Копіювання матеріалів чи рерайт матеріалів не демонструє унікальності інформаційного наповнення віртуальної спільноти.

$$InfUnicity(Task_i) = \left\{ \left\langle InfUnicity_j, Part(InfQuan)_j \right\rangle \right\}_{j=1}^{N_{IU}} \quad (11),$$

де $InfUnicity_j$ – частка унікального інформаційного наповнення віртуальної спільноти; $Part(InfQuan)_j$ – загальна кількість інформаційного наповнення.

Показники репутаційного напрямку.

Система показників інформаційного напрямку – це комплекс показників, які характеризують повноту виконання завдань репутаційного напрямку. У системі враховано показники, отримані шляхом менеджментського складника, аналізу користувачів, інформаційного наповнення, його затребуваності й актуальності.

Розглянемо систему показників репутаційного напрямку, необхідну для підтримки змісту та діяльності віртуальної спільноти, її репутації.

$$Ind_Rp(Task_i) = \left\langle \begin{matrix} RpResponsibility(Task_i), RpTrolling(Task_i), \\ RpComAggression(Task_i) \end{matrix} \right\rangle \quad (12),$$

де $RpResponsibility(Task_i)$ – показник відповідальності; $RpTrolling(Task_i)$ – показник захисту від тролінгу; $RpComAggression(Task_i)$ – показник комунікативної агресії.

Показник відповідальності (*RpResponsibility (Task)*) – вказує на швидкість відповідей від адміністраторів спільноти, підтримку змісту діяльності спільноти, підтримку правил спільноти.

Показник захисту від тролінгу (*RpTrolling (Task)*) – вказує на захищеність учасників віртуальної спільноти від провокативних дій і тролінгу. Визначається відношенням кількості користувачів, які постраждали від тролінгу, до загальної кількості користувачів.

Показник комунікативної агресії (*RpComAggression (Task)*). Показник вказує на захищеність учасників віртуальної спільноти від

комунікативної агресії інших учасників. Визначається відношенням скомпрометованих користувачів до загальної кількості користувачів.

Висновки. У статті сформовано групу показників завдань напрямів організації життєвого циклу віртуальної спільноти: користувацького, інформаційного, репутаційного. Показники сформовані на основі дослідження затребуваності засобів ефективного управління спільнотою, які, на відміну від тих, що існують нині, враховують особливості саме віртуальної спільноти. Виділені показники напрямів дозволяють структурувати виконання проектних завдань для розробників віртуальних спільнот.

Список літератури:

1. Белікова Ю. Гендерна специфіка соціальних мереж в Україні як основа для СММ. *Маркетинг в Україні*. 2015. № 5. С. 16–21.
2. Як додавати цільові вікові категорії до груп оголошень. URL: <https://support.google.com/adwords/editor/answer/47640?hl=uk>.
3. Korobiichuk I., Fedushko S., Juś A., Syerov Y. Methods of Determining Information Support of Web Community User Personal Data Verification System. In: *Szewczyk R., Zieliński C., Kaliczyńska M. (eds). Automation 2017. ICA 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing. Springer International Publishing*. 2017. Vol. 550. P. 144–150.
4. Marshall P., Rhodes M., Todd B. Ultimate Guide to GoogleAdWords, Entrepreneur Media, Inc. 2014. P. 397.
5. Korzh R., Peleshchyshyn A., Fedushko S., Syerov Y. Protection of University Information Image from Focused Aggressive Actions. *Advances in Intelligent Systems and Computing: Recent Advances in Systems, Control and Information Technology, Proceedings of the International Conference SCIT 2016, May 20–21, 2016, Warsaw, Poland*. Springer International Publishing, 2017. Vol. 543. P. 104–110.
6. Трач О., Федущко С. Визначення показника стійкості віртуальної спільноти щодо інформаційних атак. *Безпека інформації*. 2016. С. 84–87.
7. Пелешцишин А., Трач О. Визначення елементів соціально-орієнтованих ризиків при організації життєвого циклу віртуальної спільноти. *Безпека інформації*. 2017. Т. 23. № 2. С. 130–135.
8. Trach O., Peleshchyshyn A. Development of directions tasks indicators of virtual community life cycle organization. *Proceedings of the XIth International Scientific and Technical Conference "Computer Sciences and Information Technologies" (CSIT-2017). Lviv, 05–08 September 2017*. 2017. P. 127–130.
9. Трач О.Р. Критичність показників завдань напрямів організації життєвого циклу віртуальної спільноти. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки*. 2017. № 5 (253). С. 177–181.
10. Korzh R., Peleshchyshyn A., Syerov Yu., Fedushko S. University's Information Image as a Result of University Web Communities' Activities. *Advances in Intelligent Systems and Computing: Selected Papers from the International Conference on Computer Science and Information Technologies, CSIT 2016, September 6–10 Lviv, Ukraine, Shakhovska N. (Ed.)*. Springer International Publishing: 2017. Series Vol. 512. P. 115–127.
11. Эриксон Э. Детство и общество / пер. с англ. СПб.: Ленато, АСТ, Фонд «Университетская книга». 1996. С. 592.
12. Аношкин А., Денисенко М., Елизаров В., Ткаченко А., Шаповалова Н. Демографическая энциклопедия. М.: Издательство «Энциклопедия». 2013. С. 944.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ВИРТУАЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ

В статье выделены и проанализированы параметры показателей задач направлений организации жизненного цикла виртуального сообщества. Выделены показатели на основе исследования востребованности средств эффективного управления сообществом. Показатели задач направлений учитывают особенности именно виртуального сообщества, позволяют структурировать выполнение проектных задач для создателей виртуальных сообществ.

Ключевые слова: виртуальное сообщество, жизненный цикл, показатель задач, пользователи, информационное наполнение.

**DETERMINATION OF SETTING PARAMETERS OF THE ORGANIZATION
OF THE LIFE CYCLE OF VIRTUAL COMMUNITIES**

The article highlights and analyzes the parameters of indicators of tasks of the directions of organization of the life cycle of the virtual community. Dedicated indicators are based on research on the demand for effective community management tools. Indicators of tasks directions take into account the features of the virtual community itself, which allows you to structure the execution of project tasks for the creators of virtual communities.

Key words: *virtual community, life cycle, indicator, tasks, users, content.*

Хорошевська І.О.

Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ СТРУКТУРНОЇ ПОБУДОВИ ЕЛЕКТРОННОГО РЕСУРСУ ДЛЯ НАВЧАННЯ ФАХІВЦІВ СФЕРИ ПОСЛУГ

У статті запропоновано етапи методики структуризації електронного ресурсу, призначеного для навчання фахівців сфери послуг. Акцентовано на важливості реалізації аналізу ключових запитів у предметній сфері, обґрунтовано рішення щодо структурної побудови електронного ресурсу за рубриками та доцільними темами в рамках кожної з рубрик. Наведені етапи методики дозволяють прийняти обґрунтоване рішення щодо множини тем у кожній із рубрик. Реалізація етапів методики здійснюється за допомогою використання математичного інструментарію. Для підвищення наочності цього процесу він демонструється на прикладі розрахунків для електронного ресурсу (у вигляді сайту), призначеного для навчання майбутніх фахівців із надання послуг в індустрії краси.

Ключові слова: електронний навчальний ресурс, рубрики, теми, етапи методики, структурний елемент, експерти.

Постановка проблеми. Нині рівень розвитку сучасної системи освіти визначається наявністю підвищених вимог до якості структури, змісту та мультимедійних можливостей електронних навчальних ресурсів, їх відповідності тенденціям розвитку сучасних комп'ютерних технологій і потребам користувачів, що навчаються. Користувач є активним елементом процесу навчання, який бажає будувати власну траєкторію навчання, використовуючи весь спектр можливостей електронних навчальних ресурсів.

Сьогодні мультимедійні технології використовуються у багатьох сферах людської діяльності та допомагають користувачам розвивати знання професійного спрямування і здійснювати саморозвиток, розширюючи свій світогляд. Для того, щоб набути практичних компетентностей за різними напрямками та сферами професійної діяльності, багато користувачів використовують спеціалізовані засоби навчання у вигляді електронних навчальних середовищ, мультимедійних посібників, навчальних та інформаційних сайтів, порталів, відеоблогів, тематичних навчальних симуляторів, інтерактивних тренажерів, навчальних мобільних додатків й ін. Багатьом речам можна навчитися за допомогою інтерактивних вправ у вигляді відеоуроків, майстер-класів і т. д. [1].

Ці ресурси надають можливість для навчання, пропонуючи корисну інформацію в потрібний час та у зручному вигляді для користувача, забезпечують підвищення якості та розуміння інформації. Також спеціалізовані навчальні електронні ресурси є ефективним інструментом, що дозволяє

активізувати та підтримувати інтерес до певної сфери діяльності [2].

Не є винятком і сфера надання послуг у галузі індустрії краси, на прикладі якої й буде розглянута проблема структуризації електронних навчальних матеріалів. Ця сфера оточує нас і наше життя, побут, розвиток та ін. і потребує розробки спеціальних електронних навчальних ресурсів, що допоможуть набути знань і вмінь майбутнім фахівцям певних предметних галузей, наприклад, фахівцям, котрі надають послуги косметології, перукарства тощо, спрямовані на підтримку особистої краси людини.

Враховуючи доцільність акцентування саме на практичному боці процесу навчання надання фахівцями якісних послуг, правильності здійснення усіх процедур, доцільно застосовувати спеціальні електронні навчальні ресурси, за допомогою яких майбутні фахівці, наприклад, майстри-косметологи, зможуть навчитися, як правильно робити дизайн нігтів, що необхідно враховувати та яких помилок треба уникати. Слід забезпечити зручність і доступність процесу подання спеціалізованої інформації. Тому тема створення такого електронного ресурсу для навчання фахівців індустрії краси є своєчасною й актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, присвячених питанню створення електронних ресурсів із навчання надання послуг у сфері індустрії краси [3–7], дав можливість зробити висновок, що наявні ресурси пропонують переважно теоретичну інформацію (про манікюр, перукарство й ін.), без можливості самонавчання і саморозвитку фахівців. Також у цих ресурсах відсутнє

обґрунтування, чому саме певний контент включено в ресурс, не досліджено його актуальність і затребуваність для тих, хто навчається.

Так, інформаційний портал «Академії Наукової Краси» [3] містить новини, інформацію про події у сфері індустрії краси, партнерів, опис навчальних центрів і можливостей для стажування тощо. Проте спрямованість ресурсу більш інформаційна, а не навчальна, є короткий опис можливостей навчання, однак він є обмеженим (без наведення рубрик та опису тематичної спрямованості їх складників). На іншому ресурсі – сайті «Естетичний портал» – міститься інформація для двох груп користувачів: звичайних і професіоналів [4]. Тематичні статті на ньому наповнені великою кількістю інформації, однак ця інформація потребує структурування. Іншим цікавим інформаційним ресурсом є сайт компанії Lady Victory [5], аналіз якого показав, що сайт має потребу у підвищенні рівня структуризації та візуалізації подання текстової та графічної інформації за всіма темами.

Серед Internet-журналів, присвячених розкриттю багатьох питань у сфері індустрії краси, виділяється журнал про красу «Vogue» [6], який має багато рубрик. Однак він не надає можливості навчатися самостійно. Електронні версії інших спеціалізованих журналів – «You Professional», «Перукар-стиліст-візажист» [7] – не дають можливості для активізації самостійного навчання, адаптованого до індивідуальної траєкторії засвоєння знань, до потреб того, хто навчається та бажає стати справжнім фахівцем із надання послуг у сфері краси.

Варто відзначити, що чітке структурування за актуальними нині розділами (рубриками) та темами і грамотна їх візуалізація допоможе зробити процес навчання більш зрозумілим і якісним.

Якщо розглянути теоретико-методологічну основу процесу побудови електронних навчальних видань у розрізі їх структурної побудови, то серед наявних методик створення електронних навчальних ресурсів різного тематичного спрямування цікавими є [8–16]: мультимедійний навчальний комплекс для навчання глухонімих школярів предмету «Інформатика» [8; 9], мультимедійний електронний підручник у вигляді навчального комплексу «Економіка підприємства» [10], електронні навчальні ресурси ігрового спрямування [11; 12], мультимедійний навчальний комплекс під назвою «Техніка малювання в стилі Anime» [13], мультимедійне навчальне видання у вигляді комплексу «Математика: многокутники» [14], мультимедійний навчальний комплекс «Графічний дизайн»

[15; 16]. Однак створені за цими методиками електронні навчальні ресурси або мають жорстку прив'язку до конкретної предметної галузі (наприклад, вивчення предмету інформатики з його специфікою подачі для користувачів зі спеціальними потребами [8; 9], структурно-змістовну рубрикаційну прив'язку до ігрового спрямування [11; 12] тощо), або можуть бути реалізовані тільки як настільні додатки для локального використання. Це виключає, наприклад, online взаємодію з викладачем та іншими користувачами.

Прикладами найбільш цікавих мультимедійних навчальних ресурсів, реалізованих як мережеві інтерактивні навчальні середовища, є мультимедійні дидактичні комплекси, наприклад, «Мультимедійне видавництво» [17] та «Теорія кольору» [18; 19], розроблені для підтримки навчального процесу спеціальності 186 «Видавництво та поліграфія». Ці навчальні ресурси забезпечують електронне навчання студентів на основі використання різних видів мультимедіа, підтримки online взаємодії з користувачем у рамках навчальних, розвиваючих і дидактичних елементів, розподілених за відповідними інформаційними рівнями організації контенту, наприклад, як у мультимедійному дидактичному комплексі «Теорія кольору» [18; 19]: ілюстративно-описувальним, репродуктивним і творчим рівнями. Хоч розподіл за наведеними трьома рівнями є досить логічним, однак опису методичної основи (підходу), як формувати структурні рівні та робити за ними, розподіл компонентів не має. Отже, питання актуальності виділення певних рівнів, розділів (рубрик), тематичних блоків та ін. структурних компонентів залишається відкритим і підлягає подальшому проробленню.

Також певне коло завдань, що стосуються структурної та змістовної побудови (з урахуванням сучасних тенденцій розвитку актуальних тем у сфері індустрії краси, інтересів майбутніх фахівців до конкретних тем, актуальності їх включення до структури) електронного навчального ресурсу не знайшло належного відображення в пропонувані авторами дослідження і їх результатах. Це говорить про актуальність і своєчасність дослідження цієї теми в розрізі розкриття специфіки структурування інформації за рубриками і темами для підвищення рівня подання контенту.

Постановка завдання. Прийняття рішення про включення певних рубрик і тем як потенційних структурних елементів створюваного електронного навчального ресурсу повинне базуватися на докладному їх дослідженні, аналізі й

оцінці якості електронного навчального ресурсу в разі їх включення до структури.

Таким чином, доцільно розробити основу у вигляді відповідної методики для створення структури електронного навчального ресурсу в сфері послуг (напрям – індустрія краси). Така методика допоможе обґрунтувати вибір структурних елементів як актуальних і доцільних рубрик і тем у рамках кожної з рубрик (актуальних і важливих для цієї сфери).

Метою статті є розробка методики структурної побудови електронного ресурсу для навчання майбутніх фахівців наданню послуг з індустрії краси.

Виклад основного матеріалу дослідження. В основу розробки пропонуваної методики покладено результати досліджень, наведених у працях [8; 9; 11; 12; 15; 19–21]. Це дало змогу розробити методику структурної побудови електронного навчального ресурсу, яка складається з таких етапів:

етап 1: аналіз ключових запитів у сфері індустрії краси;

етап 2: формування множини структурних елементів (доцільних тем у межах рубрик, що визначають їх зміст і склад).

Розглянемо змістовне наповнення наведених етапів. Складові етапи методики ілюструються прикладами, що стосуються процесу обґрунтованого прийняття рішення щодо вибору певних структурних елементів.

Зміст етапу 1 «Аналіз ключових запитів» полягає у визначенні найбільш затребуваних користувачами ключових понять із цієї сфери. Важливо вирішити, які теми сьогодні актуальні на ринку послуг, яка інформація потрібна майбутнім фахівцям. Необхідно визначити рубрики, які їм будуть цікаві. Для вирішення такого завдання доцільно використати методи аналізу, синтезу, опитування. Необхідно залучити до опитування вже діючих, працюючих майстрів салонів краси, адже вони є спеціалістами з досвідом роботи і водночас теж потребують регулярного підвищення кваліфікації. Завдяки цьому визначаються напрями, що є нині актуальними. У нашому дослідженні були реалізовані два види опитування:

Групи об'явлених	Найдено 427 вариантов ключевых слов	
Ключевые слова	<input type="checkbox"/> Показать отдаленные варианты; <input type="checkbox"/> Исключить варианты только для взрослых	
Местоположения	<input type="checkbox"/> Ключевые слова (по релевантности)	Ср. число запросов в месяц
Ваше ключевое слово		
	<input type="checkbox"/> нарощування нігтів	100 – 1 тис.
Варианты оптимизации		
	<input type="checkbox"/> манікюр	10 тис. – 100 тис.
	<input type="checkbox"/> нігті	10 тис. – 100 тис.
	<input type="checkbox"/> гелеві нігті	1 тис. – 10 тис.
	<input type="checkbox"/> нарощення нігтів	1 тис. – 10 тис.
	<input type="checkbox"/> манікюри	1 тис. – 10 тис.
	<input type="checkbox"/> гелеве покриття нігтів	10 – 100
	<input type="checkbox"/> манікюр на короткі нігті	1 тис. – 10 тис.
	<input type="checkbox"/> нігті гелеві	100 – 1 тис.

Рис. 1. Фрагмент-приклад одного з результатів пошуку ключових запитів для рубрики r_1

на основі особистого контакту у вигляді індивідуального інтерв'ювання на місці трудової діяльності фахівців і на основі заповнення анкет. Результатом є сформована база ключових понять, взята за основу для проведення аналізу запитів за ключовими поняттями у сфері надання послуг з індустрії краси.

За допомогою спеціальних сервісів GoogleTrends [22] та GoogleAdWords [23] був проведений аналіз запитів у мережі Інтернет зі словами «косметологія», «ін'єкційна косметологія», «манікюр», «нарощування нігтів», «гель лак», «ламінування вій», «нарощування вій» та ін. Сервіс GoogleTrends показав, як часто шукають певний термін відносно загального обсягу пошукових запитів у різних регіонах світу і різними мовами. Згідно з проведеним багатокроковим аналізом було окреслено коло актуальних трендів у кожній категорії ключових запитів (слів і словоформ). Результатом стало визначення таких рубрик (R): нігтьового сервісу (r_1), нарощування вій (r_2), косметології (r_3), перукарського мистецтва (r_4).

Для подальшого аналізу були залучені можливості сервісу GoogleAdWords, а саме його розділу «Планувальник ключових запитів». Це дало змогу з'ясувати актуальні теми за кожною з визначених рубрик як потенційні елементи їх змістовного наповнення (рис. 1).

Кожна з виділених рубрик (R) містить перелік відповідних латентних тем (LT_u , при $u = \overline{1, n}$),

які можуть бути включені до неї [20]. Індекс (u) показує кількісний склад латентних тем у кожній рубриці. Загальний вигляд множини тем у кожній рубриці наведено у формулі (1):

$$R(LT) \in (r_1(lt_{u \in \overline{1,14}}), r_2(lt_{u \in \overline{1,12}}), r_3(lt_{u \in \overline{1,12}}), r_4(lt_{u \in \overline{1,11}})) \quad (1),$$

де $R(LT)$ – множина латентних тем у визначених рубриках.

Виникає питання визначення тем, що будуть найбільш доцільними для включення в рубрики. Це завдання вирішується на другому етапі методики.

Змістовна складова частина реалізації етапу 2 «Формування множини структурних елементів (тобто доцільних тем)» полягає в аргументованому визначенні й виключенні зі структури рубрик найменш важливих тем. Визначення ступеня важливості тем у рамках рубрик пропонується здійснювати на основі проведення експертного оцінювання.

Виходячи з множини латентних тем $R(LT)$, для включення в структуру кожної рубрики визначаються теми, які є найбільш актуальними та важливими для їх відтворення у структурі електронного навчального ресурсу. Цей процес відбувається відповідно до такої послідовності кроків.

Крок 1. У межах кожної рубрики за допомогою анкетування експертів здійснюється аналіз, оцінка та визначення ступеня значимості теми.

Як експертів доцільно обрати фахівців (E_j , при $j = \overline{1, m}$) із надання послуг у сфері «Індустрія краси». Експертам потрібно видати анкети для визначення їх вподобань стосовно множини латентних тем у рамках кожної з рубрик (R). Верхня границя значення в межах кожної шкали оцінювання повинна варіюватися відповідно до кількості оцінюваних елементів (латентних тем) у рамках конкретної рубрики. Так, для рубрики r_1 шкала оцінювання буде від 1 «не цікаво» до 14 «дуже цікаво», для рубрики r_2 – від 1 до 12 і т. д.

Крок 2. Для подальшого опрацювання оцінки від експертів повинні бути агреговані. Для цього вони заносяться до зведеної таблиці з оцінками тем у кожній рубриці за всіма експертами. Таких таблиць у рамках нашого дослідження чотири. Їх кількість дорівнює кількості рубрик. Однак, якщо на першому етапі кількість рубрик збільшиться, то, відповідно, і кількість таблиць теж збільшиться. Дослідження відкрите для розширення.

Крок 3. Групова оцінка вважається надійною тільки за умови гарної узгодженості відповідей експертів. Для визначення ступеня узгодженості

експертних думок необхідно розрахувати значення коефіцієнта конкордації (K), що змінюється в діапазоні від «0» до «1». Чим ближче отримане значення до «1», тим більшим є рівень узгодженості експертних оцінок. Коефіцієнт (K) розраховується за такою формулою (2):

$$K = \frac{12 \sum_{u=1}^n [S_u - S_{sred}]^2}{m^2(n^3 - n)}, \quad (2)$$

де S_u – сума рангів, отриманих u -и латентними темами від j -х експертів;

S_{sred} – середнє значення рангів латентних тем, визначених експертами;

n – кількість оцінюваних тем у рамках u -ї рубрики (при $u = \overline{1, n}$);

m – кількість експертів, які беруть участь в оцінюванні (при $j = \overline{1, m}$).

Сума рангів (S_u) розраховується за формулою (3):

$$S_u = \sum_{j=1}^m x_{uj}, \quad (3)$$

де x_{uj} – ранги, отримані u -и латентними темами від j -х експертів.

Середнє значення рангів (S_{sred}) розраховується за формулою (4):

$$S_{sred} = \sum_{u=1}^n S_u / n. \quad (4)$$

У разі наближення розрахованого значення коефіцієнта (K) до «1» можна стверджувати про високу узгодженість експертних оцінок за темами поточної рубрики та здійснювати перевірку узгодженості за темами r_2, r_3 і r_4 .

Крок 4. Розраховуються значення коефіцієнтів вагомості кожної з латентних тем у межах відповідної рубрики. Це дає можливість визначити найбільш важливі теми в кожній із рубрик і виключити теми, що є найменш важливими, тобто недоцільними для включення до рубрики.

На основі отриманих на попередньому кроці оцінок розраховуються коефіцієнти вагомості (V_u) за кожною з тем за допомогою формули (5):

$$V_u = \sum_{j=1}^m x_{uj} / \sum_{u=1}^n \sum_{j=1}^m x_{uj}, \quad (5)$$

де V_u – коефіцієнт вагомості теми, яка оцінюється;

x_{uj} – елемент на перетинанні j -о рядка та u -о стовпця матриці оцінювання.

Отримані значення (V_u) використовуються для аналізу ступеня доцільності включення теми до рубрики. Прийняття рішення про доцільність базується на використанні порогового значення, що розраховується як $1/n$. В основу його формування покладені висновки дослідження [25] щодо визначення доцільності вибору елементів. Отже, під

час прийняття рішення про доцільність включення теми повинна бути дотримана умова: $V_u > 1/n$.

Продемонструємо результат розрахунків за етапом 2 на прикладі опрацювання тем рубрики r_1 . Для інших рубрик розрахунки ведуться аналогічно.

Після аналізу ключових запитів (на етапі 1) для r_1 формується анкета з переліком латентних тем, що подається експерту для оцінювання (табл. 1).

Як експертів обрано 10 фахівців із надання послуг з індустрії краси. У процесі оцінювання латентних тем використана шкала від 1 до 14 (табл. 2).

Для наведених у табл. 2 оцінок за темами рубрики r_1 , розраховане за формулою (4) значення $S_{\text{сгед}} = 75,36$, а розраховане за формулою (2) значення $K = 0,73$, що свідчить про високу узгодженість експертних оцінок. Приклад розрахованих за формулою (5) значень V_u для латентних тем подано в табл. 3.

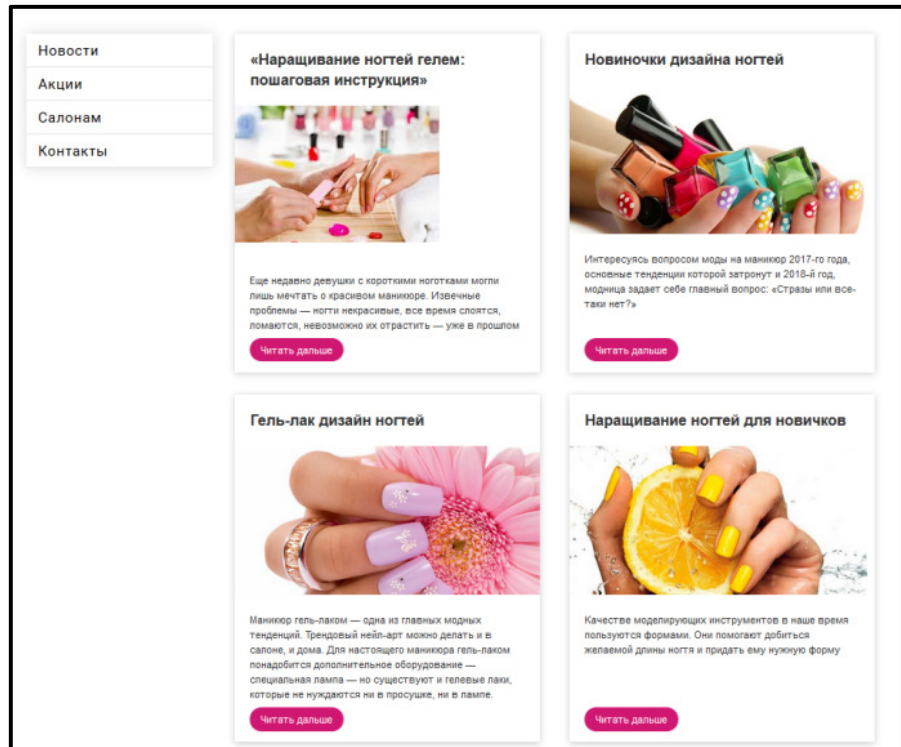


Рис. 2. Вигляд окремих тем рубрики «нігтьовий сервіс (r_1)»

Таблиця 1

Фрагмент анкети з результатами оцінювання експертом E_1 тем рубрики r_1

№ з/п	Латентні теми для r_1		Бали від експерта E_1
	назва теми	позначення теми	
1	нарощування нігтів	$It_{u=1}$	10
2	дизайн нігтів фото	$It_{u=2}$	13
3	гель лак	$It_{u=3}$	5
4	гель лак дизайн	$It_{u=4}$	8
5	дизайн гель	$It_{u=5}$	9
6	нарощування нігтів для початківців	$It_{u=6}$	14
7	манікюр	$It_{u=7}$	2
...
14	догляд за нігтями	$It_{u=14}$	11

Поріг для прийняття рішення про включення елемента до структури рубрики r_1 повинен бути більшим за 0,0714. Таким чином, аналіз значень V_u дозволяє виключити з розгляду найменш значущі теми для рубрики r_1 . Розрахунки вагових коефіцієнтів і визначення найбільш значимих тем у межах інших рубрик (тобто, r_2, r_3 та r_4) здійснюються аналогічним чином.

Визначені вищенаведеним чином рубрики та теми були практично реалізовані у відповідному електронному навчальному ресурсі. Приклад реалізації рубрики (r_1) та однієї з її визначених тем наведено на рис. 2–3.

Розроблений електронний навчальний ресурс (у вигляді сайту) було протестовано за допомогою різних спеціалізованих сервісів (webpagetest, GTmetrix й ін.) за критеріями технічної експертизи (повноти та правильності реалізації закладених функцій, швидкості завантаження та ін.), змістовної експертизи (оцінювання обсягу матеріалу за ступенем розроблення рубрик і тем, оцінювання педагогічного аспекту та ін.) та ергономічної експертизи (оцінювання стильового втілення, простоти використання та ін.). Приклад тестування ресурсу за швидкістю завантаження наведено на рис. 4.

Як результат, розроблений електронний навчальний ресурс працював правильно, швидко завантажувався, всі елементи відображалися коректно.

Фрагмент з оцінками від експертів за латентними темами рубрики r_1

Експерти, E_j	Латентні теми $l_{u \in \{1,14\}}$ для рубрики r_1								
	$l_{u=1}$	$l_{u=2}$	$l_{u=3}$	$l_{u=4}$	$l_{u=5}$	$l_{u=6}$	$l_{u=7}$...	$l_{u=14}$
E_1	10	13	5	8	9	14	2	...	11
E_2	9	11	7	13	12	14	1	...	10
E_3	12	10	4	14	11	13	5	...	8
...
E_{10}	12	14	1	8	11	13	6	...	13

Таблиця 3

Значення вагових коефіцієнтів латентних тем рубрики r_1

Латентні теми, $l_{u \in \{1,14\}}$	Коефіцієнт, V_u	Поріг: $V_u > 0,0714$	Латентні теми, $l_{u \in \{1,14\}}$	Коефіцієнт, V_u	Поріг: $V_u > 0,0714$
$l_{u=1}$	0,1033	включити	$l_{u=8}$	0,0351	виключити
$l_{u=2}$	0,1109	включити	$l_{u=9}$	0,0351	виключити
$l_{u=3}$	0,055	виключити	$l_{u=10}$	0,0844	включити
$l_{u=4}$	0,1043	включити	$l_{u=11}$	0,037	виключити
$l_{u=5}$	0,1014	включити	$l_{u=12}$	0,0436	виключити
$l_{u=6}$	0,1147	включити	$l_{u=13}$	0,0389	виключити
$l_{u=7}$	0,0332	виключити	$l_{u=14}$	0,1033	включити

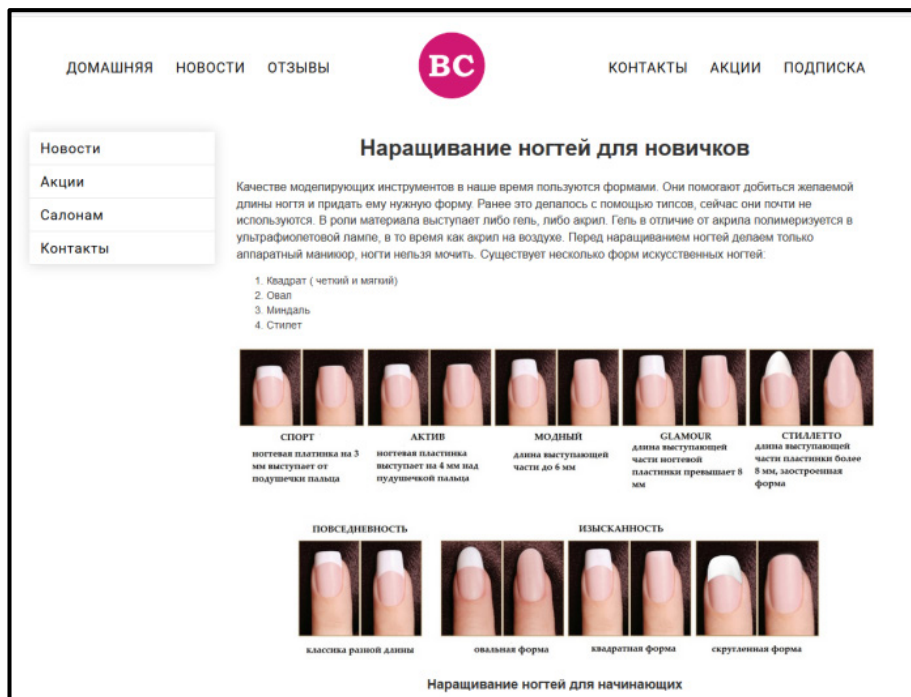


Рис. 3. Приклад розміщення тематичної інформації на сторінці теми «наращування нігтів для початківців» ($l_{u=6}$) у рубриці (r_1)

Висновки. У роботі наведено методику структуризації електронних навчальних матеріалів на конкретному прикладі – створення структури рубрик і тем електронного ресурсу для навчання фахівців сфери індустрії краси. Акцент зроблено на специфіці обґрунтування вибору структурних елементів

як актуальних і доцільних рубрик і тем для навчання фахівців сфери краси. Запропоновані етапи методики дозволяють прийняти обґрунтоване рішення щодо множини тем у кожній із рубрик.

Використання такого електронного навчального ресурсу сприятиме підвищенню рівня



Рис. 4. Тестування сайту за допомогою webpagetest

актуальності, доцільності та наочності подання навчальної інформації, активізуватиме саморозвиток майбутніх фахівців, що навчаються.

Напрямом подальшого дослідження може стати розроблення методичної основи для оцінки якості електронного навчального ресурсу.

Список літератури:

1. Список публікацій: Індустрія краси та мода. URL: <http://edumarket.ru/library/fashion>.
2. Приложение для планирования сеансов и продвижения мастеров красоты. URL: <http://moiprofi.ru/master>.
3. Информационный портал «Академии Научной Красоты». URL: <http://ank.kiev.ua>.
4. Эстетический портал. URL: <http://estportal.com>.
5. Сайт компании «Lady Victory». URL: <https://lady-victory.com>.
6. Сайт жіночого інтернет-журналу «VOGUE». URL: <https://vogue.ua/ua/article/beauty>.
7. Электронные книги по «Косметологии». URL: https://eknigi.org/dom_i_semja/42929-kosmetologiya.html.
8. Бондарь И.А. Мультимедийный дидактический комплекс по обучению информатике школьников с нарушением слуха. *Problems of modern pedagogics in the context of international educational standards development: material digest of the XL International Research and Practice Conference and I stage of the Championship in Pedagogical sciences.* (London, January 31-February 05, 2013). London: IASHE, 2013. P. 131–133.
9. Бондар І.О., Павленко Н.О. Методика створення мультимедійного навчального комплексу з інформатики для глухонімих. *Системи обробки інформації.* 2014. № 1 (117). С. 244–250.
10. Афанасьев М.В., Плоха О.Б. Экономика предприятия: электронный учебник / ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2014. URL: http://www.hneu.edu.ua/Interactive_tutorials.
11. Пушкар О.І., Бондар І.О. Моделирование структурной побудови електронного журналу ігрового спрямування. *Системи обробки інформації.* 2017. № 2 (148). С. 237–241.

12. Бондар І.О. Визначення завдань для здійснення розробки інтерактивного електронного журналу. *Біоніка інтелекту*. 2016. № 1 (86). С. 130–134.

13. Кращий інноваційний проект з розвитку освіти: Мультимедійний навчальний комплекс за темою «Техніка малювання в стилі Anime». *Перечень проектов-финалистов Международного конкурса «Харьковские инициативы» 2013 г.* URL: <http://www.city.kharkov.ua/ru/news/nagorodzheni-finalisti-konkursu-investproektiv-harkivski-initsiativi-21032.html>.

14. Мультимедійне навчальне видання «Математика: многокутники». URL: <http://mst.nure.ua/index.php/news/118-multimedijnoe-uchebnoe-izdanie-matematika-mnogougolniki-dlya-shkoly-159>.

15. Бондар І.О., Грабова А.С. Специфіка здійснення процесу розробки мультимедійного видання «Графічний дизайн». *Молодий вчений*. 2017. № 9 (49). С. 437–445.

16. Грабова А.С. Елементний склад мультимедійного навчального видання з графічного дизайну. *Інформаційні технології в сучасному світі: дослідження молодих вчених: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, аспірантів та студентів (9–10 лютого 2017 р.)*. Харків: ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2017. С. 200.

17. Мультимедійний дидактичний комплекс із дисципліни «Мультимедійне видавництво». URL: <http://www.mmv.mdk.ksue.edu.ua>.

18. Мультимедійний дидактичний комплекс із дисципліни «Теорія кольору». URL: <http://www.tkl.mdk.ksue.edu.ua>.

19. Бондар І.О. Контентний аналіз мультимедійного навчального комплексу «Теорія кольору». *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2018. Т. 63. № 1. С. 95–106.

20. Бондар І.О., Козлова А.В. Методика створення електронного ресурсу для сфери індустрії краси. *Scientific Journal "Science Rise"*. 2017. № 11 (40). С. 25–30.

21. 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. Т. 29 (68). № 5. С. 85–93.

22. Сервис Google Trends. URL: <https://support.google.com>.

23. Сервис Google Ad Words. URL: <https://adwords.google.com>.

24. Кини Р.Л. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. М.: Радио и связь, 1981. 560 с.

25. Подольская М.Н. Квалиметрия и управление качеством: лабораторный практикум. Ч. 1. Экспертные методы. Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011. 80 с.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ СТРУКТУРНОГО ПОСТРОЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО РЕСУРСА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ СФЕРЫ УСЛУГ

В статье предложены этапы методики структуризации электронного ресурса, предназначенного для обучения специалистов сферы услуг. Акцентирована важность реализации анализа ключевых запросов в предметной области, обосновано решение относительно структурного построения электронного ресурса по рубрикам и целесообразным темам в рамках каждой из рубрик. Приведенные этапы методики позволяют принять обоснованное решение относительно множества тем в каждой из рубрик. Реализация этапов методики осуществляется посредством использования математического инструментария. Для повышения наглядности данного процесса он демонстрируется на примере расчетов для электронного ресурса (в виде сайта), предназначенного для обучения будущих специалистов по предоставлению услуг в индустрии красоты.

Ключевые слова: электронный обучающий ресурс, рубрики, темы, этапы методики, структурный элемент, эксперты.

METHOD DEVELOPMENT FOR CONSTRUCTING AN ELECTRONIC RESOURCE FOR TRAINING SPECIALISTS IN THE SERVICE SECTOR

The article suggests the stages of structuring an electronic resource intended for training specialists in the service sector. Emphasized the importance of the implementation key queries analysis in the subject area, a reasonable decision regarding the structural construction of the electronic resource by rubrics and appropriate topics within each of the rubrics. The above steps of the methodology allow you to make an informed decision regarding the set of topics in each of the headings. Implementation methodology stages is carried out

through the use of mathematical tools. To increase the visibility of this process, it is demonstrated on the example of calculations for an electronic resource (in the form of a website) intended for training future specialists in providing services in the beauty industry.

Key words: *electronic learning resource, rubrics, themed, technique stages, structural element, experts.*

УДК 004.9:681.5

Чекурін В.Ф.

Інститут прикладних проблем механіки і математики імені Я.С. Підстригача
Національної академії наук України

Химко О.М.

Національний університет «Львівська політехніка»

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЦІЛІСНОСТІ ЛІНІЙНОЇ ЧАСТИНИ МАГІСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДУ

Магістральний газопровід є лінійною структурою компресорних станцій і ділянок лінійної частини (секцій), кожну з яких, у свою чергу, можна розглядати як лінійну структуру послідовно з'єднаних вузлових і лінійних елементів. У статті, виходячи з повної системи рівнянь газової динаміки для довгих трубопроводів і з використанням розв'язків крайових задач, сформульованих у рамках цієї моделі, побудовано функціонали для лінійних і вузлових елементів, які в інтегральній формі визначають відхилення від законів збереження маси й імпульсу газу в елементі. Функціонали залежать від функцій, які визначають зміну в часі параметрів газових потоків на вході та виході. З використанням цих функціоналів сформульовані критерії цілісності лінійних і вузлових елементів, які можна використати для розроблення методології неперервного контролю цілісності лінійної частини магістральних газопроводів на основі даних моніторингу значень тиску і температури на входах і виходах усіх елементів кожної секції та швидкості потоку газу в трубопроводі на вході секції.

Ключові слова: магістральний трубопровід, цілісність лінійної частини, математичні моделі, рівняння динаміки газу, критерії цілісності.

Постановка проблеми. Магістральні газопроводи (далі – МГ) є об'єктами тривалої експлуатації. Значна частина МГ України вже вичерпала свої проектні терміни експлуатації. Технологічні об'єкти МГ, такі як газорозподільні станції (далі – ГРС), лупінги, резервні нитки, переходи через природні та штучні перешкоди тощо можуть ідентифікуватися як об'єкти підвищеної небезпеки [1]. За таких умов виникають загрози неконтрольованої розгерметизації МГ і, як наслідок, підвищуються ризики виникнення ситуацій, небезпечних для довкілля і людей, а також зростають рівні можливих матеріальних і фінансових втрат у разі виникнення аварійних ситуацій. Тому запровадження неперервного контролю цілісності МГ є ефективним підходом до організації безпечної експлуатації МГ, які перебувають у експлуатації тривалий час. Це узгоджується з нормативними документами України [2; 3], а також сучасними підходами до управління цілісністю трубопроводних транспортних систем [4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Методи і системи контролю цілісності інженерних об'єктів можна поділити на дві категорії [5]. Системи першого типу інформують, що незабаром може відбутися подія, пов'язана з порушенням цілісності об'єкта (англ. before the event systems), тоді як системи другого типу інформу-

ють вже про факт настання такої події (англ. after the event systems).

У застосуванні до контролю цілісності лінійної частини (далі – ЛЧ) МГ серед систем першого типу виокремимо внутрішньотрубне діагностування (далі – ВТД) (англ. in-line pipeline diagnostics) із використанням інтелектуальних снарядів-дефектоскопів [6; 7]. Отримані таким чином дані надають карти розташування корозійних та інших дефектів тіла труби, інформацію про їхні розміри. На основі даних ВТД, використовуючи методи механіки руйнування, оцінюють залишкову міцність труби в колі дефекту [6]. На цій основі приймають рішення щодо заходів, яких слід ужити, щоб запобігти розгерметизації ділянки ЛЧ, що містить дефект.

ВТД може проводитися періодично з метою обстеження корозійного стану, геометрії труби, виявлення дефектів тіла труби і зварних з'єднань, захисного покриття тощо [1]. Застосування цієї технології вимагає значних затрат – для її реалізації необхідні коштовні інструменти та персонал високої кваліфікації. В Україні такі дослідження проводять переважно за контрактами із закордонними фірмами. Слід підкреслити, що технічний стан об'єктів МГ, які віднесені до категорії об'єктів підвищеної небезпеки [1], може досягати критичного за час, значно менший за період між

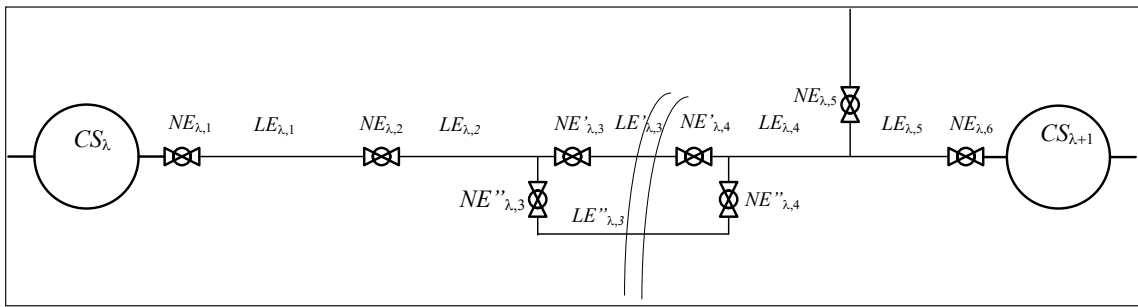


Рис. 1. Спрощена технологічна схема гіпотетичної секції МГ: CS_{λ} і $CS_{\lambda+1}$ – компресорні станції, $NE_{\lambda,k}$ – кранові вузли, $LE_{\lambda,k}$ – лінійні елементи.

двома послідовними обстеженнями методами ВТД. Тому для контролю цілісності таких технологічних об'єктів ЛЧ МГ слід застосовувати більш оперативні методи діагностування.

Серед методів другого типу (after the event) виокремимо метод моделювання газодинамічних процесів у реальному часі (далі – МГДПРЧ). Він базується на виявленні витоків із газопроводів на основі даних вимірювання тиску P та температури T газу в трубі, а також швидкості V його руху (чи витрати Q) в декількох точках вздовж траси інспектованої ділянки ЛЧ МГ. Цей метод дозволяє практично у реальному часі виявляти розгерметизацію труби та визначати інтенсивність витоку.

У науковій літературі є багато публікацій на тему застосування МГДПРЧ і алгоритмічних методів виявлення витоків (див., наприклад, [5; 10]). Зокрема, подібну технологію діагностування, відому як RTTM (англ. Real Time Transient Modeling) розробила і пропонує на ринку фірма Krome (Нідерланди). Однак цей метод зорієнтований на довгі лінійні елементи – ділянки трубопроводу довжиною декілька десятків кілометрів і більше, які в моделях газової динаміки слід розглядати як системи з розподіленим параметрами (довгі трубопроводи). Водночас дослідженнями встановлено [11], що найбільші об'єми витоків створюють такі технологічні елементи ЛЧ МГ, як продувальні свічі й елементи запірно-регулювальної арматури. Ці елементи створюють локальні гідравлічні опори. До цієї категорії віднесемо також технологічні об'єкти підвищеної небезпеки, такі як перемички, переходи через природні та штучні перешкоди (ріки, дороги, мости, залізничні тощо), а також ділянки ЛЧ, на яких методами ВТД виявлені скупчення дефектів.

У публікації [12] в рамках моделі газової динаміки сформульовані обернені задачі виявлення й ідентифікації витоку, зумовленого локальною розгерметизацією труби на ділянці лінійної частини

МГ, на основі даних вимірювання значень тиску за відомої витрати на одному з кінців цієї ділянки за стаціонарних режимів роботи. Розроблений варіаційний метод розв'язування сформульованих задач, із використанням якого проведені числові дослідження й отримані кількісні оцінки точності визначення місця розгерметизації й інтенсивності витоку.

У статті [13] запропонована модель динаміки газу у довгому трубопроводі у разі виникнення локальної розгерметизації, в рамках якої досліджені інформативні параметри для обернених задач виявлення й ідентифікації витоків на ділянці МГ за нестаціонарних режимів.

Постановка завдання. Метою статті є розробка математичної моделі для контролю цілісності ЛЧ МГ із використанням розроблених раніше числових методів розв'язування задач динаміки газу в трубопроводі за стаціонарних і нестаціонарних режимів [12; 13].

Виклад основного матеріалу дослідження.
Модель структури МГ. Правила [1] визначають МГ як споруду з герметично з'єднаних між собою труб, призначену для переміщення газу на великі відстані. МГ – це сукупність двох складників ЛЧ і компресорних станцій (далі – КС). Лінійна частина МГ є ниткою, звареною з окремих труб і покладеною підземним чи надземним способом.

КС поділяють нитку МГ на окремі ділянки (секції) довжиною 120–150 км. До лінійної частини входять також кранові вузли (далі – КВ), лупінги і відводи від основної магістралі, переходи через природні та штучні перешкоди тощо. Кранові вузли встановлюють на лінійній частині магістрального газопроводу на відстанях, не менших за 30 км, які включають запірні пристрої (крани), обвідні та продувні лінії. Крім того, КВ розміщують із обох сторін переходів через природні і штучні перешкоди, на всіх відводах від МГ, на ділянках, прилеглих до компресорних станцій, на відстані 500–700 м до кордонів їх території, на свічках і факелах для скидання газу [14].

На рис. 1 показана спрощена технологічна схема секції S_λ МГ між двома КС, побудована згідно з даними, наведеними в публікації [14]. Секція містить вісім КВ, перехід через перешкоду (зображена двома кривими лініями) та відведення від МГ (містить КВ). На схемі розглянутий випадок переходу, реалізованого двома нитками, який використовують на водних перешкодах. Як бачимо з наведеної схеми, КВ поділяють секцію на лінійні елементи (ЛЕ) різної довжини.

Структуру, зображену на рисунку, трансформуюмо в лінійну, вводячи еквівалентні вузлові $NE_{\lambda,3}$, $NE_{\lambda,4}$ та лінійний $LE_{\lambda,3}$ елементи:

$$NE_{\lambda,3} = NE'_{\lambda,3} \cup NE''_{\lambda,3} \cdot NE_{\lambda,4} = NE'_{\lambda,4} \cup NE''_{\lambda,4} \cdot LE_{\lambda,3} = LE'_{\lambda,3} \cup LE''_{\lambda,3}, \quad (1)$$

Виходячи з цього, розглядатимемо топологічну модель секції як лінійну структуру ЛЕ, пов'язаних вузловими елементами – КВ:

$$S_\lambda = [NE_{\lambda,1}, LE_{\lambda,1}; NE_{\lambda,2}, LE_{\lambda,2}; \dots; NE_{\lambda,N_\lambda}, LE_{\lambda,N_\lambda}; NE_{\lambda,N_\lambda+1}] \quad (2)$$

Тут N_λ – кількість лінійних елементів в секції $\lambda=1,2,\dots, N$, N – кількість секцій у МГ. Прямокутні дужки вказують на те, що елементи, які вони охоплюють, утворюють послідовність.

Елементам топологічної моделі секції призначені певні геометричні та фізичні параметри, множини яких різні для лінійних і вузлових елементів.

Множина геометричних параметрів $GL_{\lambda,k}$ лінійного елемента містить його діаметр труби $D_{\lambda,k}$, довжину $l_{\lambda,k}$, три функції, які визначають профіль траси у тривимірному просторі $x(l), y(l), z(l)$, $l \in l_{\lambda,k}$:

$$GL_{\lambda,k} = \{D_{\lambda,k}, l_{\lambda,k}, x(l), y(l), z(l)\} \quad (3)$$

Множина фізичних параметрів $PhL_{\lambda,k}$ лінійного елемента містить відносну висоту нерівностей внутрішньої поверхні труби $K_{\lambda,k}(l)$ та коефіцієнт теплообміну $h_{\lambda,k}(l)$, $l \in l_{\lambda,k}$ газу, який протікає через цей елемент, із середовищем, у якому він прокладений, визначені як функції вздовж

$$PhL_{\lambda,k} = \{K_{\lambda,k}(l), h_{\lambda,k}(l)\} \quad (4)$$

Множина геометричних параметрів $GN_{\lambda,k}$ вузлового елемента містить діаметри вхідного $D_{\lambda,k}^{in}$ і вихідного $D_{\lambda,k}^{out}$ отворів та об'єм $V_{\lambda,k}$ внутрішньої порожнини

$$GN_{\lambda,k} = \{D_{\lambda,k}^{in}, D_{\lambda,k}^{out}, V_{\lambda,k}\} \quad (5)$$

Множина фізичних параметрів $PhL_{\lambda,k}$ вузлового елемента містить локальний гідравлічний опір $\Lambda_{\lambda,k}$, який елемент створює, та коефіцієнт теплообміну $h_{\lambda,k}$ між газом і зовнішнім середовищем.

$$PhL_{\lambda,k} = \{\Lambda_{\lambda,k}, h_{\lambda,k}\} \quad (6)$$

Сукупності множин для лінійних елементів утворюють відповідні множини для секції:

$$GL_\lambda = \bigcup_{k=1}^{N_\lambda} GL_{\lambda,k}, \quad PhL_\lambda = \bigcup_{k=1}^{N_\lambda} PhL_{\lambda,k}, \quad (7)$$

$$GN_\lambda = \bigcup_{k=1}^{N_\lambda} GN_{\lambda,k}, \quad PhN_\lambda = \bigcup_{k=1}^{N_\lambda} PhN_{\lambda,k}$$

Представимо топологічну модель МГ як лінійну структуру секцій S_λ , послідовно з'єднаних між собою КС CS_λ :

$$M = [CS_1, S_1; CS_2, S_2; \dots; CS_N, S_N] \quad (8)$$

а множини її геометричних і фізичних параметрів визначаються як

$$GL = \bigcup_{\lambda=1}^N GL_\lambda, \quad PhL = \bigcup_{\lambda=1}^N PhL_\lambda, \quad (9)$$

$$GN = \bigcup_{\lambda=1}^N GN_\lambda, \quad PhN = \bigcup_{\lambda=1}^N PhN_\lambda$$

Математична модель руху газу через лінійний елемент. Ця модель містить термічне рівняння стану газу

$$P = z(\rho, T) R_g \rho T \quad (10),$$

а також диференціальні рівняння з частинними похідними, які визначають перенесення маси, імпульсу й енергії в трубі. За відсутності витоків ці рівняння можна звести до вигляду [13]

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = - \frac{\partial J}{\partial x} \quad (11)$$

$$\frac{\partial J}{\partial t} = - \frac{\partial (\rho^{-1} J^2)}{\partial x} - \left(c^2 \left(z + \rho \frac{\partial z}{\partial \rho} \right) \right) \quad (12)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial x} - \frac{\lambda}{2D} \rho^{-1} |J| J - \rho g \frac{\partial H}{\partial x}$$

$$\rho c_v \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_T \frac{\partial T}{\partial x} \right) - c_v J \frac{\partial T}{\partial x} - z(\rho, T) T \left((c_p - c_v) + R_g \right) \left(\frac{\partial J}{\partial x} - \frac{J}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x} \right) + \lambda \frac{J^2 |J|}{2D \rho^2} \quad (13)$$

Тут P, ρ, T – тиск, густина та температура газу, $R_g \equiv R/\mu_g$, R – універсальна газова стала, μ_g – молярна маса газу, $z(\rho, T)$ – функція надстислівості, яка враховує відхилення термодинамічних властивостей від моделі ідеального газу, $J = \rho V$ – густина потоку газу (масова витрата), V – швидкість руху газу в трубі, λ – коефіцієнт гідравлічного опору труби (визначається за відомими формулами за значенням відносної висоти нерівностей внутрішньої поверхні труби), $H = H(l)$ – функція, що визначає профіль висот лінійного елемента, c_v, c_p – питомі теплоємкості газу за сталих об'єму та тиску.

Розглянемо для системи (11) – (13) три типи крайових умов:

$$J|_{x=0} = J_{in}(t), \quad \rho|_{x=L} = \rho_{out}(t), \quad T|_{x=0} = T_{in}(t), \quad T|_{x=L} = T_{out}(t) \quad (14)$$

$$\rho|_{x=0} = \rho_{in}(t), \quad \rho|_{x=L} = \rho_{out}(t), \quad T|_{x=0} = T_{in}(t), \quad T|_{x=L} = T_{out}(t) \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \rho|_{x=0} &= \rho_{in}(t), \quad J|_{x=L} = J_{out}(t), \quad T|_{x=0} = \\ &= T_{in}(t), \quad T|_{x=L} = T_{out}(t) \end{aligned} \quad (16)$$

Тут L – довжина трубопроводу.

Праві частини умов (14) – (16) є відомі функції часу, а у стаціонарному випадку – задані сталі.

Методи розв’язування задач (11) – (14) і (11) – (13), (14) у стаціонарному і нестационарному режимах розглянуті у публікаціях [12; 13].

Математична модель руху газу через вузловий елемент. Нехай діаметри вхідного і вихідного отворів вузлового елемента однакові $D_{in} = D_{out} = D$. Беручи до уваги малі розміри вузлового елемента, спростимо рівняння балансу маси й імпульсу (12), нехтуючи у ньому інерційним членом і доданком, який враховує колективну складову частину потоку імпульсу. В отриманому так рівнянні і в рівнянні (11) апроксимуємо залежності густини маси ρ і густини потоку маси J лінійними функціями. Прийдемо до співвідношень

$$J_{out} = J_{in} - \sqrt{\frac{D}{\lambda L z(\bar{P}, \bar{T}) R_g T_{cp}}} (P_{in}^2 - P_{out}^2) \quad (16)$$

$$\frac{d\bar{P}}{dt} = \frac{1}{L} \sqrt{\frac{D}{\lambda L z(\bar{P}, \bar{T}) R_g \bar{T}}} (P_{in}^2 - P_{out}^2) \quad (17)$$

Тут

$$\begin{aligned} \bar{\rho} &= (P_{in} + P_{out}) / \sqrt{z} R_g \bar{T}, \\ \bar{P} &\equiv (P_{in} + P_{out}) / 2, \quad \bar{T} \equiv (T_{in} + T_{out}) / 2. \end{aligned}$$

Критерії цілісності для лінійних елементів.

Отримаємо в рамках моделі (10) – (13) співвідношення, використаємо далі як критерій цілісності лінійного елемента. Нехай для кожного лінійного елемента на проміжку $\tau = [t_1, t_2]$ відомі функції правих частин крайових умов (14) і (15). Позначимо як Direct I та Direct II алгоритми розв’язування задач (11) – (14) та (11) – (13), (15) відповідно. Коли на вхід алгоритму Direct I подаємо функції $J_{in}(t), \rho_{out}(t), T_{in}(t), T_{out}(t), t \in \tau$, а також довжину L елемента й інші параметри, необхідні для обчислення коефіцієнтів рівнянь (12), (13), то на виході цього алгоритму отримаємо функції $\rho(x, t), J(x, t), T(x, t), x \in L, t \in \tau$, які визначають нестационарні розподіли густини мас, густини масового потоку і температури газу в елементі на проміжку часу τ . Ці ж функції отримає на виході алгоритму Direct II, якщо передамо йому функції $\rho_{in}(t), \rho_{out}(t), T_{in}(t), T_{out}(t), t \in \tau$ та інші необхідні дані. Надалі ми не використовуватимемо температуру $T(x, t)$, тому запишемо це у вигляді $J(x, t)$

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} \rho(x, t) \\ J(x, t) \end{pmatrix} &= \text{Direct I}(J_{in}(t), \rho_{out}(t), \tau, L), \\ \begin{pmatrix} \rho(x, t) \\ J(x, t) \end{pmatrix} &= \text{Direct II}(\rho_{in}(t), \rho_{out}(t), \tau, L) \end{aligned}$$

Алгоритми повертають дві функції, доступ до яких отримуємо, застосовуючи нижній індекс, наприклад: $\rho(x, t) = \text{Direct I}_1, J(x, t) = \text{Direct I}_2$.

Кожен із алгоритмів використовує лише дві функції з трьох заданих на краях лінійного елемента. Використаємо цей надлишок інформації для побудови критерію цілісності ЛЕ. Обчисливши функцію $\rho_{DirI}(x, t) = \text{Direct I}_1$, у точці $x = 0$, отримаємо функцію $\rho_{DirI}(0, t)$, яка визначає на проміжку τ зміну густини ρ на вході в елемент, розраховану з використанням алгоритму Direct I. Аналогічно, обчисливши функцію $J_{DirII}(x, t) = \text{Direct II}_2$ в точці $x = 0$, отримаємо функцію $J_{DirII}(0, t)$, яка визначає на проміжку τ зміну густини потоку J на вході в елемент, розраховану з використанням алгоритму Direct II.

Модель (11) – (13) і, відповідно, розв’язки задач, отримані з використанням алгоритмів Direct I і Direct II, справедливі лише за відсутності витоків. Тому, якщо ЛЕ цілісний, розраховані функції $\rho_{DirI}(0, t)$ та $J_{DirII}(0, t)$ повинні бути достатньо близькі (з урахуванням можливих похибок обчислень) до заданих функцій $\rho_{in}(t)$ та $J_{in}(t)$ відповідно.

Утворимо функціонал

$$F_{LE} = \frac{1}{2(t_2 - t_1)} \left(\int_{t_1}^{t_2} (\rho_{in}(t) - \rho_{DirI}(0, t))^2 dt + \int_{t_1}^{t_2} (J_{in}(t) - J_{DirII}(0, t))^2 dt \right) \quad (20),$$

який за нормою L_2 визначає відхилення розрахованих функцій густини маси і густини масового потоку на вході в ЛЕ від заданих. Якщо три задані функції $J_{in}(t), \rho_{in}(t)$ та $\rho_{out}(t)$ точно узгоджуються між собою в рамках моделі (11) – (13) й отримані розв’язки $\rho_{DirI}(x, t)$ та $J_{DirII}(x, t)$ також точні, то функціонал дорівнює нулю. Проте, якщо функції $J_{in}(t), \rho_{in}(t), \rho_{out}(t)$ отримані на основі емпіричних даних, то внаслідок похибок вимірювання вони узгоджуються між собою з деякою похибкою. Розв’язки прямих задач $\rho_{DirI}(x, t)$ та $J_{DirII}(x, t)$, отримані чисельно, також наближені. Тому приймемо за критерій цілісності ЛЕ умову

$$F_{LE} \leq \varepsilon_{LE} \quad (21),$$

де ε_{LE} – додатне число, яке визначають на основі даних вимірювань і числових експериментів.

Якщо замість функції потоку $J_{in}(t)$ на вході ЛЕ задана функція потоку $J_{out}(t)$ на його виході, то, використовуючи алгоритм Direct III розв’язування задачі динаміки газу (11) – (13), (16), що повертає нестационарні розподіли $\rho(x, t)$ та $J(x, t)$ в елементі, утворимо функціонал

$$F_{LE} = \frac{1}{2(t_2 - t_1)} \left(\int_{t_1}^{t_2} (\rho_{out}(t) - \rho_{Dir III}(L, t))^2 dt + \int_{t_1}^{t_2} (J_{out}(t) - J_{Dir II}(L, t))^2 dt \right) \quad (22),$$

який за відсутності розгерметизації задовольняє умову (21).

Критерій цілісності для вузлових елементів.

Критерій цілісності ВЕ отримаємо, виходячи з диференціального рівняння (17).

Нехай задані функції часу $P_{in}(t)$, $P_{out}(t)$, $T_{in}(t)$, $T_{out}(t)$ $t \in \tau$, що визначають на інтервалі τ тиск і температуру газу на вході і виході. Утворимо функціонал

$$F_{NE} = \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{d\bar{\rho}}{dt} - \frac{1}{L} \sqrt{\frac{D}{\lambda L_z (\bar{P}, \bar{T}) R_g \bar{T}}} (P_{in}^2 - P_{out}^2) \right)^2 dt \quad (23)$$

Тут $\bar{\rho}$ – функція від часу, яка з використанням рівняння стану (10) виражається через значення тиску і температури на вході і виході ВЕ

$$\bar{\rho}(t) = \frac{P_{in}(t) + P_{out}(t)}{\bar{z}(t) R_g \bar{T}(t)} \quad (24),$$

де $\bar{T}(t) = \frac{1}{2}(T_{in}(t) + T_{out}(t))$.

Після диференціювання функції (24) і підстановки результату у формулу (23) отримаємо під знаком інтеграла функцію часу, що залежить від заданих функцій $P_{in}(t)$, $P_{out}(t)$, $T_{in}(t)$, $T_{out}(t)$ і їхніх похідних.

З використанням функціоналу (23) утворимо критеріальне співвідношення

$$F_{NE} \leq \varepsilon_{NE} \quad (25),$$

яке виконується, коли ВЕ є герметичний (витік відсутній).

Висновки. Запровадження неперервного контролю цілісності МГ, які перебувають в експлуатації тривалий час, є ефективним підходом до організації безпечної їх експлуатації.

МГ є лінійною структурою компресорних станцій і ділянок лінійної частини (секцій). КВ розділяють секцію МГ (ділянку між двома компресорними станціями) на ділянки різної довжини (лінійні елементи). Кожен ЛЕ є довгим трубопроводом, рух газу в якому описують диференціальні рівняння газової динаміки з частинними похідними, залежні від просторової координати і часу. КВ, які з'єднують сусідні ЛЕ, у деякому наближенні можна розглядати як системи із зосередженими параметрами (вузлові елементи) – модель динаміки газу в них можна звести до звичайних диференціальних рівнянь, залежних від часу. Отже, топологічну модель секції можна подати у вигляді лінійної структури послідовно з'єднаних вузлових і лінійних елементів.

Це дозволяє звести задачу контролю цілісності секцій МГ до послідовного контролю лінійних і вузлових елементів кожної секції.

У рамках моделі динаміки газу в довгому трубопроводі, яка містить рівняння перенесення маси імпульсу й енергії, ключовими функціями якої є густина маси ρ , густина масового потоку J та температура T , залежні від координати x і часу t , отримані критерії цілісності лінійних елементів. Для побудови критеріїв ми розглянули випадок, коли множина заданих функцій крайових умов на густину маси ρ і густину масового потоку J переозначена (замість двох крайових функцій задані три). З використанням цих даних побудували два функціонали. Для їх побудови використали чисельні розв'язки трьох крайових задач, сформульованих у рамках моделі динаміки газу в довгому трубопроводі. У першій задачі задана функція $J_{in}(t)$, що визначає зміну потоку на вході $x = 0$ елемента, і функція $\rho_{out}(t)$, яка визначає зміну густини на виході $x = L$, у другій – функції $\rho_{in}(t)$ та $\rho_{out}(t)$, котрі визначають зміну густини на вході і виході елемента, а у третій – функції $\rho_{in}(t)$ та $J_{in}(t)$, які визначають зміну густини на вході і потоку на виході. Перший функціонал побудували з використанням розв'язків першої та другої задач. Він визначає відхилення за нормою L_2 значень густини $\rho|_{x=0}$, визначеної на основі чисельного розв'язку першої задачі, та потоку $J|_{x=0}$, визначеного на основі чисельного розв'язку другої задачі, від заданих функцій $\rho_{in}(t)$ та $J_{in}(t)$ відповідно. Другий функціонал побудували з використанням розв'язків третьої та другої задач. Він визначає відхилення за нормою L_2 значень густини $\rho|_{x=L}$, визначеної на основі чисельного розв'язку третьої задачі, та потоку $J|_{x=L}$, визначеного на основі чисельного розв'язку другої задачі, від заданих функцій $\rho_{out}(t)$ та $J_{out}(t)$ відповідно. З використанням побудованих функціоналів сформульовані критеріальні співвідношення цілісності ЛЕ.

Виходячи з повної системи рівнянь динаміки газу та з урахуванням малих розмірів ВЕ, розглянуто спрощену модель руху газу через вузловий елемент. Вона містить звичайні диференціальні рівняння, залежні від часу. В рамках цієї моделі отримано співвідношення, яке за нестационарних умов пов'язує різницю значень масового потоку на вході і виході з параметрами газу на вході та виході елемента (тисками $P_{in}(t)$, $P_{out}(t)$ і температурами $T_{in}(t)$, $T_{out}(t)$). Побудовано функціонал, залежний від параметрів $P_{in}(t)$, $P_{out}(t)$ і $T_{in}(t)$, $T_{out}(t)$, що визначає в інтегральній формі відхилення від закону збереження маси в

елементі, з використанням якого сформульовано критерій його цілісності.

Із використанням сформульованих критеріїв цілісності вузлових і лінійних елементів у подальших дослідженнях буде розроблена методологія

неперервного контролю цілісності лінійної частини МГ на основі даних моніторингу значень тиску і температури на входах і виходах усіх елементів та швидкості потоку газу в трубопроводі на вході кожної секції.

Список літератури:

1. Правила безпечної експлуатації магістральних газопроводів / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0292-10#o37>.
2. Закон України «Про об'єкти підвищеної небезпеки» / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2245-14>.
3. Постанова Кабінету Міністрів України «Про ідентифікацію та декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки» / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/956-2002-п>.
4. Mora R.G., Hopkins P., Cote E.I., Shie T. Pipeline Integrity Management Systems: A Practical Approach. US: ASME Press 2016. 350 p.
5. Leak Detection Based Pipeline Integrity Systems. Guidance note. Glasgow: TUV NEL Ltd. 2010. 7 p.
6. Vanaei H.R., Eslami A., Egbewande A. A review on pipeline corrosion, in-line inspection (ILI), and corrosion growth rate models Int. J. of Pressure Vessels and Piping. 2017. № 149. P. 43–54.
7. Іваник Є.Б. Досвід діагностування магістральних газопроводів ДК «Укртрансгаз» за допомогою внутрішньотрубних інспекційних поршнів. *Трубопровідний транспорт*. 2010. № 5 (65). С. 9–11.
8. Tetzner R. Model-based Pipeline Leak Detection And Localization. *3R international*. 2003. № 42. 7. P. 455–460
9. Geiger G. Principles of Leak Detection. URL: https://cdn.krohne.com/fileadmin/content/files-2/PipePatrol/KROHNE_Gerhard_Geiger_Principles_of_Leak_Detection_2012.pdf
10. Murvay P.-S., Silea I. A survey on gas leak detection and localization techniques. *Journal of Loss Prevention in the Process Industry*. 2012. № 25. P. 966–973.
11. Акопова Г.С., Дорохова Е.В., Попов П.Б. Оценка объемов потерь метана с утечками от технологического оборудования газотранспортных объектов ОАО «Газпром». *Научно-технический сборник «Вести газовой науки»*. 2013. № 2 (13). С. 63–67.
12. Чекурін В., Химко О. Математичні моделі для ідентифікації витоку в довгому газопроводі. *Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології*. 2017. Вип. 25. С. 157–169.
13. Чекурін В., Химко О. Чисельне дослідження перехідних процесів у довгому газопроводі, спричинених розгерметизацією. *Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології*. 2017. Вип. 26. С. 100–111.
14. Котляр І.Я., Пиляк В.М. Эксплуатация магистральных газопроводов. Ленинград: «Недра», 1971.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОНТРОЛЯ ЦЕЛОСТНОСТИ ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА

Магістральний газопровод представляє собою лінійну структуру компресорних станцій і участків лінійної частини (секцій), кожен з яких, в свою чергу, можна розглядати як лінійну структуру послідовно з'єднаних вузлових і лінійних елементів. В статті, виходячи з повної системи рівнянь газової динаміки для довгих трубопроводів і з використанням рішень крайових задач, сформульованих в рамках цієї моделі, побудовано функціонали для лінійних і вузлових елементів, які в інтегральній формі визначають відхилення від законів збереження маси і імпульсу газу в елементі. Функціонали залежать від функцій, які визначають зміну в часі параметрів газових потоків на вході і виході. З використанням цих функціоналів сформульовані критерії цілісності лінійних і вузлових елементів, які можна використовувати для розробки методології неперервного контролю цілісності лінійної частини магістральних газопроводів виходячи з даних моніторингу значень тиску і температури на входах і виходах всіх елементів кожної секції і швидкості потоку газу в трубопроводі на вході секції.

Ключевые слова: магістральні трубопроводи, цілісність лінійної частини, математичні моделі, рівняння динаміки газу, критерії цілісності.

**MATHEMATICAL MODEL FOR MONITORING THE INTEGRITY
OF THE LINEAR PART OF THE GAS PIPELINE**

The main gas pipeline is a linear structure of compressor stations and sections of the linear portion, each of which, in turn, can be considered as a linear structure of sequentially connected node and linear elements. In the article, basing on the complete system of gas dynamics equations for long pipelines and using numerical solutions of boundary value problems formulated within the framework of this model, functionals are constructed for linear and nodal elements, which in integral form determine deviations from the laws of mass and momentum conservation of gas in the element. The functionals depend on the functions that determine the time variation of the parameters of the gas flows at the inlet and outlet. Using these functionals, we formulated the integrity criteria for linear and node elements that can be used to develop a methodology for continuous monitoring of the integrity of the linear part of gas pipelines basing on monitoring pressure and temperature values at the inputs and outputs of all elements of each section and gas flow rate at the inlet sections.

Key words: *main pipelines, integrity of the linear part, mathematical models, gas dynamics equations, integrity criteria.*

УДК 504.064

Чумаченко С.М.

Національний університет харчових технологій

Андріюк О.П.

Національний університет харчових технологій

Прокопенко В.В.

Національний університет харчових технологій

ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНА СИСТЕМА ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ ОЦІНКИ ЯКОСТІ СТАНУ ҐРУНТОВИХ ВОД У ЗОНІ ТЕХНОГЕННОГО ВПЛИВУ МІЖНАРОДНОГО АЕРОПОРТУ «БОРИСПІЛЬ»

У даній публікації розглянуто особливості реалізації інформаційно-аналітичної системи для здійснення екологічного моніторингу та оцінки стану ґрунтових вод і складових частин навколишнього середовища в зоні впливу техногенного об'єкта – міжнародного аеропорту «Бориспіль». Розроблено програмно-апаратні засоби для здійснення екологічного моніторингу в зоні впливу міжнародного аеропорту «Бориспіль» на основі використання безконтактних сенсорних мереж, Web-орієнтованих засобів візуалізації бази даних екологічного моніторингу із застосуванням аналітичної графіки та геоінформаційних технологій.

Ключові слова: екологічний моніторинг, техногенний об'єкт, міжнародний аеропорт «Бориспіль», екологічна оцінка, програмно-апаратний комплекс, база даних.

Постановка проблеми. Аеропорт «Бориспіль» є одним із найбільших міжнародних аеропортів України. Як свідчить статистика авіаційних перевезень, за даними об'єднання «Аеропорти України», на його долю припадає до 19% процентів загального пасажиропотоку міжнародних аеропортів України за 2018 рік (аеропорт «Київ» – 52%, аеропорт «Бориспіль» – 19%, аеропорт «Чернівці» – 51%, аеропорт «Львів» – 48%, аеропорт «Харків» – 19%, аеропорт «Запоріжжя» – 15%).

У результаті підвищення інтенсивності авіатransпортних перевезень у зоні техногенного впливу аеропорту Бориспіль підсилюється негативна дія як на зону аеропорту, так і на прилеглі до неї території, що призводить до виникнення проблем забруднення складових навколишнього природного середовища локального характеру.

Експлуатація авіатранспорту супроводжується технологічними викидами в атмосферу цілого ряду аерозолів та газоподібних забруднюючих речовин, проникненням у ґрунти та підземні водоносні горизонти паливно-мастильних матеріалів, важких металів, хлорорганічних сполук та інших забруднюючих речовин. У сучасних умовах джерела водопостачання населених пунктів Мартусівка та Гора, що знаходяться в зоні впливу

аеропорту, перебувають під інтенсивним техногенним навантаженням, яке супроводжується зміною гідрогеологічного, гідрохімічного, геохімічного та гідробіологічного режимів, руйнуванням встановленої протягом багатолітньої еволюції динамічної рівноваги процесів, що відбуваються в ґрунтових водах. Усе це спричиняє негативний вплив на прилеглі екосистеми та населення, що проживає в зоні впливу аеропорту «Бориспіль».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як свідчить аналіз публікацій про оцінку стану навколишнього природного середовища в зоні впливу техногенного навантаження аеропортів [1–4], однією з пріоритетних екологічних проблем є забруднення водоносного горизонту в районі розташування складу паливно-мастильних матеріалів (ПММ) ДП «Міжнародний аеропорт «Бориспіль», яке було виявлено ще у 1998 р.

Ураховуючи широкомасштабну діяльність ДП «Міжнародний аеропорт «Бориспіль», констатуємо факт, що на його території здійснюється забруднення не тільки гідросфери, а й приземного шару атмосфери та ґрунтів територій, що розміщені в зоні його впливу [5].

Постановка завдання. Джерела забруднення ДП «МА Бориспіль» можна умовно поділити на

Методи контролю забруднення води та їх нормативне забезпечення

№ зп	Методи контролю забруднення води	Стандарти, вимоги до контролю якості води
1.	Контроль органолептичних показників і фізико-хімічних характеристик	ІСО 7887 встановлює три методи визначення кольору: - шляхом візуального вивчення; - за допомогою оптичних приборів (спектрофотометрів); - порівняння з кольоровою шкалою.
2.	Контроль вмісту неорганічних сполук	Методика встановлює алгоритм кількісного визначення вмісту іонів амонію у стічних водах у діапазоні вмісту амоній-іонів 0,15-5 мг/дм ³ .
3.	Методика визначення нафтових вуглеводнів	Пробу води 1 л підкислюють до рН=2, додають 2 г NaCl на кожний літр рідини та проводять екстракцію тетрахлоридом вуглецю в ділильній лійці, додають розчинник.
4.	Методи біотестування	Встановлює процедуру біотестування на ракоподібних <i>Daphnia magna</i> Straus для визначення гострої токсичності поверхневих, підземних та зворотних вод, водних розчинів окремих речовин та їх сумішей із ґрунту.

декілька груп: ті, що знаходяться всередині аеропорту, і ті, що розташовані за його межами. Не є винятком забруднення території приреєвкового складу паливно-мастильних матеріалів (ПММ) Державного підприємства «Міжнародний аеропорт «Бориспіль» (ДП «МА Бориспіль»)), що було виявлено у 1998 р., а в 2001 р. в його межах розпочато ліквідаційні заходи.

Метою цієї публікації є представлення концепції інформаційно-аналітичної системи для проведення екологічної оцінки якості стану ґрунтових вод у зоні техногенного впливу ДП «МА Бориспіль», що дозволить відслідковувати просторово-часові зміни осередку нафтохімічного забруднення від складу ПММ аеропорту «Бориспіль» за результатами моніторингу та їх вплив на джерела водозабезпечення населених пунктів Мартусівка і Гора.

Виклад матеріалу дослідження. Розвиток сенсорів та безпроводних сенсорних мереж (БСМ) дозволяє здійснити новий підхід до вивчення навколишнього середовища, що створює нове науково-методичне підґрунтя, яке концептуально розширює можливості вирішення наукових та практичних проблем екологічного моніторингу ґрунтових вод.

Загальна схема техногенного впливу аеропорту на стан складових частин навколишнього середовища наведена на рис. 1.

Екологічний моніторинг відіграє важливу роль у вирішенні завдань екологічної безпеки для оцінки якості стану ґрунтових вод.

Створення сучасного програмного забезпечення для проведення інформаційно-аналітичної підтримки екологічного моніторингу стану ґрунтових вод у зоні впливу ДП «МА Бориспіль» створює додаткові засоби оперативного реагування на

зміну екологічної обстановки в прилеглих населених пунктах і надає змогу вжиття відповідних запобіжних заходів.

Цей підхід містить значні переваги, на відміну від стандартної статистичної технології, оскільки інформаційно-аналітична система екологічного моніторингу спрямована на підвищення рівня екологічної безпеки в зоні впливу ДП «МА Бориспіль», екологічної оцінки стану природно-техногенного середовища, забезпечення оперативності та якості інформаційного обслуговування користувачів на всіх рівнях.

Основні вимоги до організації екологічного моніторингу за допомогою хіміко-аналітичних лабораторій у селищах Мартусівка та Гора наведені в таблиці 1.

Сьогодні назріла необхідність створення нових підходів та методів щодо обробки, збереження та аналізу інформації про рівень забруднення ґрунтових вод у зоні впливу ДП «МА Бориспіль», яка зумовлена нестабільністю рівнів ґрунтових вод (РГВ) та можливою міграцією лінзи забруднення від складу ПММ в підземних водах [4].

Для вивчення техногенного впливу ДП «МА Бориспіль» застосовано комплексний підхід, що спирається на методологію екологічної оцінки еколого-техногенних загроз за такою схемою: «Об'єкт впливу» – «Шляхи розповсюдження впливу» – «Реципієнти впливу» (див. рис. 2).

Відповідно до цього підходу було побудовано систему критеріїв, факторів та ознак, що попередньо дозволяють побудувати процедури експертно-аналітичного оцінювання за вищенаведеною схемою.

Із результатів аналізу екологічних об'єктів, реципієнтів впливу, а саме селищ Мартусівка та Гора, що знаходяться в зоні впливу ДП «МА Бориспіль»,

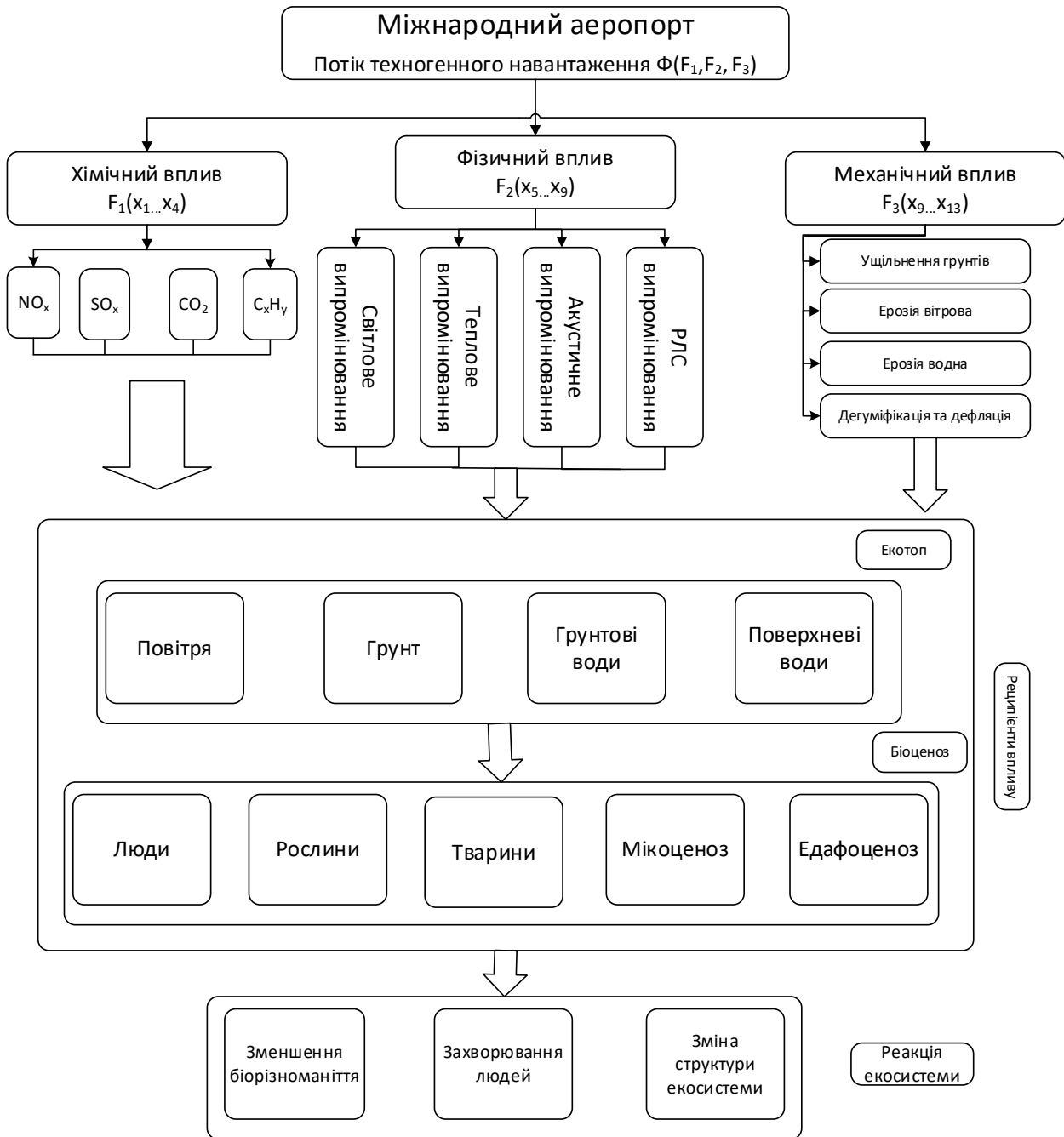


Рис. 1. Загальна схема техногенного впливу міжнародного аеропорту на стан навколишнього середовища

було виявлено, що найбільш уразливою складовою частиною виступають ґрунтові води. Вони формують базу для забезпечення населення питною водою. Після цього було визначено набір даних екологічного моніторингу, які необхідні для вирішення основних задач екологічного моніторингу ґрунтових вод у даних населених пунктах.

Для оцінки якості ґрунтових вод використовувались гідрохімічні методи дослідження, які визначалися за такими показниками:

- 1) рН (водневий показник);
- 2) перманганатна окисність води [23];
- 3) кількість азотовмісних сполук (азот амонію, нітритів та нітратів);
- 4) жорсткість;
- 5) вміст нафтопродуктів;
- 6) наявність важких металів (Cu_{2+} , Cr_{6+} , Zn_{2+} , Pb_{2+});
- 7) сульфати;
- 8) мінералізація.

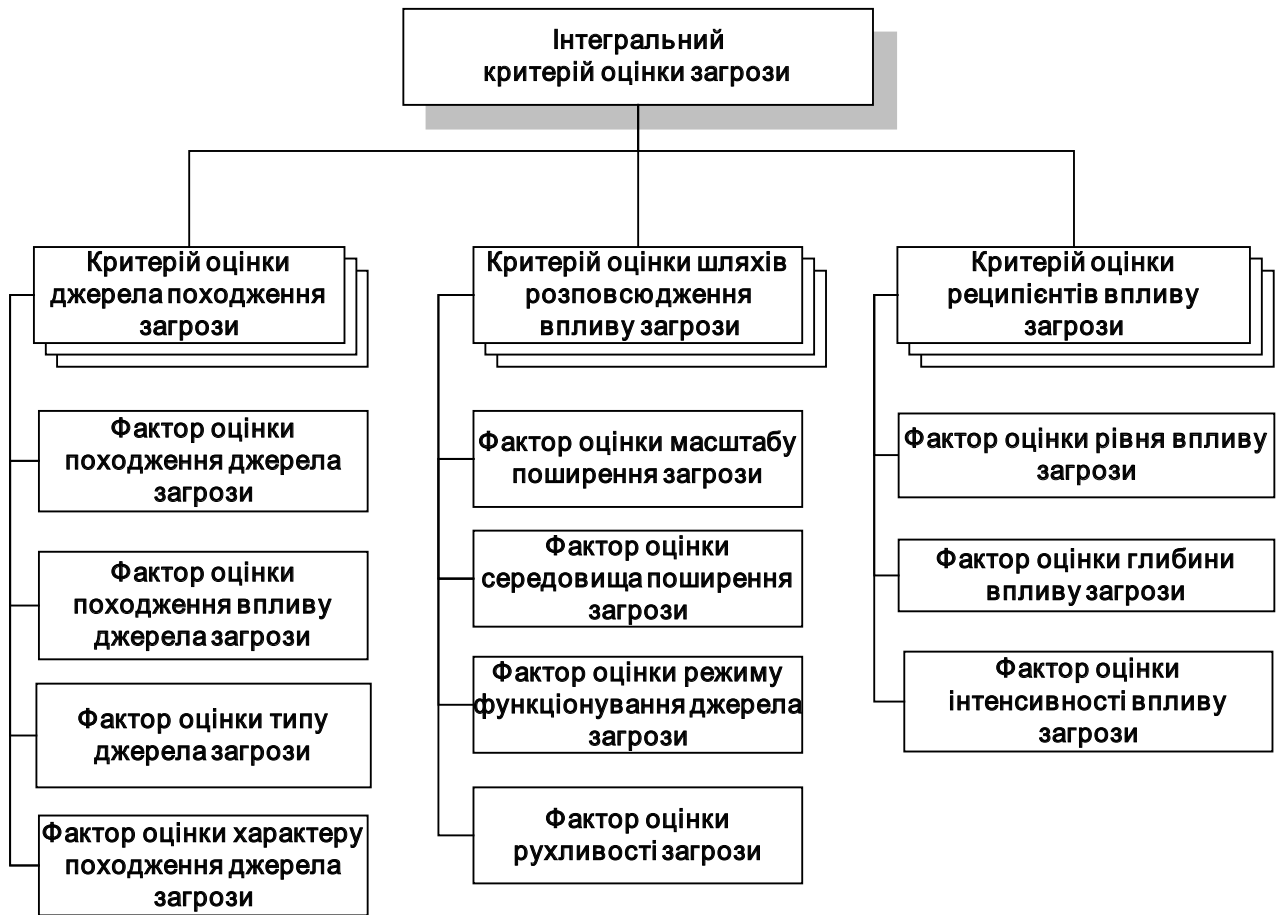


Рис. 2. Ієрархічне дерево критеріїв і факторів оцінки і ранжування еколого-техногенних загроз



А) Точки пробовідборів води на ґрунту с. Гора

Б) Точки пробовідборів води та ґрунту на с. Мартусівка

Рис. 3. Точки відбору проб питної води

За результатами аналізу пробовідборів (див. табл. 2) було проведено формування індексу забруднення води, який відповідно до СанПін 2.2.4-171-10 визначається за формулою:

$$ІЗВ = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{ГДК\ i}}$$

де C_i – концентрація забруднюючої речовини, що отримана за результатами лабораторних аналізів відібраних проб води та ґрунту;

$C_{ГДК\ i}$ – гранично допустиме значення концентрації відповідної забруднюючої речовини (відповідно до СанПін 2.2.4-171-10);

n – кількість забруднюючих речовин, що враховуються під час оцінки.

За величинами розрахованих ІЗВ виконується оцінка якості води. При цьому виділяються такі класи якості води:

- 1) дуже чиста ($ІЗВ < 0,3$);
- 2) чиста ($0,3 < ІЗВ < 1$);
- 3) помірно забруднена ($1 < ІЗВ < 2,5$);
- 4) забруднена ($2,5 < ІЗВ < 4$);
- 5) брудна ($4 < ІЗВ < 6$);
- 6) дуже брудна ($6 < ІЗВ < 10$);
- 7) надзвичайно брудна ($ІЗВ > 10$).

Проби питної води було відібрано в конкретних точках селищ Мартусівка та Гора, які наведено на рис. 3; результати аналізу проб наведено в таблиці 2.

Результати досліджень показали забрудненість ґрунтових вод нітратами, нітридами, важкими металами та нафтопродуктами.

Оцінюючи якість ґрунтових вод за органолептичними показниками, можна сказати, що вода має нормальну температуру: 9-10°C (у холодну пору року) та 15-18°C (у теплу пору року), без смаку та присмаку, не має забарвлення (прозора) та запаху, що свідчить про відсутність у воді звиблих часток як органічного, так і неорганічного походження.

Значення рН-середовища має велике значення у формуванні хімічного складу вод, процесах їх очищення, забезпеченні умов існування для рослинного й тваринного світу водойми. Зокрема, зниження рН сприяє підвищенню розчинності карбонатів, сульфідів, фосфатів, важких металів, збільшенню їх міграції і доступності для засвоєння живими організмами, отруєнню. Цей показник залежить від багатьох чинників: температури води, вмісту органічних речовин, діяльності живих організмів тощо.

За результатами досліджень рН ґрунтових вод в обох досліджуваних точках не виходить за межі допустимих значень (6,5–8,5).

Перманганатна окисність води використовується для оцінки вмісту органічних речовин і характеризує загальну концентрацію атомарного кисню, відповідає кількості перманганату, який витрачається під час обробки даним окисником у певних умовах певної проби води.

Окисність ґрунтових вод залежить від глибини їх залягання. Ґрунтові незабруднені води мають окисність, близьку до окисності артезіанських вод (≈ 2 мг/л).

Підвищена окисність води свідчить про забруднення джерела і потребує застосування від-

повідних заходів із його охорони у процесі використання для водозабезпечення.

У досліджуваній воді с. Гора показник перманганатної окисності має найбільше значення (26,0 мг О/дм³) в літній період і найменше (11,0 мг О/дм³) – в зимовий, а в с. Мартусівка – найбільше значення (41,0 мг О/дм³) в літній період і найменше (11,0 мг О/дм³) – в осінній.

На основі існуючих даних моніторингу якості ґрунтових вод було проведено порівняння з взятими пробами із зони впливу техногенного об'єкта. Зазначене зонування має переглядатись принаймні кожні два роки, а у випадку значного підвищення концентрацій забруднюючих речовин – частіше. Плани щодо покращення якості стану ґрунтових вод у зонах і агломераціях повинні містити заходи, що стосуються контролю в надзвичайних випадках. Плани підвищення якості ґрунтових вод найбільш забруднених зон повинні бути спрямовані на захист уразливих груп населення.

Розроблення та проектування WEB додатку включає в себе розробку бази даних екологічного моніторингу та застосування сучасних методів обробки та аналізу багатовимірної інформації про забруднення складових довкілля, ГІС-технології побудови екологічних карт та виявлення територій підвищеного ризику.

Екологічні карти, що відображають стан ґрунтових вод, можуть бути побудовані як на основі даних екологічного моніторингу, так і на основі екологічних індексів. Карты, побудовані на основі екологічних індексів, дають найбільш цілісне і інтегроване уявлення про екологічний стан досліджуваної території, оскільки одночасно враховується цілий ряд небезпечних показників.

Для полегшення змістовної інтерпретації даних моніторингу і результатів аналізу розроблено систему візуалізації екологічних ризиків та індексів, які можна безпосередньо наносити на електронну карту, тобто наочно відображувати території з різним екологічним статусом.

Висновки.

Застосовано комплексний підхід для вивчення техногенного впливу ДП «МА Бориспіль», що спирається на методологію екологічної оцінки еколого-техногенних загроз.

Розвиток сенсорів та безпроводних сенсорних мереж (БСМ) дозволяє об'єктивно підійти до вивчення забруднення навколишнього середовища, створює нове методичне підґрунтя, що концептуально розширює можливості вирішення наукових та практичних проблем із

застосуванням інтелектуальних мультисенсорних датчиків вимірювання первинної екологічної інформації.

Проведено детальний аналіз результатів моніторингу ґрунтових вод із використанням апробованої системи критеріїв, факторів та ознак, що

попередньо дозволяють побудувати процедури експертно-аналітичного оцінювання. Для полегшення змістовної інтерпретації даних моніторингу і результатів аналізу розроблено систему візуалізації із застосуванням сучасних інформаційних технологій.

Список літератури:

1. Буріченко Л.А., Гулевець В.Д. Охорона праці в авіації: Підручник. Київ: НАУ, 2013. 448 с.
2. Буріченко Л.А., Ененков В.Г., Науменко І.М., Протоерейский А.С. Охрана окружающей среды в гражданской авиации. Москва: Машиностроение, 1992. 320 с.
3. Франчук Г.М., Ісаєнко В.М. Екологія, авіація і космос: Навч. посіб. Київ: НАУ, 2005. 456 с.
4. Гаврилюк Р.Б., Загородній Ю.В. Просторово-часові зміни осередку нафтохімічного забруднення за результатами моніторингу. Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України, 2016. Т. 9. С. 28–35.
5. Шкапенко В.В., Кадошников В.М., Мусич Е.Г., Парамонова Н.К., Единач А.В. Трансформація керосина в ґрунтах под действием почвенных микроорганизмов. Збірник наукових праць Інституту геохімії навколишнього середовища, 2016. Вип. 25. С. 98–106.

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД В ЗОНЕ ТЕХНОГЕННОГО ВЛИЯНИЯ МЕЖДУНАРОДНОГО АЭРОПОРТА «БОРИСПОЛЬ»

В данной публикации рассмотрены особенности реализации информационно-аналитической системы для осуществления экологического мониторинга и оценки состояния грунтовых вод и элементов окружающей среды в зоне влияния техногенного объекта – международного аэропорта «Борисполь». Разработаны программно-аппаратные средства для осуществления экологического мониторинга в зоне влияния международного аэропорта «Борисполь» на основе использования бесконтактных сенсорных сетей, Web-ориентированных средств визуализации базы данных экологического мониторинга с применением аналитической графики и геоинформационных технологий.

Ключевые слова: экологический мониторинг, техногенный объект, экологическая оценка, программно-аппаратный комплекс, база данных.

INFORMATION AND ANALYTICAL SYSTEM FOR THE ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF THE QUALITY OF THE GROUNDWATER STATE IN THE AREA OF TECHNOGENIC INFLUENCE OF THE INTERNATIONAL AIRPORT “BORYSPIIL”

This publication discusses the features of the implementation of the information-analytical system for the implementation of environmental monitoring and assessment of the state of groundwater and environmental elements in the zone of influence of a technogenic object – Boryspil International Airport. Software and hardware tools have been developed for environmental monitoring in the zone of influence of the Boryspil International Airport based on the use of contactless sensor networks, Web-based means of visualization of the environmental monitoring database using analytical graphics and geo-information technologies.

Key words: environmental monitoring, technogenic object, environmental assessment, software and hardware complex, database.

УДК 628.88

Чумаченко С.М.

Національний університет харчових технологій

Гуйда О.Г.

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

Андріюк О.П.

Національний університет харчових технологій

Іващенко В.Г.

Національний університет харчових технологій

СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО СТВОРЕННЯ WEB-ОРІЄНТОВАНОЇ ПЛАТФОРМИ ДЛЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЗАМКНУТИМИ ЕКОСИСТЕМАМИ В УМОВАХ ЕКСТРЕМАЛЬНОГО ЗАБРУДНЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

У статті наведено програмні засоби для створення Web-орієнтованої платформи, розглянуто розробку як систему взаємопов'язаних підсистем та елементів, проілюстровано алгоритм роботи та схему залежності об'єктів.

Ключові слова: системний підхід, Web-орієнтована платформа, алгоритм роботи, база даних, сервер, форма прийому значень характеристик.

Постановка проблеми. Нині існує багато платформ для легкого створення web-сайтів, додатків та інших web-орієнтованих продуктів, наприклад, WordPress, uCoz, Wix, Webasyst, Diafan, uKit, Nethouse, SITE123, 1C-UMI, Okis, Jimdo [1]. Ви можете практично не мати навичок розробки, проте, коли потрібно змодельювати та розробити нешаблонний продукт, необхідно користуватися більш професійними засобами, знати декілька мов верстки (HTML, CSS) та мов програмування (JS, PHP, Python тощо).

Постановка завдання. Для розробки web-орієнтованої платформи для інформаційної системи управління замкнутими екосистемами (теплищами), та й взагалі web-інтерфейсів, які потребують деякого керування, необхідно виконати такі кроки:

- 1) виокремити підсистеми;
- 2) побудувати схему зв'язків визначених підсистем;
- 3) розробити логічну та фізичну схеми бази даних;
- 4) розгорнути створену базу даних на сервері;
- 5) створити та розробити концепт сайту;
- 6) підключити базу даних до сайту та створити необхідні запити;

7) відобразити необхідну інформацію, що зберігається у базі даних на Web-інтерфейсі;

Виклад основного матеріалу дослідження. Із визначення системного підходу виділимо такі підсистеми й елементи системи:

– Клієнт – людина, яка стежить за станом закритої екосистеми.

– Web-система – інтерфейс, що слугує посередником між клієнтом і базою даних.

– Запити – сформовані мовою програмування SQL команди, які дозволяють спілкуватися клієнту, серверу та датчикам між собою.

– Сервер – основна підсистема цієї моделі, що виступає в ролі мозку – обробляє запити, які надходять від web-інтерфейсу, приймає отриману інформацію від датчиків і записує її в базу даних, отримує дані з бази даних і відображає на сайті.

– Датчики – апаратні засоби, що розташовані в теплиці, зчитують інформацію з навколишнього середовища та відправляють її на зберігання до бази даних.

– База даних – сукупність інформації, систематизована таким чином, щоб її можна було легко знайти й обробити для подальшого використання клієнтом.

Схема, яка ілюструє взаємозв'язки у системі, наведена на рис. 1.

Специфікація довідника «Greenhouse»

Найменування	Тип даних	NULL	Primary	Foreign Key	Опис
ID	int		+		Ідентифікатор
Name	varchar	+			Назва теплиці
Square	float				Площа
Culture	int			+	Посаджені культури
Region	int			+	Місцезнаходження
Measurement	int			+	Останній вимір із датчиків
Status	int			+	Статус теплиці (нормально, потребує втручання, критично)

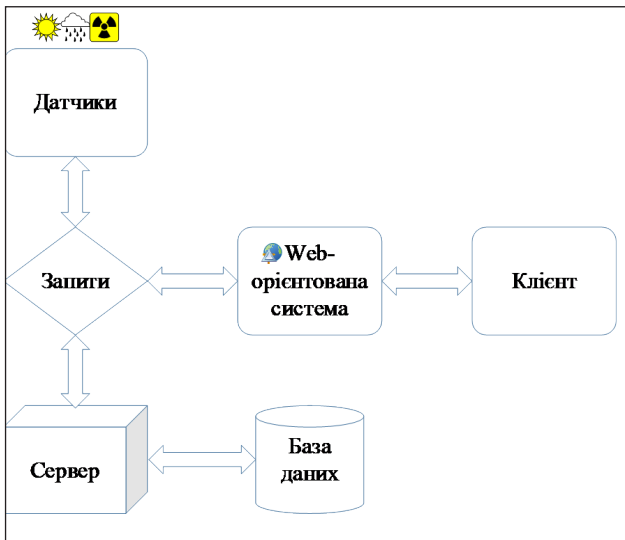


Рис. 1. Схема взаємозв'язків між елементами системи закритої екосистем

Розробка алгоритму роботи системи. Логічний алгоритм роботи Web-орієнтованої закритої екосистеми наведено на рис. 2. З рисунку можна зрозуміти, що процес доволі лінійний. Окрім того, підпроцес «Оновлення показників» зациклений, і його періодичність залежить від налаштувань.

Опис програмного забезпечення та технологій. Коротко опишемо програмне забезпечення, що використовується у розробці цієї web-системи.

Для роботи усього процесу необхідно мати сервер, наприклад, OpenServer. Це комплекс серверних програм і бібліотек, який можна розгорнути на локальному комп'ютері (для відлагоджування) під операційною системою Windows. OpenServer має усі необхідні налаштування відразу після встановлення [2]. Нас цікавить веб-додаток phpMyAdmin – середовище з відкритих кодом, написане мовою PHP. Будемо використовувати його для адміністрування бази даних.

Для розробки сайту та програмування подій, що відбуваються на ньому, використовується мова програмування Javascript. Вона дозволяє робити

сторінки, які реагують на дії користувача. У доповнення до неї йде jQuery – бібліотека Javascript, необхідна для швидкого створення функцій, що слугують для відправки HTTP запитів (GET, POST) до серверу й обробки інформації, яка прийшла від нього.

За верстку сайту відповідають такі мови, як HTML і CSS. Для спрощення створення основних елементів інтерфейсу використовується Bootstrap – набір інструментів для оформлення типографії, веб-форм, кнопок, міток, блоків навігації та інших компонентів.

Основні структурні елементи бази даних. Існують декілька типів баз даних: ієрархічна, мережева, функціональна, об'єктна, об'єктно-реляційна та реляційна [3]. Залежно від характеру роботи необхідно будувати базу за певним типом. Тому було прийнято рішення використовувати реляційний тип баз даних.

У такій моделі бази даних інформаційною конструкцією виступають таблиці. Кожна таблиця має атрибути, що характеризують дані, які містяться в ній.

Для розробки бази даних було використано довідники фізичних показників, дати, одиниці виміру, назви посаджених культур та ін. Наприклад, довідник «Greenhouse» призначений для зберігання інформації про основні характеристики теплиці. Довідник використовується в системі для інформування користувачів про останні зроблені виміри з датчиків, місцезнаходження і т. ін. Специфікація довідника «Greenhouse» наведена в табл. 1.

Щоб запобігти великій кількості атрибутів, потрібно ділити «широкі» таблиці на дочірні, не забуваючи про нормальні форми баз даних (1NF, 2NF, 3NF, ...) [4].

Наведемо приклад, де необхідно вивести інформацію про теплицю:

- дату зробленого останнього виміру;
- яскравість у теплиці;
- вологість;
- температуру;

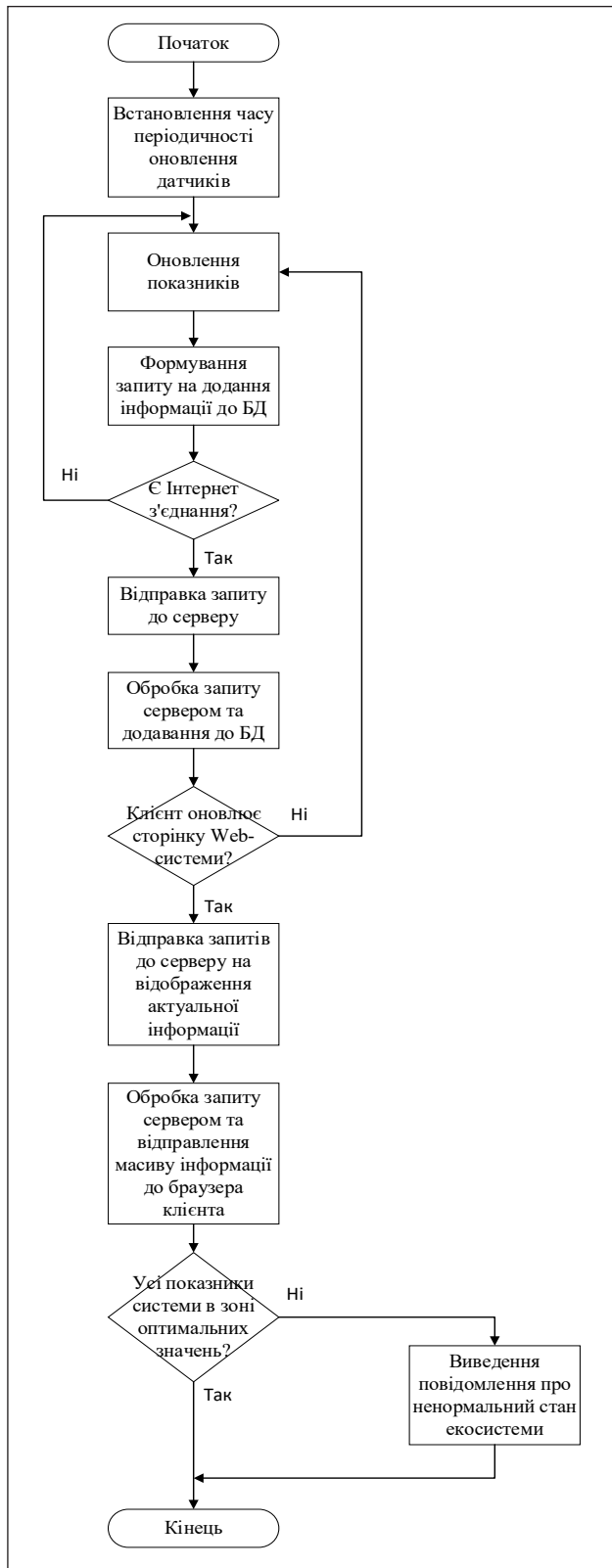


Рис. 2. Алгоритм роботи системи

- кислотність ґрунту;
- назву та площу теплиці;
- статус;
- регіон, тобто місцезнаходження.

Одночасно з цим визначимо кількість теплиць шляхом групування та сортування даних за вимірами. Далі проілюстровано код SQL, що виконує поставлену задачу.

```

SELECT Measurement.ID, Measurement.Date,
Measurement.Brightness, Measurement.Humidity,
Measurement.Temperature, Measurement.Acidity,
Greenhouse.Name, Greenhouse.Square, Status.
Status, Region.Region, Greenhouse.ID, City.City
FROM(((MeasurementINNER JOIN Greenhouse
ON Measurement.Greenhouse = Greenhouse.ID)
INNER JOIN Region ON Greenhouse.Region =
Region.ID)
INNER JOIN City ON City.ID = Region.City)
INNER JOIN Status ON Greenhouse.Status =
Status.ID)
GROUP BY Measurement.Greenhouse
ORDER BY Measurement.Date DESC
  
```

Цей запит буде виконано, коли користувач зайдє на веб-сторінку системи, сервер його обробить і відобразить інформацію у спеціальній формі. Форма має відповідні елементи для прийому конкретної інформації та форматування, зроблене за допомогою мов CSS і фреймворку Bootstrap (розробка форми наведена у наступному підзаголовку).

Побудова web-інтерфейсу. Нині розроблено базу даних, вона знаходиться на сервері, що обробляє запити, які надходять до нього. Необхідно створити форму, що прийматиме інформацію від серверу. Для цього використовується HTML, CSS, Bootstrap.

Далі наведено ієрархічну структуру форми:

1. Головний контейнер
 - 1.1. Зображення теплиці (візуальний компонент)
 - 1.2. Контейнер для інформації
 - 1.2.1. Назва теплиці
 - 1.2.2. Місцезнаходження
 - 1.2.3. Блок для характеристик
 - 1.2.3.1. Зображення яскравості, вологості і т. д.
 - 1.2.3.2. Відповідне значення
 - 1.2.4. Час оновлення характеристик
 - 1.2.5. Статус теплиці

Таким чином, інформація заповнюється у відповідні блоки.

Висновок. У роботі показано, як взаємодіють між собою елементи Web-орієнтованої платформи для інформаційної системи управління замкнутими екосистемами. Розглянуто кожну підсистему окремо та наведено приклад створення того чи іншого елементу.

Процес розробки бази даних рекомендується робити на локальному або внутрішньому сервері,

після чого відбувається наповнення бази даних відповідно до сфери вироблених продуктів сільськогосподарської діяльності у теплицях.

Наведено приклад побудови інтерфейсу форм для зручного та зрозумілого виведення інформації, отриманої від датчиків, що встановлені безпосередньо всередині закритої екосистеми.

Користувачі користуються розробленою Web-системою як платформою для моніторингу стану закритої екосистеми – відстежують показники температури, вологості, яскравості, кислотності ґрунту, кількості вуглекислого газу та ін. У разі порушення оптимальності характеристик отримують повідомлення про ненормальну поведінку показників.

Список літератури:

1. Studio iFish. Лучшие платформы для создания сайтов. Их преимущества и недостатки. *Studio iFish*. URL: <https://ifish2.ru/luchshie-platformy/>.
2. Open Server Panel. URL: <https://ospanel.io/>.
3. Кузнецов С.Д. Основы баз данных. М.: Интернет-университет информационных технологий; БИНОМ, Лаборатория знаний, 2007. 484 с.
4. Kent W. A Simple Guide to Five Normal Forms in Relational Database Theory. 1989. URL: <http://www.bkent.net/Doc/simple5.htm>.

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К СОЗДАНИЮ WEB-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗАМКНУТЫМИ ЭКОСИСТЕМАМИ В УСЛОВИЯХ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

В статье приведены программные средства для создания Web-ориентированной платформы, рассмотрена разработка как система взаимосвязанных подсистем и элементов, проиллюстрирован алгоритм работы и схема зависимости объектов.

Ключевые слова: системный подход, Web-ориентированная платформа, алгоритм работы, база данных, сервер, форма приема значений характеристик.

SYSTEMS THEORY OF WEB-ORIENTED PLATFORM FOR THE INFORMATION SYSTEM OF MANAGEMENT WITH CLOSED ECOSYSTEMS IN THE CONDITIONS OF EXTREMELY ENVIRONMENTAL POLLUTION

In the article the software for creation the Web-oriented platform is given, development is considered as a system of interconnected subsystems and elements, the algorithm of work and the scheme of dependence of objects is illustrated.

Key words: systems theory, Web-oriented platform, algorithm of work, database, server, form of values of characteristics.

Відомості про авторів

Андріюк О.П. – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри інформаційних систем Національного університету харчових технологій;

Андрющенко Т.Ю. – здобувач ступеня доктора філософії PhD, старший викладач кафедри комп'ютерних систем та технологій Харківського національного економічного університету імені Семена Кузнеця;

Боднар М.А. – аспірант кафедри комп'ютерної інженерії та системного програмування Хмельницького національного університету;

Борисенко В.Д. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерної інженерії Миколаївського національного університету імені В.О. Сухомлинського;

Бородін В.І. – асистент кафедри автоматизації хімічних виробництв Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Букреєв Д.О. – студент II курсу магістратури Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького;

Войтік А.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри агроінженерії Уманського національного університету садівництва;

Вус В.А. – аспірант кафедри соціальних комунікацій та інформаційної діяльності Національного університету «Львівська політехніка»;

Гюргізова-Гай В.Ш. – кандидат технічних наук, доцент кафедри системного проектування Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Говорущенко Т.О. – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, доцент, завідувач кафедри комп'ютерної інженерії та системного програмування Хмельницького національного університету;

Гуйда О.Г. – доцент кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

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

Дорошенко К.В. – доктор технічних наук, доцент кафедри авіаційних двигунів Національного авіаційного університету;

Іванченко Є.В. – кандидат технічних наук, доцент, професор, доцент кафедри безпеки інформаційних технологій Національного авіаційного університету;

Іващенко В.Г. – студент Національного університету харчових технологій;

Кирийчук Д.Л. – кандидат технічних наук, доцент кафедри програмних засобів і технологій Херсонського національного технічного університету;

Киричек Г.Г. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних систем та мереж Запорізького національного технічного університету;

Кисіль Т.М. – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри вищої математики та комп'ютерних застосувань Хмельницького національного університету;

Ковальчук Ю.О. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри агроінженерії Уманського національного університету садівництва;

Ковалюк Д.О. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації хімічних виробництв Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Ковалюк О.О. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних систем управління Вінницького національного технічного університету;

Козлов О.В. – кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютеризованих систем управління Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;

Кондратенко Ю.П. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри інтелектуальних інформаційних систем Чорноморського національного університету імені Петра Могили;

Кондратьєва Л.Ю. – провідний фахівець ННЦМС Національного університету кораблебудування;

Концур В.О. – магістр Одеського національного політехнічного університету;

Корченко А.О. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри безпеки інформаційних технологій Національного авіаційного університету;

Круглик В.С. – доктор педагогічних наук, доцент, професор кафедри інформатики і кібернетики Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького;

Кузьма К.Т. – кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерної інженерії Миколаївського національного університету імені В.О. Сухомлинського;

Курай В.І. – магістр факультету комп'ютерних наук та технологій Запорізького національного технічного університету;

Кучерук О.Я. – кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри інженерії програмного забезпечення Хмельницького національного університету;

Ложкін Р.С. – аспірант кафедри програмних засобів і технологій Херсонського національного технічного університету;

Ломовой В.І. – Національний університет «Одеська морська академія»;

Ляшенко Е.Н. – кандидат технічних наук, доцент кафедри програмних засобів і технологій Херсонського національного технічного університету;

Мітрахович М.М. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри авіаційних двигунів Національного авіаційного університету;

Оксанич І.Г. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційно-управляючих систем Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського;

Омецинська Н.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Осадча К.П. – кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри інформатики і кібернетики Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького;

Осадчий В.В. – доктор педагогічних наук, професор, завідувач кафедри інформатики і кібернетики Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького;

Павленко В.Д. – доктор технічних наук, професор Одеського національного політехнічного університету;

Павлова О.О. – аспірант кафедри комп'ютерної інженерії та системного програмування Хмельницького національного університету;

Погорелов В.В. – асистент кафедри безпеки інформаційних технологій Національного авіаційного університету;

Прачик В.В. – магістр кафедри програмних засобів і технологій Херсонського національного технічного університету;

Прокопенко В.В. – магістр кафедри інформаційних систем Національного університету харчових технологій;

Пушка О.С. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри агроінженерії Уманського національного університету садівництва;

Пушкар О.І. – доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерних систем та технологій Харківського національного економічного університету імені Семена Кузнеця;

Сердюк І.М. – асистент кафедри інформатики і кібернетики Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького;

Степанюк М.М. – магістрант кафедри автоматизації хімічних виробництв Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Терейковська Л.О. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій проектування та прикладної математики Київського національного університету будівництва і архітектури;

Тільняк Ю.Я. – аспірант кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Тіменко А.В. – асистент кафедри комп'ютерних систем та мереж Запорізького національного технічного університету;

Топалов А.М. – асистент кафедри комп'ютеризованих систем управління Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;

Трач О.Р. – кандидат технічних наук, асистент кафедри соціальних комунікацій та інформаційної діяльності Національного університету «Львівська політехніка»;

Усенко В.Ю. – начальник відділу силових установок ДП «Антонов»;

Устенко І.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри програмного забезпечення Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;

Химко О.М. – кандидат технічних наук, доцент Національного університету «Львівська політехніка»;

Хорошевська І.О. – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри інформатики та комп'ютерної техніки Харківського національного економічного університету імені Семена Кузнеця;

Чекурін В.Ф. – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач відділу Інституту прикладних проблем механіки і математики імені Я. Підстригача НАН України;

Чумаченко С.М. – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач кафедри інформаційних систем Національного університету харчових технологій;

Шеренковський А.О. – студент Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Шкарупило В.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних систем і мереж Національного університету біоресурсів і природокористування України.

НОТАТКИ

Науковий журнал

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

Серія: Технічні науки

Том 30 (69) № 1 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. 15,43. Ум.-друк. арк. 21,62. Зам. № 0219/35

Підписано до друку 12.02.2019. Наклад 150 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»

73021, м. Херсон, вул. Паровозна, 46-а, офіс 105

Телефон +38 (0552) 39 95 80

E-mail: mailbox@helvetica.com.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 6424 від 04.10.2018 р.