

**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 31 (70) № 1 2020

Частина 1



Видавничий дім
«Гельветика»
2020

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;

Бронін Сергій Вадимович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних систем та технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

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

Дехтяр Анатолій Соломонович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри архітектурних конструкцій Національної академії образотворчого мистецтва і архітектури;

Дичко Аліна Олегівна – доктор технічних наук, професор, професор кафедри інженерної екології Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Дубко Валерій Олексійович – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри вищої математики Київського національного університету технології та дизайну;

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

Лисенко Олександр Іванович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри телекомунікацій Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

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

Сегай Олександр Михайлович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Чумаченко Сергій Миколайович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач кафедри інформаційних систем Національного університету харчових технологій;

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

**Рекомендовано до друку та поширення через мережу Internet
Вченою радою Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського
(протокол № 6 від 03.03.2020 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, 2020

ЗМІСТ

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

Пилипенко Т.Н., Краснопир Н.Н., Ефимова В.Г., Качоровская О.П. ЗАЩИТНЫЕ И БИОЦИДНЫЕ СВОЙСТВА СОЛЕЙ ПИРИДИНИЯ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ ГРУППАМИ.....	1
---	---

АВІАЦІЙНА ТА РАКЕТНО-КОСМІЧНА ТЕХНІКА

Березанський В.Г. МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ПРИЦІЛЬНИХ ПОПРАВОК СТРІЛЬБИ З УРАХУВАННЯМ ЗМІНИ МАСИ АВІАЦІЙНИХ АРТИЛЕРІЙСЬКИХ ПАТРОНІВ ПІД ЧАС ЇХНЬОГО ТРИВАЛОГО ЗБЕРІГАННЯ В УМОВАХ АВІАЦІЙНИХ БРИГАД.....	6
Владов С.І., Шмельов Ю.М., Пилипенко Л.М., Подгорних Н.В., Назаренко Н.П., Тутова Н.В., Дерябіна І.О. КОНТРОЛЬ І ДІАГНОСТИКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ АВІАЦІЙНОГО ДВИГУНА ТВ3-117 ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МОДЕРНІЗОВАНИХ МЕТОДІВ НАЙМЕНШИХ КВАДРАТІВ Й ЗРІВНЮВАННЯ.....	14
Колесниченко С.Ф., Рагулин С.В. ВЛИЯНИЕ ЦЕНТРОВКИ НА СТАТИЧЕСКУЮ И ДИНАМИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ ЛЕГКИХ САМОЛЕТОВ.....	21

ПРИЛАДИ

Цокота М.В. ВИЗНАЧЕННЯ ФУНКЦІЙ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ПРИ ВПЛИВІ НА БІОЛОГІЧНІ ТКАНИНИ.....	25
--	----

РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

Борисов Г.О., Гумен Т.Ф., Трапезон К.О. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОГРАМНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ОБ'ЄДНАННЯ ANDROID THINGS НА ОСНОВІ КОНЦЕПЦІЇ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ.....	29
Переверзєв О.А., Гумен Т.Ф., Трапезон К.О. ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ БЕЗПЕКИ БУДИНКУ НА ОСНОВІ КОНЦЕПЦІЇ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ.....	36
Рябенський В.М., Ихсанов Ш.М., Дьяконов А.С., Стужук И.И. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АЛГОРИТМА ВЫДЕЛЕНИЯ СИГНАЛОВ МОРСКИХ СУДОВ В ТЕХНОЛОГИИ AIS В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОГО ПОТОКА СООБЩЕНИЙ.....	42

ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

Білоус А.Я., Репін М.В. МІНІМІЗАЦІЯ РИЗИКІВ НА ПІДПРИЄМСТВІ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ.....	51
Войтко В.В., Бевз С.В., Бурбело С.М., Ставицький П.В. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ СТВОРЕННЯ ТА ОБРОБКИ АУДІОКОНТЕНТУ.....	55
Галь А.Ф., Гайдай Г.Ю., Грешнов А.Ю. ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ОБРОБКИ ДАНИХ ЕКСПЕРИМЕНТУ.....	60
Грабар О.І., Остроухов М.С., Постова С.А. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОБЛІКУ ПІДПРИЄМСТВ.....	66

Жученко О.А. СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ВУГЛЕГРАФІТОВИМ ВИРОБНИЦТВОМ.....	72
Круглик В.С., Єремєєв В.С., Прокоф'єв Є.Г., Сердюк І.М., Тригуб І.Є. ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ CRM-СИСТЕМИ ДЛЯ МІЖНАРОДНОГО ТУРОПЕРАТОРА.....	79
Кузьма К.Т., Мельник О.В. ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ ПЕРЕВІРКИ ВІДПОВІДЕЙ У СИСТЕМАХ ТЕСТУВАННЯ.....	85
Кукунін С.В. ВИЗНАЧЕННЯ БАЗОВИХ ПІДХОДІВ ПРИ ПОБУДОВІ СИСТЕМИ ДОМАШНЬОЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ НА ОСНОВІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ.....	89
Ліннік І.С. НАЛАШТУВАННЯ РЕГУЛЯТОРА У СИСТЕМІ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕПЛООВОГО ПУНКТУ ТА ПОРІВНЯННЯ ЯКОСТІ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ РІЗНИХ МЕТОДІВ НАЛАДКИ.....	94
Левкін Д.А. ПРИКЛАДНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ СИСТЕМ.....	99
Міщенко І.Л. ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ПІДЖИВЛЮВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ТЕПЛОВОЇ МЕРЕЖІ.....	104
Орлов О.І. МОДЕЛЮВАННЯ ЗМІНИ РІВНЯ ВОДИ В ГІДРАВЛІЧНІЙ ЄМНОСТІ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РІВНЯ ВОДИ З РОЗРОБЛЕННЯМ НАУКОВОГО СТЕНДУ Й АПАРАТНИХ ПРИСТРОЇВ.....	108
Paulin O.M., Komleva N.O., Sinigub M.I., Sarafaniuk D.E. ABOUT MODIFICATION THE COVERAGE ALGORITHM USING THE “MINIMUM COLUMN – MAXIMUM ROW” METHOD.....	112
Повхан І.Ф. ПИТАННЯ ОДНОЗНАЧНОГО ПОКРИТТЯ ЗОБРАЖЕНЬ ПРЯМОКУТНИКАМИ В ЗАДАЧАХ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ.....	119
Приходько С.Б., Приходько Н.В., Фаріонова Т.А., Ворона М.В. ТРЬОХФАКТОРНА НЕЛІНІЙНА РЕГРЕСІЙНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ РОЗМІРУ РНР-ЗАСТОСУНКІВ ІЗ ВІДКРИТИМ КОДОМ.....	124
Sulema Ye.S., Peschanskii V.Yu. TIMEWISE DATA PROCESSING WITH PROGRAMMING LANGUAGE ASAMPL.....	132
Улицкая Е.О., Костюкова О.Н. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНО-ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УРОВНЕМ ВОДЫ С РЕАЛИЗАЦИЕЙ УЧЕБНОГО СТЕНДА.....	138
Улицкая Е.О., Широкова А.Н. АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ В КОМПЕНСАТОРЕ ДАВЛЕНИЯ АЭС.....	144
Хіль В.В. ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ПЕРВИННОГО ПЕРЕГРІВУ ПАРИ.....	149

CONTENTS

INDUSTRIAL ENGINEERING

Pylypenko T.N., Krasnopir N.N., Yefimova V.G., Kachorovska O.P. PROTECTIVE AND BIOCIDAL PROPERTIES OF PYRIDINIA SALTS WITH ADDITIONAL FUNCTIONAL GROUPS	1
--	---

AIRCRAFT AND AEROSPACE TECHNIQUES

Berezanskyi V.G. METHOD OF DETERMINATION OF SIZE AMENDMENTS FOR SHOOTING TAKING INTO ACCOUNT OF THE CHANGE IN THE WEIGHT OF AVIATION ARTILLERY SHOES AT THEIR DURATION IN THE CONDITIONS	6
Vladov S.I., Shmelov Yu.M., Pylypenko L.M., Podhornykh N.V., Nazarenko N.P., Tutova N.V., Dieriabina I.O. MONITORING AND DIAGNOSTICS OF TV3-117 AIRCRAFT ENGINE TECHNICAL CONDITION OF THE USING MODERNIZED LEAST-SQUARES AND EQUALIZATION METHODS	14
Kolesnychenko S.F., Rahulin S.V. THE INFLUENCE OF THE CENTER OF GRAVITY OF LIGHT AIRCRAFT ON STATIC AND DYNAMIC STABILITY	21

EQUIPMENT

Tsokota M.V. DETERMINATION OF LASER RADIATION FUNCTIONS IN IMPACT ON BIOLOGICAL FABRICS.....	25
--	----

RADIO ENGINEERING AND TELECOMMUNICATIONS

Borysov H.O., Humen T.F., Trapezon K.O. RESEARCH OF SOFTWARE FEATURES OF ANDROID THINGS UNDER THE CONCEPT OF THE INTERNET OF THINGS	29
Pereverziev O.A., Humen T.F., Trapezon K.O. RESEARCH FEATURES OF CREATING A HOUSEHOLD SECURITY SYSTEM BASED ON THE CONCEPT OF THE INTERNET OF THINGS	36
Riabenkyi V.M., Ikhsanov Sh.M., Diakonov O.S., Stuzhuk I.I. ALGORITHM IMPROVEMENT FOR SIGNAL DETECTION OF SEA VESSELS IN AIS-TECHNOLOGY UNDER DENSE FLOW OF MESSAGES.....	42

INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING AND AUTOMATION

Bilous A.Yu., Repin M.V. RISK MINIMIZATION ON ENTREPRENEURSHIP BY THE IMPLEMENTATION OF THE ENVIRONMENTAL MANAGEMENT SYSTEM.....	51
Voitko V.V., Bevz S.V., Burbelo S.M., Stavytskyi P.V. ANALYSIS OF MODERN SYSTEM OF CREATING AND PROCESSING AUDIO CONTENT	55
Hal A.F., Haidai H.Yu., Hrieshnov A.Yu. EXPERIMENTAL DATA PROCESSING INFORMATION AND MEASURING SYSTEM	60
Grabar O.I., Ostrouhov M.S., Postova S.A. THE ANALYSIS OF MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES OF ENTERPRISE ACCOUNTING AUTOMATION	66
Zhuchenko O.A. CONTROL SYSTEM OF CARBON PRODUCTION	72

Kruglyk V.S., Yermieiev V.S., Prokofiev E.G., Serdiuk I.M., Trigub I.E. FEATURES OF CRM-SYSTEM DEVELOPMENT FOR INTERNATIONAL TOUR OPERATOR	79
Kuzma K.T., Melnik O.V. COMPUTING TECHNOLOGY FOR CHECKING ANSWERS IN TESTING SYSTEMS	85
Kukunin S.V. ESTIMATION OF BASIC APPROACHES FOR HOME AUTOMATION SYSTEM BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE DEVELOPMENT	89
Linnik I.S. REGULATOR SETTING IN THE HEATING POINT REGULATION SYSTEM AND COMPARISON OF THE TRANSITION PROCESS QUALITY WHEN USING DIFFERENT ADJUSTMENT METHODS	94
Levkin D.A. APPLIED MODELS AND METHODS OF SYSTEM OPTIMIZATION	99
Mishchenko I.L. SELECTION THE OPTIMAL STRUCTURE OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF THE SUPPLYING HEATING NETWORK	104
Orlov O.I. MODELING THE CHANGE IN WATER LEVEL IN A HYDRAULIC CAPACITY AND RESEARCHING A COMPUTER-INTEGRATED WATER LEVEL CONTROL SYSTEM, WITH THE DEVELOPMENT OF A SCIENTIFIC STAND AND HARDWARE DEVICES	108
Paulin O.M., Komleva N.O., Sinegub M.I., Sarafaniuk D.E. ABOUT MODIFICATION THE COVERAGE ALGORITHM USING THE “MINIMUM COLUMN – MAXIMUM ROW” METHOD	112
Povkhan I.F. THE QUESTION OF COVERING IMAGES WITH RECTANGLES IN IMAGE RECOGNITION PROBLEMS	119
Prykhodko S.B., Prykhodko N.V., Farionova T.A., Vorona M.V. THREE-FACTOR NON-LINEAR REGRESSION MODEL TO ESTIMATE THE SIZE OF OPEN SOURCE PHP-BASED APPLICATIONS	124
Sulema Ye.S., Peschanskii V.Yu. TIMEWISE DATA PROCESSING WITH PROGRAMMING LANGUAGE ASAMPL	132
Ulytskaia E.O., Kostiukova O.M. THE COMPUTER INTEGRATED CONTROL SYSTEM OF WATER LEVEL WITH DEVELOPMENT OF THE EDUCATIONAL STAND	138
Ulytskaia E.O., Shyrokova A.N. AUTOMATIC PRESSURE CONTROL SYSTEM IN THE NPP PRESSURE COMPENSATOR	144
Khil V.V. AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF PRIMARY STEAM OVERHEATING	149

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 620.197.3

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.1-1/01>**Пилипенко Т.Н.**Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»**Краснопир Н.Н.**Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»**Ефимова В.Г.**Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»**Качоровская О.П.**Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

ЗАЩИТНЫЕ И БИОЦИДНЫЕ СВОЙСТВА СОЛЕЙ ПИРИДИНИЯ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ ГРУППАМИ

Вивчено захисні та біоцидні властивості солей піридинію з додатковими функціональними групами при мікробній корозії вуглецевої сталі, викликаній сульфатредуючими бактеріями (СРБ). Виявлено нові інгібітори-біоциди вуглецевої сталі, які проявляють високу антикорозійну дію в середовищі Постгейта «В» за наявності СРБ. Як нові інгібітори-біоциди мікробної корозії вуглецевої сталі, спричиненої СРБ, досліджені солі піридинію, що є ефективними інгібіторами кислотної корозії металів, захисна дія яких здебільшого визначається природою наявних у них замісників і додаткових функціональних груп.

Встановлено, що більшість досліджених сполук ефективно пригнічують мікробну корозію вуглецевої сталі в присутності сульфатредуючих бактерій і виявляють хороші біоцидні властивості. Ступінь захисту при мікробній корозії сталі дослідженими сполуками дорівнює 90,5–96,8%, титр СРБ за їх наявності до кінця проведення випробувань знижується до нуля.

Виявлено найбільш ефективні сполуки: 2-метил-1-1-(адамантоїл)-метилпіридиній бромід, 2-аміно-1-1-(адамантоїл)-метилпіридиній бромід і 2-(1-адамантоїл)аміно-1-1-фенацилметилпіридиній бромід. Захисні та біоцидні властивості досліджених солей піридинію пов'язані з наявністю у них піридинієвого фрагмента, що є основним адсорбційним центром сполук, об'ємних адамантильних замісників, які характеризуються значною покриваючою здатністю та невеликим електронодонорним ефектом.

Висока захисна дія солей піридинію, що є поверхнево-активними речовинами катіонного типу, пов'язана також з ефектом міжмолекулярного синергізму, який спостерігається для катіоноактивних органічних сполук і сірководню – основного продукту метаболізму СРБ. Можливість адсорбції солей піридинію з додатковими функціональними групами в присутності СРБ на поверхні сталі та їх вплив на кінетику частинних реакцій (катодної – відновлення кисню і анодної – іонізації металу) в середовищі Постгейта «В» підтверджується проведеними вольтамперними вимірами.

Ключові слова: захисні та біоцидні властивості, солі піридинію з додатковими функціональними групами, мікробна корозія, вуглецева сталь, інгібітори-біоциди.

Постановка проблеми. Одними из наиболее опасных видов коррозионных разрушений, которые наблюдаются в природных и производственных условиях, являются процессы,

вызываемые сульфатредуцирующими бактериями (СРБ) [1; 2]. В результате коррозии, инициируемой и катализируемой СРБ, выходит из строя оборудование нефтяной и газовой промышленности,

трубопроводы, бензобаки и другое. Так, в нефтедобывающей промышленности коррозионные разрушения осуществляются за счет жизнедеятельности СРБ, находящихся в продукции нефтяных скважин [2]. Помимо этого, для растворения карбонатов, находящихся в нефтяных пластах, скважины с определенной периодичностью подвергаются кислотной обработке, которая приводит к существенному увеличению притока нефти из карбонатных отложений и может сопровождаться коррозионным разрушением оборудования, что требует применения ингибированных кислот. Для защиты внутренней поверхности металлических конструкций, эксплуатируемых в подземной среде, необходимо использовать соединения, обладающие биоцидными свойствами по отношению к СРБ и способными подавлять микробную коррозию в условиях анаэробноза [3].

Анализ последних исследований и публикаций. В условиях протекания анаэробной коррозии, индуцируемой СРБ, в замкнутых подземных сооружениях, где эксплуатируются стальные резервуары, нефтяное оборудование, транспортные трубопроводы и трубы систем теплоснабжения, наиболее часто используют гетероциклические соединения, которые имеют в своем составе атомы кислорода, азота, серы. Это высокомолекулярные спирты и альдегиды, амины и амиды, производные тиомочевины и четвертичные азотсодержащие соединения [2].

В работах [3–6] показано, что эффективными ингибиторами-биоцидами микробной коррозии металлов в присутствии СРБ являются четвертичные соли пиридиновых оснований, при адсорбции которых происходит изменение структуры двойного электрического слоя и торможение протекающих при этом электродных реакций. Однако такие соединения не всегда можно использовать в качестве ингибиторов при кислотной обработке нефтяных скважин, подвергающихся впоследствии коррозии, вызываемой СРБ.

Учитывая высокую эффективность четвертичных солей пиридиновых оснований в растворах, содержащих СРБ, и их хорошие бактерицидные свойства, можно предположить, что соли пиридиния с дополнительными функциональными группами, являющиеся эффективными ингибиторами кислотной коррозии металлов, защитное действие которых в значительной степени определяется природой имеющихся в них заместителей [5], также могут выступать в роли ингибиторов-биоцидов микробной коррозии стали.

Постановка задания. Целью работы является исследование в качестве новых ингибиторов-биоцидов микробной коррозии углеродистой стали, инициируемой СРБ, солей пиридиния с дополнительными функциональными группами. Для достижения поставленной цели необходимо решение таких задач:

1) исследовать влияние солей пиридиния, в состав которых входят различные по строению и химическим свойствам заместители, на коррозионную стойкость углеродистой стали и жизнедеятельность СРБ в среде Постгейта «В»;

2) установить взаимосвязь между структурой, электронными характеристиками заместителей исследуемых соединений и их защитными, биоцидными свойствами при коррозии углеродистой стали, вызываемой СРБ.

Изложение основного материала исследования. Исследования проводили на пластинчатых образцах стали 3 в герметичных сосудах со стерильной питательной средой Постгейта «В» [6] в присутствии СРБ (штамм Киев-10, титр бактерий $1 \cdot 10^7$ кл·мл⁻¹), в которую вводили соли пиридиния при концентрации $1 \cdot 10^{-3}$ моль·л⁻¹. Продолжительность испытаний в термостатируемом шкафу при 30°C составляла 3 месяца. Методом предельных 10-кратных разведений [2] определяли количество бактериальных клеток, содержащихся в исследуемых растворах до и после проведения испытаний. Поляризационные кривые снимали в потенциодинамическом режиме со скоростью развертки 0,5 мВ·с⁻¹ на стальном электроде в исходной и ингибированной среде Постгейта «В», содержащей СРБ. Для оценки защитных свойств исследуемых соединений массометрическим методом [7] были определены коэффициенты торможения γ и степень защиты от коррозии Z стали.

Проведенные испытания показали, что введение в среду Постгейта «В», содержащую СРБ, большинства исследуемых соединений эффективно защищает сталь от коррозионных разрушений и практически полностью подавляет жизнедеятельность бактериальных клеток, снижая их титр к концу проведения испытаний до нуля (табл. 1). Заметного изменения внешнего вида стальных образцов в присутствии исследуемых соединений в агрессивной среде не наблюдалось.

Результаты визуального осмотра стальных образцов и растворов, содержащих СРБ, показали, что в неингибированной среде Постгейта «В» на поверхности стали образовалась тонкая черная пленка сульфида железа [3], которая легко удалялась при ее механической обработке, а под

ней находились локальные очаги коррозии в виде отдельных питтингов. В ингибированных средах количество FeS, покрывающее поверхность стали, значительно уменьшилось, образования на ней питтингов практически не наблюдалось.

Согласно [6] наличие в агрессивных средах, содержащих СРБ, большинства солей пиридиния, как и других ранее исследованных соединений, основным адсорбционным центром которых является пиридиниевый фрагмент [5], может приводить к значительному снижению поверхностной концентрации частиц, участвующих в реакции сульфатредукции [3], инициирующей микробную коррозию стали. В результате этого происходит подавление жизнедеятельности бактерий и снижение количества их клеток в растворе.

Наиболее высоким ингибирующим действием в среде, содержащей СРБ, обладают соединения (V), (VII) и (IX), в состав которых входят адамантильные заместители, обладающие значительной кроющей способностью [8]. Так, состояние поверхности образцов в присутствии пиридиний бромидов (V), содержащего во втором положении пиридинового цикла СН₃-группу, а у атома азота – метилацильную группировку с объемным 1-Ad-заместителем, осталось таким же, как и до проведения испытаний: поверхность гладкая, блестящая, без каких-либо локальных очагов коррозии. Окраска агрессивной среды при этом практически не изменилась. Коэффициенты торможения коррозии стали для соединений с адамантильными заместителями возросли с 10,5 до 30,3–30,8 единиц. Усиление защитных свойств таких соединений в значительной степени обусловлено экранирующим влиянием адамантильной группы и присущим ей небольшим электронодонорным эффектом [8].

Таким образом, при переходе к солям пиридиния, в состав которых, кроме основного адсорбционного центра (пиридиниевый фрагмент), входят дополнительные функциональные группы, содержащие объемные адамантильные заместители, степень защиты от коррозии стали достигала 97%.

Введение в исследуемую среду соединения (X), содержащего в пиридиниевой части молекулы арилтиокарбамидной группы, практически не влияет на количество бактериальных клеток и вызывает стимулирование микробной коррозии стали. Такое поведение пиридиний бромидов с арилтиокарбамидной группой находится в хорошем соответствии с данными работы [3], согласно которым производные тиомочевины, являясь источниками питания бактерий, практически не влияют на рост клеток СРБ и незначительно ингибируют либо даже стимулируют коррозию сталей в агрессивных средах.

Высокое защитное действие исследуемых соединений, являющихся поверхностно-активными веществами (ПАВ) катионного типа [7], связано также с проявлением ими эффекта межмолекулярного синергизма [8], который наблюдается у катионоактивных органических соединений и сероводорода – основного продукта метаболизма СРБ. Известно несколько причин, обуславливающих повышение эффективности таких соединений. Так, согласно представлениям, развиваемым в работе [3], адсорбция на поверхности железа HS⁻ и молекулярного сероводорода приводит к изменению заряда его поверхности и облегчению адсорбции катионоактивных ПАВ. Помимо этого, анионы HS⁻ и S²⁻, образующиеся при диссоциации сероводорода, за счет эффекта электростатического взаимодействия с органическими катионами могут участвовать

Защитные и биоцидные свойства солей пиридиния общей формулы при коррозии стали 3 в среде Постгейта «В», содержащей СРБ

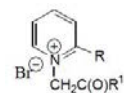


Таблица 1

Соединение	R	R ¹	γ	Z, %	титр СРБ, кл·мл ⁻¹
(I)	H	Ph	10,5	90,5	0
(II)	CH ₃	Ph	15,0	93,3	0
(III)	CH ₃	CH ₃	15,5	93,5	0
(IV)	NH ₂	Ph	17,2	94,2	0
(V)	CH ₃	1-Ad	30,8	96,8	0
(VI)	NH ₂	t-Bu	19,8	94,9	0
(VII)	NH ₂	1-Ad	30,3	96,7	0
(VIII)	NHC(O)NHPh	Ph	20,2	95,0	0
(IX)	NHC(O)Ad-1	Ph	30,5	96,7	0
(X)	NHC(S)NHPh	Ph	0,9	стим.	1·10 ⁶
Без ингибитора				-	1·10 ⁷

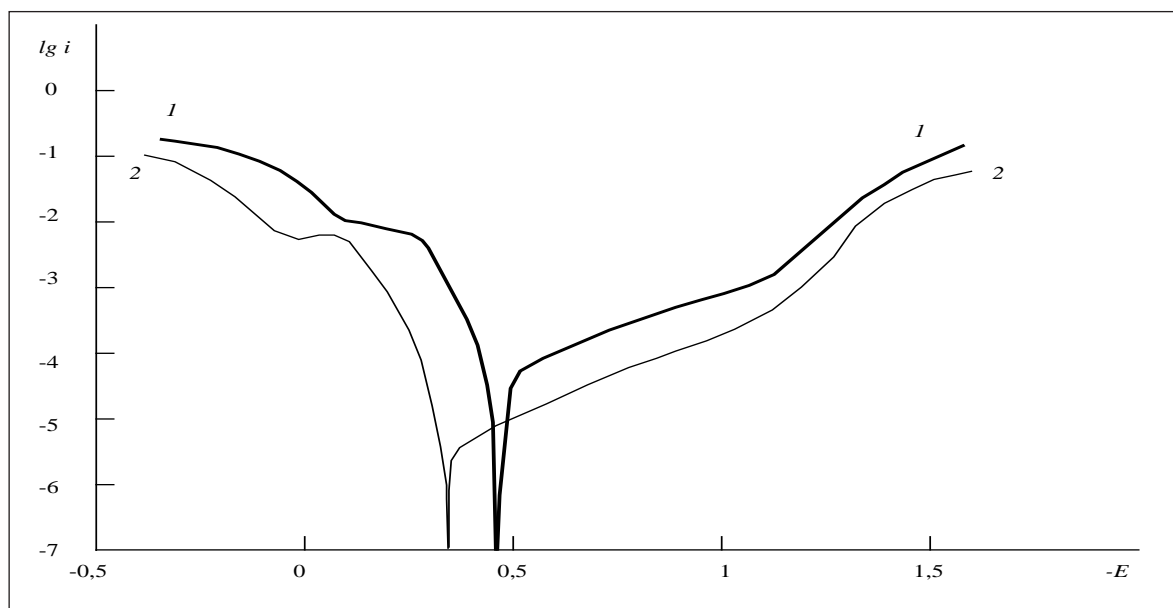


Рис. 1. Анодные и катодные поляризационные кривые, снятые на стали 3 в растворах, содержащих СРБ при 30°C: 1 – Постгейт «В» + СРБ; 2 – Постгейт «В» + СРБ в присутствии $1 \cdot 10^{-3}$ моль·л⁻¹ соединения (V). i – плотность тока (А·см⁻²), E – потенциал (В; н. в. э)

в формировании адсорбционных слоев и приводит к образованию более плотно упакованных защитных пленок ингибитора.

Возможность адсорбции солей пиридиния в присутствии СРБ на поверхности стали и их влияние на кинетику частных реакций (катодной – восстановления кислорода и анодной – ионизации металла) в среде Постгейта «В» подтверждается проведенными вольтамперными измерениями (рис. 1).

Введение в агрессивную среду, содержащую СРБ, соединения (V) приводит к увеличению поляризации катодной и анодной реакций коррозии стали, а также смещению ее стационарного потенциала в более положительную сторону.

Выводы. Установлено, что большинство исследованных солей пиридиния являются хорошими биоцидами, снижая титр сульфатредуци-

рующих бактерий до нуля, и эффективно ингибируют микробную коррозию углеродистой стали, проявляя степень ее защиты равную 90,5–96,8%. Наиболее эффективными из исследованных соединений оказались 2-метил-1-1-(адамантоил)метилпиридиний бромид, 2-амино-1-1-(адамантоил)метилпиридиний бромид и 2-(1-адамантоил)-амино-1-1-фенацилметилпиридиний бромид.

Высокая эффективность солей пиридиния связана с наличием в них пиридиниевого фрагмента, являющегося основным адсорбционным центром соединений, дополнительных функциональных групп с объемными адамантильными заместителями, обладающими значительной кроющей способностью и небольшим электронодонорным эффектом, а также проявлением ими эффекта межмолекулярного синергизма.

Список литературы:

1. Hamilton W. Sulphate-reducing bacteria and anaerobic corrosion. *Ann. Rev. Microbiol.* 1985. № 39. P. 195–217.
2. Андреюк К.І., Козлова І.П., Коптєва Ж.П. та інші. Мікробна корозія підземних споруд. К. : Наукова думка, 2005. 259 с.
3. И.С. Погребова, И.А. Козлова, Л.М. Пуриш и другие. Механизм ингибиторов коррозии стали в присутствии сульфатредуцирующих бактерий. *Фізико-хімічна механіка матеріалів.* 2001. № 4. С. 57–63.
4. I. Pogrebova, S. Iantsevitch, T. Krasnopir. The effect of organic substances on inhibition processes of corrosion metals with various kinds of a depolarization. *Electrochemistry in molecular and microscopic dimensions.* Dusseldorf, 2002. P. 174.
5. Т.Н. Пилипенко, В.Г. Ефимова. Исследование влияния ингибиторов коррозии металлов на наводороживание и изменение пластичности стали после травления в растворах серной кислоты. *Журнал прикладной химии.* 2012. Т. 85. Вып. 2. С. 240–243.

6. И. Погребова, Л. Пуриш, Т. Краснопир и другие. Ингибиторы коррозии цинка и сталей в солевых хлоридных электролитах, содержащих сульфатредуцирующие бактерии. *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. 2002. № 3. С. 708–713.

7. Р.И. Юрченко, И.С. Погребова, Т.Н. Пилипенко, Е.М. Красько. Антикоррозионные свойства N-фенацилметилпиридиний бромидов. *Журнал прикладной химии*. 2003. Т. 76. Вып. 11. С. 1814–1818.

8. Р.И. Юрченко, И.С. Погребова, Т.Н. Пилипенко, Т.Е. Шубина. N-фенацилметилпиридиний бромиды как ингибиторы кислотной коррозии. *Журнал прикладной химии*. 2004. Т. 77. Вып. 7. С. 1132–1135.

Pylypenko T.M., Krasnopir M.M., Yefimova V.G., Kachorovska O.P. PROTECTIVE AND BIOCIDAL PROPERTIES OF PYRIDINIA SALTS WITH ADDITIONAL FUNCTIONAL GROUPS

The protective and biocidal properties of pyridinium salts with additional functional groups during microbial corrosion of carbon steel caused by sulfate-reducing bacteria (SRB) were studied. New carbon steel biocide inhibitors are revealed that exhibit a high anticorrosive effect in Postgate's B medium containing SRB. Pyridinium salts have been considered as new biocide inhibitors of microbial corrosion of carbon steel caused by SRB. These particular salts are effective inhibitors of acid corrosion of metals, the protective effect of which is largely determined by the nature of the substituents present in them and the presence of additional functional groups.

It was found that most of the studied compounds effectively inhibit microbial corrosion of carbon steel in the presence of sulfate-reducing bacteria and exhibit good biocidal properties. The degree of protection during microbial corrosion of the steel by the studied compounds is 90,5–96,8%, by the end of the test the titer of SRB in their presence is reduced to zero.

The most effective compounds were revealed, among them 2-methyl-1-1-(adamantoyl)methylpyridinium bromide, 2-amino-1-1-(adamantoyl)methylpyridinium bromide and 2-(1-adamantoyl)-amino-1-1-phenacilmethylpyridinium bromide. The protective and biocidal properties of studied pyridinium salts are associated with the presence of a pyridinium fragment in them, which is the main adsorption center of compounds, large adamantyl substituents with significant covering power and a small electron-donating effect.

The high protective effect of the pyridinium salts, which are cationic type surfactants, is associated with the intermolecular synergy effect manifested by them. This effect is inherent to cationic organic compounds and hydrogen sulfide, which is the main metabolic product of SRB. The possibility of adsorption of pyridinium salts with additional functional groups in the presence of SRB on the steel surface and their influence on the kinetics of particular reactions (cathodic – oxygen reduction and anodic – metal ionization) in Postgate's B medium is confirmed by current-voltage measurements.

Key words: *protective and biocidal properties, pyridinium salts with additional functional groups, microbial corrosion, carbon steel, biocide inhibitors.*

АВІАЦІЙНА ТА РАКЕТНО-КОСМІЧНА ТЕХНІКА

УДК 629.735.4

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.1-1/02>

Березанський В.Г.

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ПРИЦІЛЬНИХ ПОПРАВОК СТРІЛЬБИ З УРАХУВАННЯМ ЗМІНИ МАСИ АВІАЦІЙНИХ АРТИЛЕРІЙСЬКИХ ПАТРОНІВ ПІД ЧАС ЇХНЬОГО ТРИВАЛОГО ЗБЕРІГАННЯ В УМОВАХ АВІАЦІЙНИХ БРИГАД

Стаття знайомить із дослідженням впливу балістичних характеристик авіаційних артилерійських патронів на балістичні елементи траєкторії снарядів при їх тривалому зберіганні в умовах авіаційних бригад. Відсутність у державі власного виробництва авіаційних артилерійських патронів спонукає до експлуатації авіаційних артилерійських патронів за знову призначеним ресурсом або продовженим строком зберігання.

Під час тривалого зберігання патронів балістичні характеристики змінюються внаслідок зміни фізико-хімічних властивостей пороху патронів. Старіння пороху приводить до зменшення ефективності ураження цілі: збільшення дульного тиску та зменшення дульної швидкості у каналі ствола авіаційної артилерійської зброї і як наслідок, збільшення пониження снаряду.

Мета статті – розробка методики оцінки прицільних поправок стрільби з урахуванням зміни маси порохових зарядів авіаційних артилерійських патронів при їх тривалому зберіганні в умовах авіаційних бригад. Особливу увагу у статті приділено взаємозв'язку між масою патрона, початковою швидкістю та балістичними елементами траєкторії снаряду. Зміна початкової швидкості снаряду, звичайно, впливає на такі балістичні елементи траєкторії снаряду як час польоту, зниження та швидкість зустрічі снаряда з ціллю. Усунення протиріч можливе за рахунок урахування прицільних поправок стрільби при зміні маси авіаційних артилерійських патронів при їх тривалому зберіганні в умовах авіаційних бригад.

Одним із шляхів контролю зміни технічного стану авіаційних артилерійських патронів – це зважування патронів на протязі довготривалого часу зберігання. За статистичними даними зберігання патронів визначено інтервальні оцінки відхилення маси патронів та встановлено діапазон відхилення початкової швидкості. Встановлено залежності визначення кута упередження з урахуванням зміни маси патронів, які доцільно використовувати при обґрунтуванні груп авіаційних патронів.

Для моніторингу технічного стану патронів при тривалому зберіганні в умовах авіаційних бригад пропонується метод відносної оцінки маси патронів при їх зважуванні за представленим алгоритмом. Запропонована методика визначення прицільних поправок стрільби з урахуванням зміни маси патронів під час тривалого зберігання дозволить оцінювати тенденцію зміни значень поправок при стрільбі, які необхідно враховувати льотному складу для ефективного застосування авіаційної артилерійської зброї, та в умовах бойового застосування за знову призначеним ресурсом авіаційних артилерійських патронів.

Ключові слова: початкова швидкість, патрон, балістичні характеристики, кут упередження, маса порохового заряду, поправка, тривале зберігання.

Постановка проблеми. Балістичні характеристики авіаційного артилерійського патрона впливають на основні тактичні характеристики авіаційної артилерійської зброї (далі – ААЗ) такі як дальність польоту та початкову швидкість снаряду. З часом балістичні характеристики авіаційних артилерійських патронів змінюються, що приводить до збільшення розсіювання снарядів для визначених ефективних дальностей стрільби,

внаслідок зміни фізико-хімічних властивостей пороху патронів під час тривалого зберігання. Старіння пороху приводить до зменшення ефективності ураження цілі: збільшення дульного тиску та зменшення дульної швидкості у каналі ствола ААЗ і як наслідок, збільшення пониження снаряду.

Наразі на арсеналах і складах Повітряних Сил зберігається найбільша кількість авіаційних арти-

лерійських патронів калібру 30 мм з вичерпаним гарантійним строком зберігання. За умови відсутності власного виробництва авіаційних артилерійських патронів калібру 30 мм виникає необхідність продовження післягарантійного ресурсу патронів з обов'язковим випробуванням таких патронів на відповідність їх балістичним характеристикам.

Варто зазначити, що збільшення терміну зберігання боєприпасів сприяє посиленню негативної тенденції у процесі бойового застосування ААЗ і надає негативний вплив на авіаційну артилерійську установку за рахунок погіршення балістичних характеристик ствола при зміні технічних характеристик порохового заряду під час тривалого зберігання [1, с. 11].

Негативна тенденція, яка склалася при тривалому зберіганні авіаційних патронів, свідчить про відсутність державної системи нагляду та моніторингу технічного стану як авіаційних артилерійських патронів, так і авіаційних боєприпасів у цілому.

З цих причин у 2019 році розпочато виконання науково-дослідних робіт з шифрами «Ресурс-30-24» та «Ресурс-23-24» щодо продовження призначених ресурсних показників (строку служби, строку зберігання) авіаційних артилерійських патронів.

В умовах експлуатації авіаційних артилерійських патронів за знову призначеним ресурсом або продовженим строком зберігання авіаційних засобів ураження важливими характеристиками залишаються балістична стабільність порохових зарядів патронів та балістичні характеристики снарядів. У зв'язку з цим актуальним науково-технічним завданням для Повітряних Сил Збройних Сил України є дослідження балістичних характеристик авіаційних артилерійських патронів тривалого терміну зберігання в умовах авіаційних бригад у напрямку забезпечення заданих балістичних елементів пострілів при стрільбі та безпечної експлуатації авіаційних патронів під час бойового застосування та їх зберігання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

У науково-технічних виданнях опубліковано значна кількість праць, що присвячені питанням балістичної нестабільності порохових зарядів при довготривалому зберіганні артилерійських боєприпасів на арсеналах і складах та методам оцінки технічного стану порохових зарядів [2–8].

Так, у праці [2, с. 158] розглядається структура сучасної системи моніторингу боєприпасів і обґрунтовується доцільність застосування

експрес-методів неруйнівного контролю, які не потребують розпатронювання для дослідження характеристик порошу.

В іншому випадку автори приводять масу артилерійського патрона у вигляді системи мас елементів та стверджують, що основним джерелом втрати маси патрона є втрата маси порохового заряду. Відсутність узгоджень по стандартизації з країнами НАТО не регулюють питання оцінки балістичних властивостей патронів [3, с. 66].

Автори у роботі [4, с. 215] приводять залежність впливу навколишнього середовища на небезпеку від втрати хімічної стійкості піроксилінового порошу при зберіганні, яка дозволяє визначити граничні діапазони температур для забезпечення хімічної стійкості.

Суттєвими негативними аспектами довготривалого зберігання боєприпасів з післягарантійними строками зберігання є невідповідність їх балістичним характеристикам, небезпека спонтанного загоряння та вибуху при їх застосуванні за призначенням [5, с. 24].

У роботі [6, с. 113] автори розглядають початкову швидкість кулі як діагностичний параметр у моделі прогнозування зміни початкової швидкості, однак модель не враховує максимальний тиск порохових газів, а збільшення тиску порохових газів негативно впливає на зношування каналу ствола.

Автори [7, с. 156] піднімають питання забезпечення процесів фізико-хімічної стабільності матеріалів спеціальної хімії в умовах відсутності авторського супроводження. Для продовження установлених призначених ресурсних показників (строку служби, строку зберігання) запропонована методика оцінки технічного стану матеріалів спеціальної хімії в умовах лабораторних випробувань.

Одним із шляхів контролю зміни технічного стану авіаційних артилерійських патронів – це зважування патронів на протязі довготривалого часу зберігання. Однак під час встановлення відповідності балістичних характеристик патронів паспортним вимогам необхідно також враховувати складову безпеки під час бойового застосування таких патронів, а саме – їхню балістичну стабільність [8, с. 121].

Відсутність методик прогнозування прицільних поправок стрільби патронів при їх тривалому зберіганні в умовах авіаційних бригад та за знову призначеним ресурсом ставить питання дослідження балістичних характеристик патронів та їх вплив на прицільні характеристики у ряд першочергових.

Постановка завдання. Мета статті – розроблення методики оцінки прицільних поправок стрільби з урахуванням зміни маси порохових зарядів авіаційних артилерійських патронів під час їхнього тривалого зберігання в умовах авіаційних бригад.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити ряд взаємопов'язаних задач: оцінка діапазонів відхилення маси та початкової швидкості авіаційних патронів калібру 30 мм; оцінка впливу зміни маси патронів на балістичні елементи траєкторії снаряду; сформувати діагностичні параметри та критерій оцінки доцільності використання патронів під час їхнього тривалого зберігання в умовах авіаційних бригад.

Виклад основного матеріалу дослідження. Умови зберігання авіаційних артилерійських патронів суттєво впливають на ефективність їхнього бойового застосування. Недотримання умов зберігання авіаційних артилерійських патронів приводить до зміни фізико-хімічних властивостей пороху патронів, його прискореного розкладання та передчасного старіння. При довготривалому зберіганні патронів відбувається зміна сили пороху, швидкості його горіння та щільності, а отже, і маси заряду [5, с. 26].

Серед значної номенклатури авіаційних патронів калібру 30 мм значна кількість припадає на осколково-фугасні патрони – ОФЗ-30 ГШ. Патрони мають дві вибухові речовини: пороховий заряд, що має масу 117 г з урахуванням навіски пороху; ініціююча вибухова речовина – вибухова суміш А-ІХ-2, що представляє собою флегматизований гексоген масою 48 г, гарантований термін зберігання якого складає 30 років [9, с. 55].

У роботі [3, с. 66] встановлено, що основні втрати маси патрона відбуваються за рахунок зміни маси порохового заряду за рахунок хімічних перетворень. Тому змінним елементом в унітарному авіаційному артилерійському патроні типу ОФЗ-30 ГШ під час тривалої експлуатації в умовах дії навколишнього середовища може бути лише пороховий заряд. Для дослідження тенденцій зміни маси порохових зарядів патронів калібру 30 мм, а звідси балістичних характеристик, обрано патрон ОФЗ-30 ГШ, враховуючи що всі патрони калібру 30 мм мають однакову масу порохового заряду.

Для визначення впливу зміни маси порохових зарядів патронів при тривалому зберіганні без гермоупорки в умовах авіаційних бригад на їх балістичні характеристики використані статистичні дані зберігання 200 осколково-фугасних

патронів (ОФЗ-30 ГШ), які зберігалися у патронних ящиках на ПС більше трьох років.

Відхилення маси порохового заряду патронів від паспортного значення визначалось шляхом проведення зважувань 200 патронів калібру 30 мм типу ОФЗ-30 ГШ. Під час вимірювання маси авіаційних артилерійських патронів були використані повірені ваги лабораторні електронні типу CERTUS 04–02.00.00.НБ.

Усі результати вимірювань маси патронів ОФЗ-30 ГШ, які зберігалися понад три роки без гермоупорки в умовах авіаційних бригад, наведені на рис. 1 у вигляді кругової діаграми з кроком 1 г.

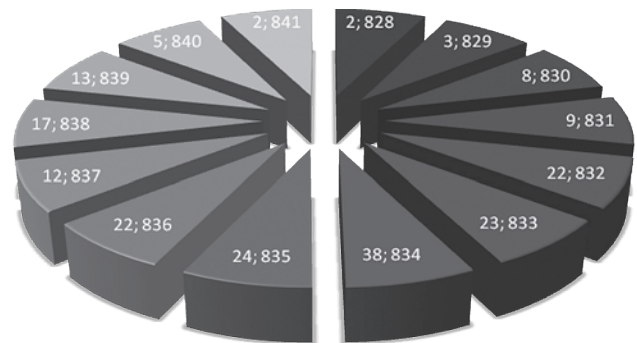


Рис. 1. Кругова діаграма розподілу кількості патронів у інтервалах відхилення маси для заданої вибірки

З рис. 1 видно, що кожному інтервалу маси патрона відповідає кількість патронів, яка потрапила в кожен інтервал.

Задача визначення балістичних характеристик снарядів та зміни їх властивостей, у результаті зміни маси патрона, може бути вирішена на основі комплексного застосування теоретичних методів з вирішенням задач внутрішньої балістики.

Відхилення маси порохового заряду патрона під час тривалого зберігання приводить до зміни балістичних характеристик у каналі ствола гармати ГШ-30-1 і, як наслідок, до відхилення характеристик початкової швидкості від паспортних значень. Для визначення зміни початкової швидкості снаряду скористаємося залежністю [10, с. 77].

Для статистичної вибірки, з урахуванням зміни маси авіаційних патронів ОФЗ-30 ГШ, розраховано різницю відхилення початкової швидкості (ΔV_0) патронів, результати приведені у табл. 1.

Для оцінки достовірності прийнятого рішення розрахуємо інтервальні оцінки масових характеристик та встановимо поле допуску для значень параметрів вибірки. У табл. 2 наведені оцінки математичного очікування та середньоквадратичного відхилення для визначеної вибірки.

Таблиця 1

Відхилення початкової швидкості у залежності від зміни маси патронів

Маса патронів, г	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841
Різниця (ΔV_0), м/с	26	19,5	13	6,5	0,3	6,5	13	19,5	26	32,5	39	45,5	52	58,5

Таблиця 2

Оцінки масових характеристик патронів вибірки

Кількість патронів, шт.	Статистичні величини відхилення маси патрону				
	m_{\min} , г	m_{\max} , г	Δm , г	m_x , г	σ_x , г
200	829	842	13	835,8	2,36

Гіпотезу щодо закону розподілу мас патронів для вибірки проведено з використанням критерію згоди Колмогорова-Смірнова. Отриманий результат – нульова гіпотеза, підтверджує про нормальний розподіл вибірки.

Характер розсіювання значень параметрів маси патронів для приведеної вибірки представлено у вигляді гістограми (рис. 2).

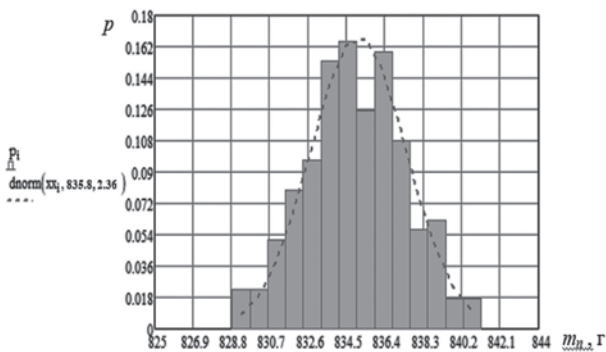


Рис. 2. Гістограма розподілу маси патронів за імовірністю їх появи у інтервалах

Для довірчої імовірності $\rho = 0,9$ визначена точність оцінки математичного очікування маси патронів вибірки при $\varepsilon_\rho = 0,33$, яка складає: $835,47 \text{ " } m_x \text{ " } 836,13 \text{ г}$ та довірчий інтервал для середньоквадратичного відхилення маси патронів з використанням розподілення χ^2 : $I_\rho = (5,1 \text{ г}; 7,9 \text{ г})$.

Тоді граничний інтервал по відхиленню маси патронів можливо представити у вигляді:

$$m_{\text{гр}} = m_x \pm 2\sigma_x, \quad (1)$$

де m_x – математичне сподівання маси патронів; σ_x – середньоквадратичне відхилення маси патронів.

З урахуванням (1) граничні інтервали по відхиленню маси патронів дорівнюють: $831,08 - 840,52 \text{ г}$.

Проведемо оцінку впливу відхилення початкової швидкості снарядів у визначеному діапазоні на балістичні елементи пострілу при стрільбі. Зміна початкової швидкості снаряду, звичайно, впливає на такі балістичні елементи траєкторії снаряду як час польоту, зниження та швидкість зустрічі снаряда з ціллю. Для аналізу цього впливу скористаємося математичною моделлю руху гарматного снаряду в косокутній системі координат для поправок [11, с. 56]. Кінцева система диференціальних рівнянь для поправок має вид:

$$\begin{cases} \frac{df_v}{dz} = -\frac{\pi \rho_{NO}}{8000} f_v C_{XE} \left(\frac{V_{01}}{a_{NO}} f_v \right), \\ \frac{d(f_{zP})}{dz} = \frac{1}{f_v^2}, \\ \frac{d(f_{z\eta})}{dz} = \frac{1}{f_v}, \\ \frac{d(f_{z\eta})}{dz} = 2f_{zP}. \end{cases} \quad (2)$$

З точки зору організації обчислювального процесу в системі (2) зручно ввести тимчасові змінні:

$$f_{zP} = Zf_p; \quad f_{z\eta} = Zf_i; \quad f_{z\eta} = Zf_i. \quad (3)$$

де f_{zP} , $f_{z\eta}$, $f_{z\eta}$ – мультиплікативні поправки відповідно до параметра вертикальної складової швидкості, часу та зниження снаряду.

Поправка f_v – для кінцевої швидкості снаряду, яка отримується з системи (2), з напрямку.

Система диференціальних рівнянь (2) обчислюється шляхом чисельного інтегрування при наступних початкових умовах: $z = 0, f_v = 1, f_{zP} = f_{z\eta} = f_{z\eta} = 0$. При виконанні кінцевої умови на дальності до цілі D , тобто при $z = c_H D$ інтегрування закінчується із урахуванням (3) обчислюються поправки:

$$\begin{cases} f_i = \frac{f_{z\eta}}{c_H D}; \\ f_\eta = \frac{f_{z\eta}}{(c_H D)^2}. \end{cases} \quad (4)$$

Отримані поправки (4), є результатом вирішення системи (2), яка являється двох параметричною, що залежать тільки від $c_H D$ та V_0 .

Кінцеві елементи траєкторії снаряду розраховуються за такими рівняннями:

$$V_c = V_0 \cdot f_v - \text{швидкість зустрічі снаряда з ціллю;}$$

$$t_c = \frac{D}{V_0} \cdot f_t - \text{час польоту снаряда;}$$

$$\eta_c = \frac{g_0 D^2}{2V_0} \cdot f_\eta - \text{зниження снаряда;}$$

$$\alpha_n = \frac{g_0 D}{2V_0} \cdot \cos \varepsilon \cdot f_\alpha - \text{кут прицілювання.}$$

Для отримання чисельних характеристик відхилень кінцевих елементів траєкторії гарматних снарядів у залежності від змін деяких балістичних характеристик у результаті тривалого зберігання в умовах авіаційних бригад, побудована програма розрахунку елементів траєкторії авіаційних артилерійських патронів у математичному середовищі MathCad, за таких умов стрільби:

– швидкість повітряного судна $V_1=600-1300$ км/год;

– висота стрільби $H=0-18500$ м.

Балістичні характеристики снаряду (ОФЗ-30 ГШ):

– балістичний коефіцієнт снаряда по Сіаччі $C_S=1,23$;

– початкова швидкість снаряду $V_0 = 860 \pm 15$ м/с;

– діапазон відхилення початкової швидкості снаряду у наслідок старіння пороху складає: $V_0=801,5-853,5$ м/с.

Розрахунки поправок для авіаційних патронів ОФЗ-30 ГШ з тривалим терміном зберіганням для даних умов застосування вказують на те, що відхилення маси порохового заряду патрона є наслідком

утворення помилок у визначенні кута прицілювання від 0,2 до 1,5 тисячних, що незначно впливає на точність застосування артилерійської зброї, особливо по наземній цілі, і не перевищує технічного розсіювання снарядів. Однак, помилки у визначенні кута упередження складають від 6 до 31 тисячних.

Внаслідок цього у процесі прицілювання по повітряним цілях помилки визначення кута упередження необхідно враховувати відповідно до рис. 3–5, залежно від зміни швидкості цілі і повітряного судна та висоти польоту повітряного судна під час стрільби із гармати.

На основі розрахунків було встановлено, що при прицілюванні по повітряній цілі основну частину сумарної кутової поправки складає кут упередження, помилки у визначенні якого приведуть до промахів, що неприпустимо. Крім того, розрахунки помилок кута упередження для патронів з терміном зберігання до 30 років дають результати помилок у 50–60 тисячних.

Запропоновані залежності визначення помилок кута упередження більш доцільно використовувати при обґрунтуванні ефективності бойового застосування ААЗ під час стрільби авіаційними патронами тривалого терміну зберігання та у якості рекомендацій льотному складу щодо умов бойового застосування для сформованих груп авіаційних патронів залежно від відхилення маси патрона.

На практиці для оцінки технічного стану (ТС) авіаційних патронів калібру 30 мм під час тривалого зберігання без гермоупорки в умовах

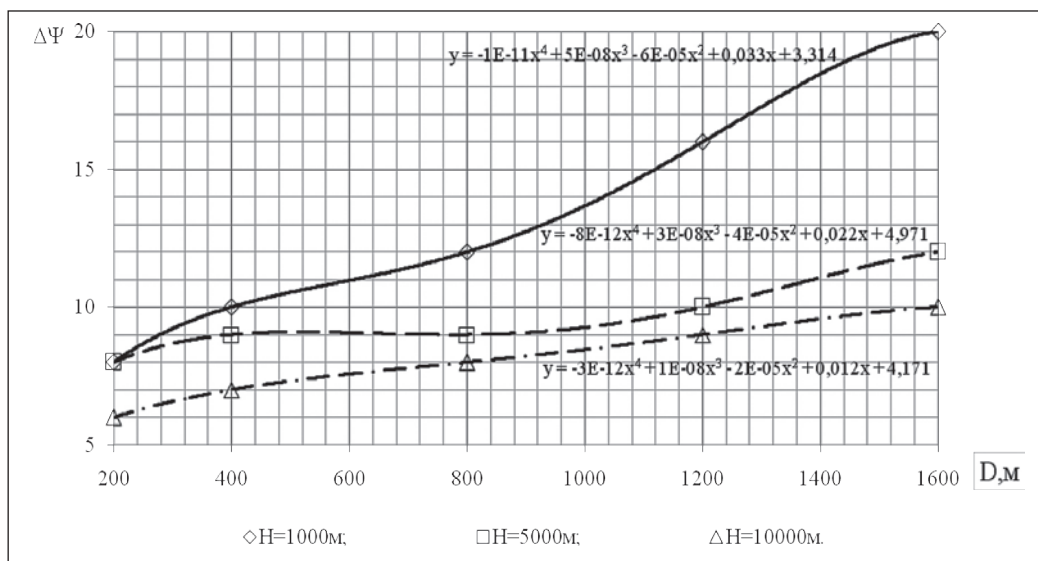


Рис. 3. Помилки визначення кута упередження для $V_1=1000$ км/год, $V_{ц}=600$ км/год, $q=90^\circ$

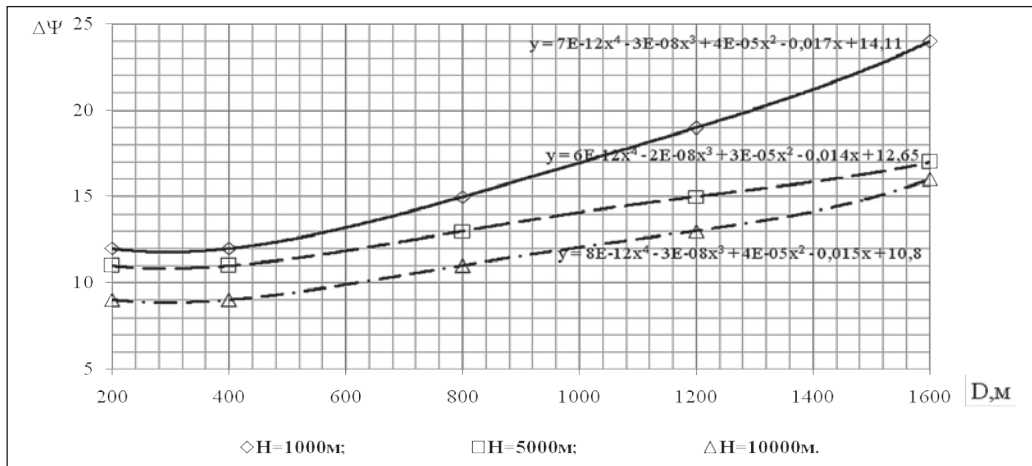


Рис. 4. Помилки визначення кута упередження для $V_I=1000$ км/год, $V_{II}=800$ км/год, $q=90^\circ$

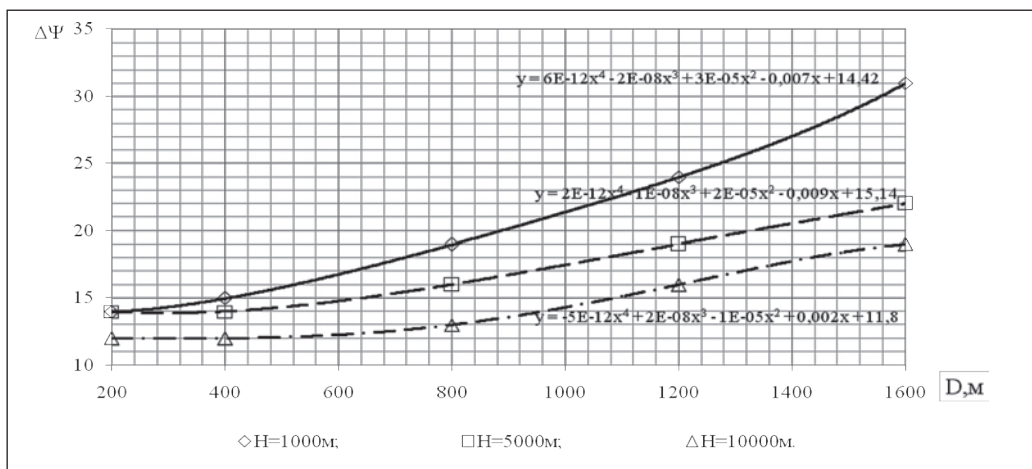


Рис. 5. Помилки визначення кута упередження для $V_I=1000$ км/год, $V_{II}=1000$ км/год, $q=90^\circ$

авіаційних бригад виникає необхідність у використанні більш швидких і простих у застосуванні підходів – експрес методик [2, с. 158], які під час діагностування одного варіанта виробів мають незначні питомі витрати і врахують глибину контролю.

Для моніторингу ТС авіаційних патронів калібру 30 мм тривалого терміну зберігання в умовах авіаційних бригад пропонується метод відносної оцінки для отримання чисельного значення діагностичного параметра за трьома граничними станами. У задачах технічної діагностики стан системи описується за допомогою комплексу параметрів:

$$P = (m_{n_1}, m_{n_2}, \dots, m_{n_j}), \quad (5)$$

де m_{n_j} – діагностичний параметр, що характеризує масу j -го унітарного патрона.

Тоді розпізнавання ТС патрона за діагностичним параметром m_{n_j} проводиться за трьома розрядами параметра. Кожному розряду k_j від-

повідає технічний стан патрону: k_1 – «справний стан патрона», k_2 – «працездатний стан патрона», k_3 – «несправний стан патрона».

Звідси, задача оцінки ТС патронів калібру 30 мм довготривалого терміну зберігання зводиться до вирішення задачі допускового контролю.

Для оцінки ТС порохових зарядів унітарних авіаційних патронів без їх розпатрунювання, що зберігаються на авіаційних складах, необхідно визначити сукупність діагностичних параметрів. Сукупність діагностичних параметрів для об'єктивної оцінки технічного стану патронів повинна включати як зовнішні, так і внутрішні параметри патрона.

Внутрішньою ознакою розкладання піроксилінових порохів є поява на поверхні порохового елемента окремих синіх, темно-синіх, або чорних плям, які вказують на початковий період розкладання. Поява таких плям супроводжується виділенням окисів азоту і викликає корозію поверхні боеприпаси (снаряду, кулі) та стінок гільзи [9, с. 61].

До зовнішніх параметрів слід віднести масо-габаритні характеристики патрона та ознаку наявності (відсутності) корозії на зовнішніх елементах конструкції патрона, яка виявляється під час зовнішнього огляду патронів.

Однак, за умови заборони розпатронювання патронів в умовах авіаційних бригад, пропонується проводити зважування авіаційних патронів, використовуючи відносну оцінку маси патронів. Прийняття рішення щодо ТС патронів пропонується за алгоритмом:

$$\begin{cases} m_{nj} = m_{n_n}, & \text{то } m_{nj} \rightarrow k_1; \\ \bar{m}_{n_j, \text{ГРmin}} \leq m_{nj} \leq \bar{m}_{n_j, \text{ГРmax}}, & \text{то } m_{nj} \rightarrow k_2; \\ m_{nj} > \bar{m}_{n_j, \text{ГРmax}} \cup m_{nj} < \bar{m}_{n_j, \text{ГРmin}}, & \text{то } m_{nj} \rightarrow k_3, \end{cases} \quad (6)$$

де m_{n_n} – номінальне значення параметра маси унітарного патрону; $\bar{m}_{n_j, \text{ГРmin}}$, $\bar{m}_{n_j, \text{ГРmax}}$ – відносні мінімальне і максимальне гранично-допустимі значення контрольованого параметра маси j -го унітарного патрона (експлуатаційний допуск відхилення маси патронів).

Отримані відносні значення маси патронів за (6) класифікуються за показниками, що наведено в табл. 3.

За представленим методом проведено класифікацію ТС патронів при зберіганні в умовах авіаційних бригад з урахуванням допуску відхилення V_p . Отримані результати свідчать, що близько 46%

патронів відповідають працездатному ТС. Для інших умовно працездатних патронів (входять до граничного інтервалу але мають відхилення V_0) близько 44% формуються групи, для яких визначаються прицільні поправки стрільби за рис. 3-5.

Таблиця 3

Оцінка технічного стану патронів за відносним значенням маси патронів

Характеристика патрона	Розряди технічного стану патронів		
	k_1	k_2	k_3
Відносне значення маси патронів	1	0,9985...1,0020	0,9985 <, < 1,0020

Висновки. Запропонована методика визначення прицільних поправок стрільби з урахуванням зміни маси патронів під час тривалого зберігання дозволить оцінювати тенденцію зміни значень поправок при стрільбі, які необхідно враховувати льотному складу для ефективного застосування ААЗ, та в умовах бойового застосування за знову призначеним ресурсом авіаційних артилерійських патронів.

Патрони, які явно втратили балістичну стабільність, вилучати із бойового комплексу, забезпечуючи при цьому допустимі значення кута упередження та безпеку бойового застосування зброї.

Список літератури:

1. Проблема живучості стрілецької зброї при використанні боєприпасів після гарантійних строків зберігання / Аніпко О.Б., Баулін Д.С., Муленко О.О. // *Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України*. 2010. Вип. 2 (16). С. 11–13.
2. Аніпко О.Б., Хайков В.Л. Система моніторингу артилерійських боєприпасів и анализ ее возможных структур по степени рациональности. *Інтегровані технології та енергозбереження*. 2013. Вип. 2. С. 148–159.
3. Аніпко О.Б., Хайков В.Л. Анализ методов оценки состояния пороховых зарядов как элемент системы мониторинга артиллерийских боеприпасов. *Інтегровані технології та енергозбереження*. 2012. Вип. 3. С. 60–71.
4. Буллер М.Ф., Романько Т.В. Химическая стойкость и безопасное хранение пироксилиновых порохов. *Вестник КрНУ имени М. Остроградского*. 2013. Вип. 3. С. 211–216.
5. Аніпко О.Б., Баулін Д.С. Теоретичні основи впливу термінів зберігання боєприпасів на їх балістичні характеристики. *Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України*. 2009. Вип. 2 (14). С. 24–31.
6. Бірюков І.Ю., Баулін Д.С. Експлуатаційні характеристики стрілецького озброєння при використанні боєприпасів довготривалого зберігання. *Інтегровані технології та енергозбереження*. 2008. Вип. 2. С. 113–117.
7. Методика дослідження технічного стану піротехнічних засобів / Д.В. Довжук, А.М. Шатров, О.В. Ільїна. Київ : ДНДІА. 2012. Вип. 15. С. 153–156.
8. Комплекс мероприятий по контролю массы артиллерийских выстрелов унитарного заряжания как элемент системы мониторинга их пороховых зарядов при длительном хранении / О.Б. Аніпко, В.Л. Хайков, В.Ф. Вертелецький // *Сборник научных трудов Академии ВМС имени П.С. Нахимова*. 2013. Вип. 4 (21). С. 121–128.
9. Гончаренко П.Д., Котасонов Ю.І., Хайков В.Л. Моделирование процесів вражаючої дії артилерійських боєприпасів з використанням комп'ютерного обчислювального експерименту : навч. посіб. Севастополь : Академія ВМС ім. П.С. Нахімова, 2012. 216 с.

10. Анипко О.Б., Вертелецкий В.Ф. Изменение физико-химических свойств порохового заряда и начальной скорости артиллерийских боеприпасов морской номенклатуры калибров 25/80 и 30/54. *Інтегровані технології та енергозбереження*. 2013. Вип. 2. С. 74–80.

11. Константинов А.О., Васильченко Д.О., Ключніков І.М. Зовнішня балістика. Ч. 2. Балістичне забезпечення авіаційних засобів ураження : навч. посіб. Харків : ХНУПС, 2016. 150 с.

Berezanskyi V.G. METHOD OF DETERMINATION OF SIZE AMENDMENTS FOR SHOOTING TAKING INTO ACCOUNT OF THE CHANGE IN THE WEIGHT OF AVIATION ARTILLERY SHOES AT THEIR DURATION IN THE CONDITIONS

The article introduces the study of the influence of the ballistic characteristics of aviation artillery cartridges on the ballistic elements of the trajectory of snacks during their long-term storage in the conditions of aviation crews. The absence in the country of its own production of aviation artillery cartridges causes the operation of aviation artillery cartridges for a newly assigned resource or extended shelf life.

With long-term storage of cartridges ballistic characteristics change, due to changes in the physical and chemical properties of the powder cartridge. The aging of gunpowder leads to a reduction in the effectiveness of the target: an increase in muzzle pressure and a decrease in muzzle velocity in the bore of the aircraft artillery and, as a consequence, an increase in the projectile.

The purpose of the article is to develop a method for evaluating the aiming of firing, taking into account the change in the mass of powder charges of aviation artillery cartridges during their long-term storage in the conditions of aviation crews. Particular attention is given in the article to the relationship between the mass of the cartridge, the initial velocity and the ballistic elements of the trajectory of the projectile. Changing the initial velocity of a projectile, of course, affects such ballistic elements of the projectile trajectory as the flight time, the reduction and the velocity of meeting the projectile with the target. The elimination of contradictions is possible by taking into account the aiming of firing when the mass of aviation artillery cartridges is changed during their long-term storage in the conditions of aviation crews.

One way to control the change in the technical condition of aviation artillery cartridges is to weigh cartridges over a long storage time. According to the statistics of cartridge storage interval estimates of the deviation of the mass of cartridges were determined and the range of deviation of the initial velocity was set. Dependences of determination of a bias angle are considered taking into account change of weight of cartridges which it is expedient to use at justification of groups of aviation cartridges.

To monitor the technical condition of the cartridges during long-term storage in terms of aviation crews, a method of relative estimation of the mass of cartridges during their weighing according to the presented algorithm is proposed. The proposed method of determining the aim of firing corrections taking into account the change in the mass of ammunition during long-term storage will allow to estimate the tendency of change of values of firing corrections, which must be taken into account for the effective use of aviation artillery weapons, and in the conditions of combat use of the newly assigned recruiting resource of aviation

Key words: *initial velocity, cartridge, ballistic characteristics, angle of bias, powder charge mass, correction.*

УДК 629.735

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.1-1/03>

Владов С.І.

Кременчуцький льотний коледж
Харківського національного університету внутрішніх справ

Шмельов Ю.М.

Кременчуцький льотний коледж
Харківського національного університету внутрішніх справ

Пилипенко Л.М.

Кременчуцький льотний коледж
Харківського національного університету внутрішніх справ

Подгорних Н.В.

Кременчуцький льотний коледж
Харківського національного університету внутрішніх справ

Назаренко Н.П.

Кременчуцький льотний коледж
Харківського національного університету внутрішніх справ

Тугова Н.В.

Кременчуцький льотний коледж
Харківського національного університету внутрішніх справ

Дерябіна І.О.

Кременчуцький льотний коледж
Харківського національного університету внутрішніх справ

КОНТРОЛЬ І ДІАГНОСТИКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ АВІАЦІЙНОГО ДВИГУНА ТВ3-117 ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МОДЕРНІЗОВАНИХ МЕТОДІВ НАЙМЕНШИХ КВАДРАТІВ Й ЗРІВНЮВАННЯ

Предметом дослідження в статті є авіаційний двигун ТВ3-117 та методи контролю і діагностики його технічного стану. Мета роботи – розроблення методу контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 в польотних режимах із застосуванням модернізованого методу найменших квадратів й зрівнювання. В статті вирішуються такі завдання: розв’язок завдань контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 в польотних режимах із застосуванням модернізованих методів найменших квадратів й зрівнювання. Використовуються такі методи: методи математичного моделювання, метод найменших квадратів, метод зрівнювання, статистичні методи обробки інформації. Отримано такі результати: розроблений метод контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 в польотних режимах із застосуванням модернізованих методів найменших квадратів й зрівнювання дає змогу оцінити фактичне відхилення параметрів двигуна від розрахункових, зумовлених похибкою виготовлення і деформацією елементів проточної частини у процесі напрацювання, й підвищити інформативність і скоротити загальний час контролю і діагностики в 2...3 рази завдяки використанню індивідуальної моделі авіаційного двигуна ТВ3-117 і розширеної експертної бази знань про його характеристики. Висновки: розроблено метод контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 в польотних режимах із застосуванням модернізованих методів найменших квадратів й зрівнювання, що дає змогу проводити контроль і діагностику технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 за обмеженого обсягу вихідної інформації, а також виявити і локалізувати дефекти проточної частини двигуна з точністю до вузла; практичне використання отриманих результатів. Розроблений метод контролю і діагностики проточної

частини авіаційного двигуна ТВ3-117 є доповненням до нечіткої експертної системи, який може служити конкретизацією, підтвердженням або спростуванням вихідної інформації щодо поточного стану авіаційного двигуна ТВ3-117, отриманої за допомогою нечіткої експертної системи.

Ключові слова: авіаційний двигун, контроль, діагностика, параметри, метод.

Постановка проблеми. Авіаційний двигун ТВ3-117 – складний технічний об’єкт, що втілює в собі передові технології науки і техніки, спектр завдань, що вирішуються, який дуже різноманітний: від завдань, які виконуються на борту літального апарату – силова установка літального апарату – до функцій наземних енергоустановок. Своєчасний і якісний процес контролю і діагностики параметрів і систем авіаційного двигуна ТВ3-117 дає змогу здійснювати його ефективну експлуатацію за технічним станом. Незважаючи на велике різноманіття методів контролю і діагностики технічного стану авіаційних двигунів [1–3], сьогодні немає універсальних методів, здатних повністю замінити інші, що пов’язано з високою складністю авіаційного двигуна: багатопараметричність, нелінійність процесів, що протікають в ньому, багаторежимне його функціонування тощо. Все це передбачає необхідність застосування комплексних методів і методик для розв’язку завдань контролю і діагностики параметрів авіаційного двигуна і його систем.

Для оцінки технічного стану авіаційних двигунів контролюється безліч різних за своєю фізичною природою параметрів. Досвід експлуатації авіаційних двигунів показує, що оцінка їх стану вимагає комплексного застосування методів і засобів контролю і діагностики, узагальнення всієї діагностичної інформації для прийняття правильного і своєчасного рішення.

Ефективним засобом підвищення достовірності контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 може служити експертна інформація, яка формується в результаті інтуїтивно-логічного аналізу вихідних даних із використанням відповідного математичного апарату групою експертів, що дозволяє виявити об’єктивну природу параметрів технічного стану досліджуваного об’єкта і розширити на цій основі можливості в достовірній оцінці технічного стану останнього [4–6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботах професора Жернакова С.В., які присвячені інтелектуальним методам контролю і діагностики технічного стану авіаційних двигунів відзначено, що діагностика проточної частини авіаційного двигуна ТВ3-117 проводиться по відхиленням контрольованих термогазодинамічних параметрів на різних режимах роботи [4–6].

Введення математичної моделі авіаційного двигуна ТВ3-117 до нечіткої експертної системи [4] дозволить:

- моделювати несправності у вузлах компресора, камери згорання й турбіни авіаційного двигуна ТВ3-117;

- проводити діагностику за змодельованими «експериментальними» даними (витрати повітря, палива, частоті обертання ротора турбокомпресора, температурам і тискам повітря за компресором й газу за турбіною) на різних режимах роботи авіаційного двигуна ТВ3-117.

Постановка завдання. Метою роботи є розробка методу контролю і діагностики проточної частини авіаційного двигуна ТВ3-117, який базується на відхиленнях контрольованих термогазодинамічних параметрів на різних режимах його роботи, при цьому критеріями стану різних вузлів двигуна є так звані параметри стану: коефіцієнти корисної дії, коефіцієнти втрат, площі прохідних перерізів тощо. Вплив параметрів стану на контрольовані параметри авіаційного двигуна ТВ3-117 на різних режимах його роботи є неоднозначним як за величиною, так і за знаком. У статті розв’язується завдання контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117, що надасть можливість забезпечити найбільш точну оцінку стану вузлів його проточної частини.

Виклад основного матеріалу дослідження. В якості математичного апарату для контролю і діагностики стану вузлів проточної частини авіаційного двигуна ТВ3-117 вибрані модернізовані «класичні» методи: метод найменших квадратів, метод зрівнювання. При цьому в процесі модернізації «класичних» методів, основна роль яких направлена на уточнення математичної моделі за вектором відхилень, отриманому в рамках FDI-методу [7, 8], жорсткі допуски на контрольовані параметри двигуна були замінені м’якими, що дозволило збільшити точність локалізації дефекту, а також знизити похибки першого і другого роду [7].

Основними принципами реалізації алгоритмів контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 в рамках FDI-методу [7, 8] при використанні модернізованих «класичних» методів є:

- використання математичної моделі двигуна (з налаштуванням останньої на індивідуальний або середній за парком двигун);

– покомпонентне порівняння векторів параметрів двигуна, обчислених за математичною моделлю й отриманих у ході льотної експлуатації повітряного судна;

– за вектором відхилень, отриманому в процесі порівняльного аналізу, здійснюється уточнення (підстроювання) математичної моделі з одночасною локалізацією прояву дефекту.

При цьому в межах цих принципів реалізація методу найменших квадратів як математичного апарату, в межах якого здійснюється розв’язок завдань контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117, здійснюється через уточнення значень коефіцієнтів, що характеризують елементи газоповітряного тракту, мінімізуються нев’язки між однойменними параметрами, отриманими розрахунком за математичною моделлю й в процесі експерименту:

$$\delta_{jI} = P_{Jp} - P_{Je}; \quad (1)$$

де δ_{jI} – нев’язка; P_{Jp} – значення параметра, який обчислюється за математичною моделлю; P_{Je} – експериментальне значення параметра; $J = \overline{1, m}$, m – номер вимірюваного параметра; $j = \overline{1, k}$, k – номер вимірювання параметра.

Основним критерієм є мінімум середньоквадратичної похибки нев’язки:

$$f(x) = \sum_{j=1}^k (p_{jp}(x_{ip}) - p_{je}(x_{ie}))^2 \rightarrow \min \quad (2)$$

шляхом розв’язку системи із n нормальних рівнянь:

$$\frac{\partial (p_{jp}(x_{ip}) - p_{je}(x_{ie}))}{\partial x_i} = 0. \quad (3)$$

Метод зрівнювання в межах FDI-методу [5; 6] є одним із варіантів методу найменших квадратів й застосовується лише в тому випадку, коли виміряні величини певним чином детерміновано взаємопов’язані. При льотній експлуатації повітряного судна в його двигуні такими залежностями є рівняння робочого процесу.

Метод зрівнювання для уточнення математичних моделей зводиться до оцінювання m вимірюваних параметрів p_1, p_2, \dots, p_m , які повинні задовольняти умові $q < m$ рівнянням зв’язку, де q – число варійованих параметрів: $F_i(p_i) = 0$, де $i = \overline{1, q}$.

Оцінки \tilde{p}_j для величини p_j знаходяться на основі вимірювань p_{je} , які обтяжені випадковими похибками. Згідно з принципом максимальної правдоподібності сума квадратів відхилень

оцінок \tilde{p}_j від вимірюваних величин повинна бути мінімальною, при цьому оцінки \tilde{p}_j повинні задовольняти рівнянням зв’язку:

$$\sum_{j=1}^k B_j (\tilde{p}_j - p_{je})^2 \rightarrow \min; \quad (4)$$

$$F_j(p_j) = 0;$$

де B_j – коефіцієнти ваги.

Рівняння зв’язку можуть бути застосовані у вигляді:

$$\sum_{j=1}^k b_j \tilde{p}_j \rightarrow \min; \quad (5)$$

де b_j – коефіцієнти впливу.

Визначаються оцінки \tilde{p}_j величини p_j , за значенням яких знаходяться й оцінки характеристик вузлів проточної частини авіаційного двигуна ТВ3-117:

$$x_i = \sum_{j=1}^k a_{ij} \tilde{p}_j. \quad (6)$$

Математична модель авіаційного двигуна ТВ3-117 забезпечує виконання наступних функцій:

- отримання кліматичних характеристик;
- урахування впливу зміни властивостей робочого тіла на характеристики елементів двигуна;
- урахування особливостей характеристик елементів;
- узгодженість форми представлення характеристик елементів й методики їх експериментального визначення.

Модель такого роду дозволяє:

- прогнозувати значення характеристик конкретного екземпляру двигуна у процесі його експлуатації;
- об’єктивно назначати (варіювати) допуски на розкид характеристик;
- оцінювати вплив різних методів налагодження, можливих у процесі експлуатації розкидів (варіювання) ККД елементів і геометричних розмірів проточної частини, відхилень в системі регулювання на характеристики, з метою розробки заходів, що забезпечують стабільність основних характеристик двигуна у процесі його експлуатації;
- оцінювати технічний стан двигуна при експлуатації за термогазодинамічними параметрами на основі порівняння розрахункових (визначених за математичною моделлю), в рамках FDI-методу [7, 8], й експериментальних даних.

Вхідними параметрами математичної моделі є атмосферні умови: тиск й температура, вміст

вологи, положення ручки керування двигуном або частота обертання ротора турбокомпресора, ступінь зниження тиску газу в турбіні тощо. Вихідними параметрами моделі є величини температур і тисків повітря за компресором й газу за турбіною тощо, які визначаються за загальновідомими формулами, якщо задані координати положення робочих точок на характеристиках елементів: $y_i, i = 1, 2, \dots, n$. Невідомі координати y_i визначаються з рівняння зв'язку робочого процесу між елементами двигуна:

$$Z_i = Z_i(y_1, y_2, \dots, y_n) = 0. \quad (7)$$

Робочі процеси в авіаційному двигуні ТВ3-117 описуються рівняннями, що враховують:

- рівність робіт компресора й турбіни на різних валах;
- нерозривність між характерними перерізами проточної частини двигуна;
- тепловідведення в камері згорання;
- закони регулювання двигуна.

Розглянемо розв'язок завдань контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 в польотних режимах на основі FDI-методу з застосуванням модернізованих класичних методів: найменших квадратів і зрівнювання.

Приклад діагностики стану проточної частини авіаційного двигуна ТВ3-117 методом найменших квадратів. Нехай для оцінки технічного стану проточної частини авіаційного двигуна ТВ3-117 були заміряні та обчислені наступні параметри: T_2^* – температура повітря за компресором (К); P_2^* – тиск повітря за компресором (МПа); G_T – витрата палива (км/год); R – тяга двигуна (Н); P_4 – тиск газів за турбіною (МПа). Величини цих параметрів приведені у табл. 1 (в приведених одиницях) [9].

Таблиця 1

Параметр	T_2^*	G_T	P_2^*	R	P_4
Значення параметрів середньостатистичного двигуна	0,876	0,832	0,924	0,895	0,887
Значення параметрів дефектного двигуна	1,052	1,047	1,038	1,012	1,007

В якості варійованих параметрів обрано: η_K^* – ККД компресора; η_T^* – ККД турбіни; F_c – площа сопла; A_T – приведена витрата газів до умов на вході в турбіну. Априорно відомі значення варійованих параметрів x_i , оскільки експеримент було змодельовано, а саме змінено значення $\eta_K^* = 0,85$.

Представимо модель досліджуваного двигуна у вигляді системи лінійних алгебраїчних рівнянь аналогічним чином, як описано у [10]:

$$\begin{cases} \delta T_2^* = -2,02\delta\eta_K^* + 1,57\delta\eta_T^* + 0,14\delta F_c - 1,28\delta A_T; \\ \delta G_T = -0,46\delta\eta_K^* - 0,71\delta\eta_T^* - 0,07\delta F_c + 0,05\delta A_T; \\ \delta P_2^* = 0,74\delta\eta_K^* - 0,93\delta\eta_T^* - 0,72\delta F_c + 0,58\delta A_T; \\ \delta R = 1,08\delta\eta_K^* - 0,94\delta\eta_T^* - 0,68\delta F_c + 0,03\delta A_T; \\ \delta P_4 = -0,32\delta\eta_K^* + 0,19\delta\eta_T^* - 0,24\delta F_c - 0,06\delta A_T; \end{cases} \quad (8)$$

Розв'язок системи нормальних рівнянь має вигляд:

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial \eta_K^*} \left[\sum_{i=1}^5 \left(P_{J_E} - \sum_{i=1}^4 a_{J_i} \delta x_i \right) \right] = 0; \\ \frac{\partial}{\partial \eta_T^*} \left[\sum_{i=1}^5 \left(P_{J_E} - \sum_{i=1}^4 a_{J_i} \delta x_i \right) \right] = 0; \\ \frac{\partial}{\partial F_c} \left[\sum_{i=1}^5 \left(P_{J_E} - \sum_{i=1}^4 a_{J_i} \delta x_i \right) \right] = 0; \\ \frac{\partial}{\partial A_T} \left[\sum_{i=1}^5 \left(P_{J_E} - \sum_{i=1}^4 a_{J_i} \delta x_i \right) \right] = 0; \end{cases} \quad (9)$$

при перерахованих вище умовах дозволило отримати чисельні значення варійованих коефіцієнтів, що характеризують стан проточної частини двигуна, які наведені у табл. 2 (в приведених одиницях) [9].

Таблиця 2

Ознаки стану	η_K^*	η_T^*	F_c	A_T
Значення параметрів середньостатистичного двигуна	0,80	0,90	0,885	0,953
Значення параметрів дефектного двигуна	0,80	0,85	0,885	0,953

Використовуючи ту ж саму модель двигуна розв'яжемо завдання контролю і діагностики його проточної частини при тій же групі заміряних та обчислених параметрів (табл. 3, в приведених одиницях [9]), змодельовано дефект, априорно знаючи варійований параметр x_i у вузлу компресора: $\eta_K^* = 0,75$.

Таблиця 3

Параметр	T_2^*	G_T	P_2^*	R	P_4
Значення параметрів середньостатистичного двигуна	0,876	0,832	0,924	0,895	0,887
Значення параметрів дефектного двигуна	1,068	1,035	1,036	1,009	1,006

Розв'язок системи нормальних рівнянь (9) дозволило отримати наступні результати варіюваних коефіцієнтів, що характеризують стан проточної частини авіаційного двигуна ТВ3-117 (табл. 4. в приведених одиницях [9]).

Таблиця 4

Ознаки стану	η_K^*	η_T^*	F_c	A_T
Значення параметрів середньостатистичного двигуна	0,80	0,90	0,885	0,953
Значення параметрів дефектного двигуна	0,75	0,90	0,885	0,953

Аналіз табл. 2 і 4 дає змогу зробити висновок, що передбачуваний дефект у першому випадку локалізований у вузлу турбіни, оскільки коефіцієнт корисної дії її зменшився на 6 %, а в другому випадку – у вузлу компресора, оскільки коефіцієнт корисної дії його зменшився на 4 %.

Дефект у компресорі може бути викликаний нестабільним положенням ВНА (вхідного направляючого апарату) компресора, а також забрудненням проточної частини двигуна. Дефект у турбіні може бути викликаний конструктивними змінами проточної частини (збільшені, зменшені зазори), а також прогаром, витяжкою лопаток турбіни.

Розв'язок завдань контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 в польотних режимах із застосуванням модернізованого методу зрівнювання. Для оцінки технічного стану проточної частини авіаційного двигуна ТВ3-117 були заміряні та обчислені наступні параметри: T_2^* – температура повітря за компресором (К); P_2^* – тиск повітря за компресором (МПа); G_T – витрата палива (кг/год); R – тяга двигуна (Н); P_4 – тиск газів за турбіною (МПа); G_B – витрата повітря (кг/год). Величини цих параметрів приведені у табл. 5 (в приведених одиницях) [9].

Таблиця 5

Параметр	G_B	T_2^*	G_T	P_2^*	R	P_4
Значення параметрів середньостатистичного двигуна	0,878	0,832	0,924	0,895	0,793	1,007
Значення параметрів дефектного двигуна	1,049	1,047	1,038	1,012	0,885	0,998

Завдання діагностики в цьому прикладі виконується в такий спосіб: необхідно визначити оцінки параметрів \hat{P}_j з умови [10–12]:

$$F_i(\delta P_j) = (\delta T_2^* - \delta T_2^*)^2 - (\delta \hat{G}_T - \delta G_T)^2 + (\delta \hat{P}_2^* - \delta P_2^*)^2 + (\delta \hat{R} - \delta R)^2 + (\delta \hat{P}_4 - \delta P_4)^2 + (\delta \hat{G}_B - \delta G_B)^2 \rightarrow \min; \quad (10)$$

при

$$\frac{\partial F(\delta P_j)}{\partial P_j} = 0; \quad (11)$$

за наявності рівнянь зв'язку, що описують робочий процес в авіаційному двигуні ТВ3-117:

$$\sum_{j=1}^m a_{j_i} \delta P_j = 0; \quad (12)$$

де «р» – розрахункові значення параметрів авіаційного двигуна ТВ3-117 по математичній моделі; «э» – дані, отримані в процесі експерименту.

Нехай рівняння зв'язку, що описують робочий процес в двигуні, мають вигляд:

$$\begin{cases} a_{11}\delta T_2^* + a_{12}\delta T_4^* + a_{13}\delta G_B + a_{14}\delta G_T = 0; \\ a_{21}\delta T_2^* + a_{22}\delta T_4^* + a_{23}\delta G_B + a_{24}\delta G_T = 0; \\ a_{31}\delta T_2^* + a_{32}\delta T_4^* + a_{33}\delta G_B + a_{34}\delta G_T = 0; \\ a_{41}\delta T_2^* + a_{42}\delta T_4^* + a_{43}\delta G_B + a_{44}\delta G_T = 0; \end{cases} \quad (13)$$

Тоді значення елементів матриці коефіцієнтів впливу мають такі величини для діагностованого двигуна:

$$A = \begin{pmatrix} 0,1 & 1,3 & 1,0 & -1,0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,8 & 0 & 2,7 & -2,9 & -3,6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1,0 & -1,5 & 0 \\ 0 & 0,4 & 1,0 & 0 & 0 & 0 & -3,2 & 2,2 \end{pmatrix}. \quad (14)$$

Реалізація умови (9) за наявності рівнянь зв'язку дає наступні значення ознак стану, наведених в табл. 6, з якої видно, що дефект локалізований у вузлу турбіни, оскільки ККД турбіни у моделі діагностованого двигуна менше на 5 %, ніж у еталонної моделі.

Таблиця 6

Модель двигуна	Коефіцієнт			
	$\delta \eta_K^*$	$\delta \eta_T^*$	δF_c	δA_T
Еталонна модель	0,80	0,90	0,885	0,955
Діагностована модель	0,80	0,85	0,885	0,955

Порівняльний аналіз методів контролю та діагностики технічного стану проточної частини авіаційного двигуна ТВ3-117, в рамках

FDI-методу [7; 8], проводився з урахуванням критерію діагностики, запропонованого у [10; 11]:

$$F = \sum_{i=1}^n (\bar{x}_{i_s} - \bar{x}_{i_p})^2; \quad (15)$$

де \bar{x}_{i_s} , \bar{x}_{i_p} – відносні величини варійованих (внутрішніх) параметрів, отриманих у процесі експерименту і розрахунку за математичною моделлю. Критерій ефективності діагностики є величина нев’язки, яка дорівнює середньоквадратичній різниці між відносними величинами варійованих параметрів.

Для порівняння методів використовувався машинний експеримент. Коефіцієнт корисної дії турбіни η_T^* був занижений на 5 % ($\eta_T^* = 0,85$) у порівнянні із значенням η_T^* працездатного двигуна ($\eta_T^* = 0,90$), і на розраховані за моделлю вимірювані параметри (T_2^* , G_T , P_2^* , R , P_4^* , T_4^* , G_B , n_{1np}), де T_4^* – температура газів на виході з турбіни; n_{1np} – наведена частота обертання ротора турбокомпресора, накладалися розподілені за нормальним законом випадкові похибки вимірювань.

Було отримано 64 експериментальні точки, в кожній з яких вимірювалося за 8 вихідними параметрами. Варіювалися внутрішні параметри стану: η_K^* , η_T^* , F_c , A_T .

Характеристиками методу є середні значення критерію F і його дисперсія. Результати розрахунків наведено в табл. 7.

Аналіз результатів представлених в табл. 7 дозволяє зробити наступний висновок: для авіа-

ційного двигуна ТВ3-117 в умовах досить повної експериментальної інформації (8 виміряних та обчислених параметрів), кращим є метод зрівнювання, що дозволяє більш точно визначити параметри технічного стану вузлів проточної частини авіаційного двигуна ТВ3-117.

Таблиця 7

Критерій і дисперсія	Метод найменших квадратів	Метод зрівнювання
F	$1,384 \cdot 10^{-4}$	$6,742 \cdot 10^{-5}$
DF	$1,151 \cdot 10^{-8}$	$5,353 \cdot 10^{-9}$

Висновки. У роботі показано, що математична модель авіаційного двигуна ТВ3-117 у нечіткій експертній системі контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 дає змогу:

- проводити контроль та діагностику технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 при обмеженому обсязі вихідної інформації;

- виявити і локалізувати дефекти проточної частини двигуна з точністю до вузла;

- оцінити фактичне відхилення параметрів двигуна від розрахункових, обумовлених похибкою виготовлення і деформацією елементів проточної частини у процесі напрацювання;

- підвищити інформативність і скоротити загальний час контролю і діагностики в 2...3 рази за рахунок використання індивідуальної моделі авіаційного двигуна ТВ3-117 і розширеної експертної бази знань про його характеристики.

Список літератури:

1. Chachurski R., Glowacki P., Czacinski S. Methods of counting aircraft turbine engines operating cycles. *Transactions of the institute of aviation*. 2011. No. 207. P. 5–13.
2. Fedorchenko D., Novikov D. Cycle counting methods of the aircraft engine. *International journal of environmental and science education*. 2016. Vol. 11. No. 4. P. 3832–3846.
3. Lingfei X., Yanbin D., Jixiang H., Bin J. Sliding mode fault tolerant control with adaptive diagnosis for aircraft engines. *International journal of turbo & jet-engines*. 2018. Vol. 35. Issue 1. P. 49–57.
4. Жернаков С.. Активная экспертная система мониторинга и управления ремонтом авиационных газотурбинных двигателей. *Радиоэлектроника. Информатика. Управление*. 2001. № 2. С. 80–84.
5. Жернаков С., Равилов Р. Контроль и диагностика технического состояния авиационного двигателя на основе экспертной системы С-PRIZ. *Вестник УГАТУ*. 2012. Т. 16. № 6 (51). С. 3–11.
6. Васильев В., Жернаков С. Контроль и диагностика технического состояния авиационных двигателей на основе экспертных систем. *Вестник УГАТУ*. 2007. Т. 9. № 4 (22). С. 11–23.
7. Шмельов Ю., Владов С., Хебда А., Котлярков К. Застосування правил нечіткої логіки в задачі ідентифікації технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія : Технічні науки*. 2018. Т. 30 (69). № 3. С. 34–40.
8. Шмельов Ю., Владов С., Клімова Я. Застосування методології системного аналізу до вирішення проблеми ідентифікації технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117. *Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи* : матеріали Регіональної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих науковців, 6–8 червня 2018 р., м. Вінниця. Вінниця : ВНТУ. С. 278–282.
9. Васильев В., Жернаков С., Муслухова И. Бортовые алгоритмы контроля параметров ГТД на основе технологии нейронных сетей. *Вестник УГАТУ*. 2009. Т. 12. № 1 (30). С. 61–74.

10. Дегтярев Ю., Гумеров Х., Юлдыбаев Л. Сравнение методов идентификации математических моделей ГТД. *Испытания авиационных двигателей*. 1981. № 9. С. 98–104.
11. Ntantis E.L., Botsaris P.N. Diagnostic methods for an aircraft engine performance. *Journal of engineering science and technology*. 2015. Review 8 (4). P. 64–72.
12. Юлдыбаев Л., Гумеров Х., Алаторцев В., Ахмедзянов А. Оценка рассеивания коэффициентов потерь газовой воздушного тракта серийных ВРД. *Испытания авиационных двигателей*. 1976. № 4. С. 100–105.

Vladov S.I., Shmelov Yu.M., Pylypenko L.M., Podhornykh N.V., Nazarenko N.P., Tutova N.V., Dieriabina I.O. MONITORING AND DIAGNOSTICS OF TV3-117 AIRCRAFT ENGINE TECHNICAL CONDITION OF THE USING MODERNIZED LEAST-SQUARES AND EQUALIZATION METHODS

The subject matter of the article is TV3-117 aircraft engine and methods for monitoring and diagnosing its technical condition. The goal of the work is development of control and diagnostics method of TV3-117 aircraft engine technical condition in flight modes with the use of the modernized methods of the least squares and equalization. The following tasks were solved in the article: solution of control and diagnostics problems of TV3-117 aircraft engine technical condition in flight modes with the use of modernized methods of the least squares and equalization. The following methods used are – mathematical modeling methods, least squares method, equalization method, statistical methods of information processing. The following results were obtained – The developed control and diagnostics method of TV3-117 aircraft engine technical condition in flight modes with the use of modernized methods of the least squares and equalization allows to estimate the actual deviation of the engine parameters from the calculation caused by the manufacturing error and deformation of elements of the flowing part in the process of development and to increase the information and control time and speed. diagnostics 2...3 times due to the use of the individual model of the aircraft engine TV3-117 and the expanded expert knowledge base to its characteristics. Conclusions: The control and diagnostics method of TV3-117 aircraft engine technical condition in flight modes with the use of modernized methods of the least squares and equalization is developed, which allows to carry out the control and diagnostics of the technical state of the TV3-117 aircraft engine with a limited amount of initial information, as well as to identify and localize defects of the flowing part of the engine with precision to the node. Practical use of the results obtained. The developed method of control and diagnostics of the flowing part of the TV3-117 aircraft engine is an addition to the fuzzy expert system, which can serve to specify, confirm or refute the initial information regarding the current state of the TV3-117 aircraft engine obtained with the fuzzy expert system.

Key words: aircraft engine, control, diagnostics, parameters, method.

УДК 629.7

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.1-1/04>**Колесниченко С.Ф.**

Летная академия Национального авиационного университета

Рагулин С.В.

Летная академия Национального авиационного университета

ВЛИЯНИЕ ЦЕНТРОВКИ НА СТАТИЧЕСКУЮ И ДИНАМИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ ЛЕГКИХ САМОЛЕТОВ

Розглянуто задачу впливу центрування легких літальних апаратів на статичну і динамічну стійкість. Безпека польотів вимагає доказових досліджень із метою визначення критичних параметрів льотних характеристик літального апарату. Для легких і надлегких ЛА центрування значно змінюється навіть в експлуатаційних межах (різна вага пілотів при тандемному розташуванні, наявність підвісних баків і коливання рідини і т.п.). Методика моделювання щодо забезпечення параметрів стійкості та керованості надлегких і легких літальних апаратів у даний час практично відсутня. У зв'язку із цим виникає необхідність аналізу та моделювання динамічних параметрів під час зміни зовнішніх і внутрішніх факторів, що впливають на безпеку льотної експлуатації. У даній статті вирішується завдання з визначення параметрів стійкості та керованості за умов зміни центрування.

Основне і вирішальне значення для стійкості і керованості літака, його сприйнятливості до зовнішніх впливів мають характеристики короткоперіодичних коливань, тому в статті розглядається вплив основних конструктивних і аеродинамічних параметрів літака саме на ці характеристики.

Рішення завдання виконано на основі математичного моделювання короткоперіодичного руху літального апарату.

На чисельному прикладі показано вплив зміни центрування $\Delta \bar{X}_m = 0.1$ на перехідні процеси, статичну і динамічну стійкість. Обидва варіанти мають статичну стійкість, але перехідні процеси відрізняються: варіант із більш передньою центровкой значно швидше відновлює вихідний кут атаки.

Слід зазначити, що зміна центрування на легких літальних апаратах значною мірою впливає на динамічну стійкість і меншою мірою – на статичну стійкість.

Ключові слова: центрування літального апарату, статична і динамічна стійкість, демпфіруючі моменти, кут атаки, радіус інерції, відносна щільність літака, управління рухом літального апарату.

Постановка проблеми. Проектирование, производство и эксплуатация легких летательных аппаратов получила в наше время широкое распространение. Однако безопасность полетов требует широких и доказательных исследований с целью определения критических параметров летных характеристик каждого летательного аппарата. В настоящее время для проектирования и аэродинамических расчетов сверхлегких и очень легких летательных аппаратов (СЛА и ОЛА) [1; 2] предлагаются общие рекомендации и общепринятые методы расчетов. Точные методы расчетов в аналитической форме предлагаются для скоростных маневренных самолетов [3; 4]. Динамика продольного движения и методы математического моделирования управления предлагаются в [5; 6].

Методика моделирования по обеспечению параметров устойчивости и управляемости сверхлегких и лёгких летательных аппаратов в данное

время практически отсутствует. Для легких и сверхлегких ЛА центровка значительно изменяется даже в эксплуатационных пределах (различный вес пилотов при тандемном расположении, наличие подвесных баков и колебания жидкости и т. п.). В связи с этим возникает необходимость анализа и моделирования динамических параметров при изменении внешних и внутренних факторов, влияющих на безопасность лётной эксплуатации. В данной статье решается задача определения параметров устойчивости и управляемости при изменении центровки СЛА и ОЛА.

Изложение основного материала. Основное и решающее значение для управляемости самолета и его восприимчивости к внешним воздействиям имеют характеристики короткопериодических колебаний, поэтому в дальнейшем будем рассматривать влияние основных конструктивных и аэродинамических параметров самолёта именно на эти характеристики.

Основными параметрами короткопериодического продольного движения является изменение угла атаки $\Delta\alpha$ и угловая скорость ω_z .

В уравнении (1) представлена динамическая модель свободных колебаний по углу атаки летательного аппарата, так как выход угла атаки на критические значения угрожает срывом потока на крыле. Основными параметрами, определяющими колебания, является коэффициент a_1 , который демпфирует колебания, и коэффициент a_2 , определяющий восстанавливающие моменты углового движения. Коэффициенты определялись по известным формулам [4].

$$\frac{d^2\Delta\alpha}{dt^2} + a_1 \frac{d\Delta\alpha}{dt} + a_2\Delta\alpha = 0 \quad (1)$$

где

$$a_1 = C_y^\alpha - \frac{m_z^{\omega} + m_z^{\dot{\alpha}}}{r_z}; \quad a_2 = -\frac{\mu m_z^{\alpha} + C_y^\alpha m_z^{\omega}}{r_z}$$

m_z^{α} – коэффициент продольной статической устойчивости;

m_z^{ω} – коэффициент демпфирующего момента;

$m_z^{\dot{\alpha}}$ – коэффициент момента, вызванного запаздыванием скоса потока у оперения;

r_z – относительный радиус инерции;

μ – коэффициент относительной плотности самолета;

$\bar{t} = \frac{t}{\tau}$ – безразмерное время; $\tau = \frac{2m}{\rho S V}$

Решение данного уравнения определяется двумя вещественными, или комплексными корнями, которые определяют характер устойчивости углового движения. Демпфирование определя-

ется коэффициентом a_1 , который определяет степень затухания колебаний. Характер колебаний определяется коэффициентами a_1 и a_2 , которые определяют частоту и период колебаний. В нашем случае изменение центровки влияет в основном на коэффициент a_2 .

Определим параметры переходного процесса для сверхлегкого самолета $m_{\text{взл}} = 450$ кг и $S_{\text{кр}} = 10$ м² нормальной схемы с разницей в центровке $\Delta\bar{X}_m = 0.1$.

Решение уравнения (1) определяется парой комплексных корней

$$\lambda_1 = -\frac{a_1}{2} + i\sqrt{a_2 - \frac{a_1^2}{4}} = -3.0000 + 4.1231i;$$

$$\lambda_2 = -\frac{a_1}{2} - i\sqrt{a_2 - \frac{a_1^2}{4}} = -3.0000 - 4.1231i;$$

$$\lambda'_1 = -\frac{a_1}{2} + i\sqrt{a_2 - \frac{a_1^2}{4}} = -3.0000 + 1.0000i;$$

$$\lambda'_2 = -\frac{a_1}{2} - i\sqrt{a_2 - \frac{a_1^2}{4}} = -3.0000 - 1.0000i;$$

и представлено на рис. 1. Оба варианта обладают статической устойчивостью, но переходные процессы отличаются: вариант с более передней центровкой значительно быстрее восстанавливает исходный угол атаки.

Более наглядно динамическую устойчивость определяют переходные функции угла атаки на вертикальной порыв со $\varnothing V_y = 1$ м/сек.

Вариант с передней центровкой более устойчив по перегрузке и реагирует уменьшением угла атаки. Вариант с задней центровкой практически переходит на полет под новым углом атаки и значительно изменяет траекторию продольного движения.

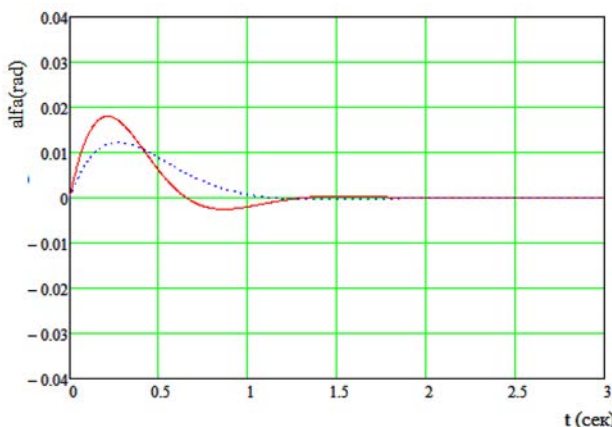


Рис. 1. Изменение угла атаки $\Delta\alpha(t)$ продольного движения

----- - передняя центровка; - - - - задняя центровка

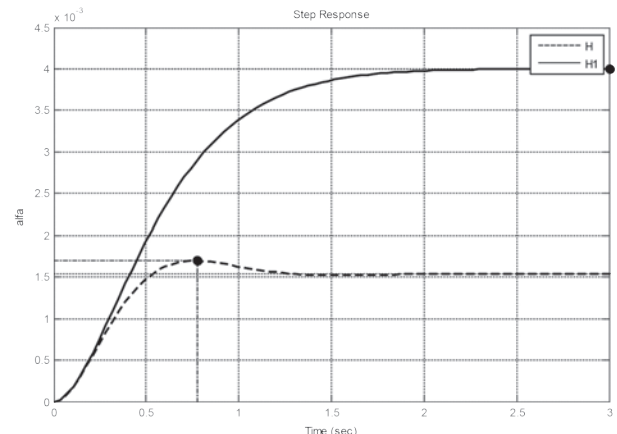


Рис. 2. Переходные функции $\Delta\alpha(t)$ при вертикальном порыве $\varnothing V_y = 1$ м/сек

----- - передняя центровка; - - - - задняя центровка

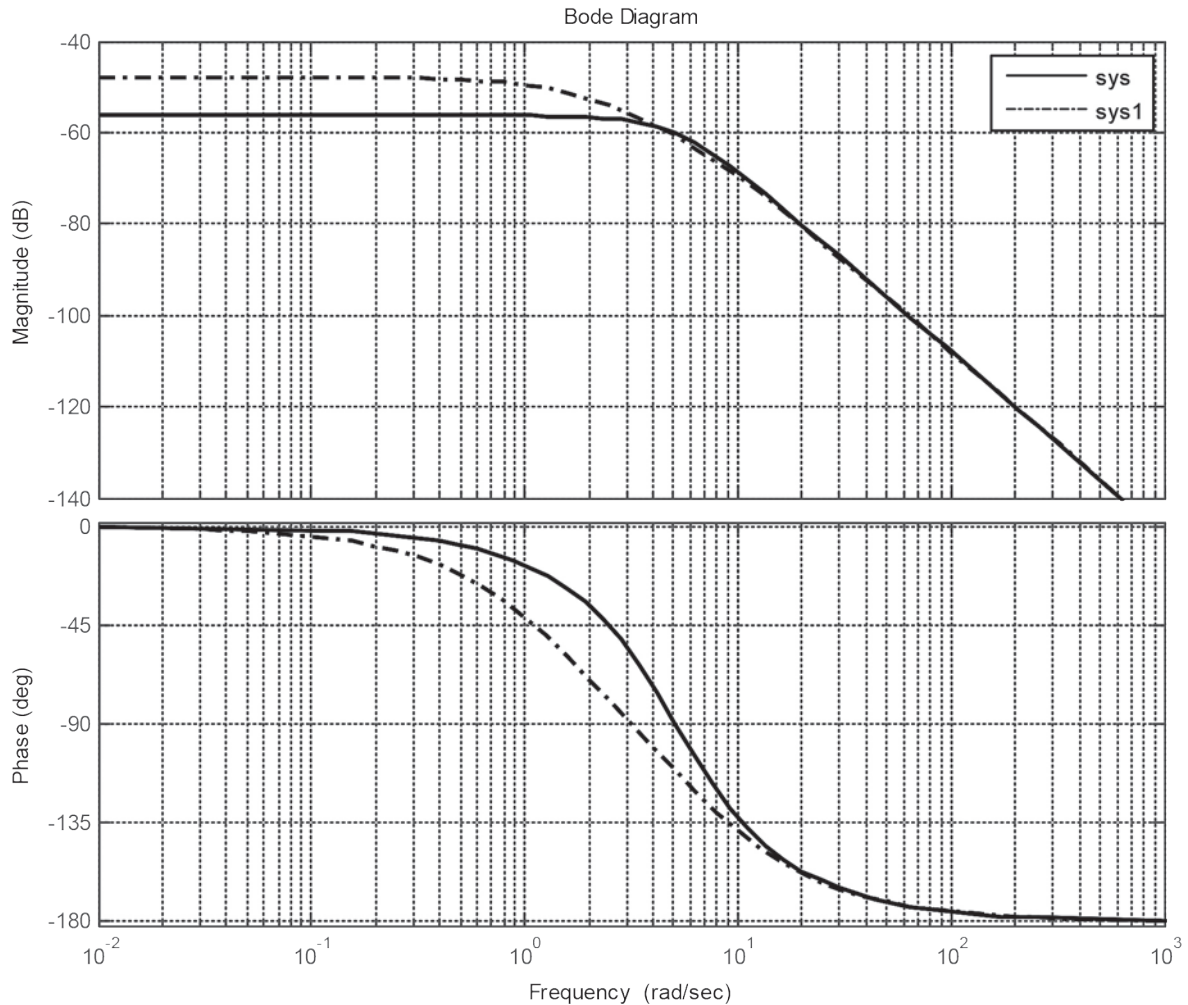


Рис. 3. Амплитудно-фазовая характеристика $\Delta\alpha$
 ----- передняя центровка; - - - - - задняя центровка

Дополнительную информацию о характере динамической устойчивости можно получить из диаграммы Бode (рис. 3), которая определяет управляемость при различных частотах входного сигнала. Задняя центровка снижает устойчивость на частоте $\omega_z = 1$ рад/сек и приводит к запаздыванию по фазе при частотах $\omega_z = 0.1$ рад/сек.

Выводы. В статье рассмотрена задача влияния центровки легких самолетов на статическую и динамическую устойчивость продольного движения; определены факторы, влияющие на характер

переходных процессов; на численном примере показано влияние центровки на параметры свободного движения летательного аппарата по углу атаки, с использованием методов математического моделирования и переходных функций показана реакция самолета на внешнее возмущение в виде вертикального порыва. В качестве вывода следует отметить, что изменение центровки на легких летательных аппаратах в значительной степени влияет на динамическую устойчивость и в меньшей степени – на статическую устойчивость.

Список литературы:

1. European Aviation Safety Agency . Certification Specifications for Very Light Aeroplanes CS-VLA. 2009. 121 с.
2. Бадягин А.А., Мухамедов Ф.М. Проектирование легких самолетов. Москва : Машиностроение, 1978. 208 с.
3. Бюшгенс Г.С., Студнев Р.В. Динамика самолетов. Пространственное движение. Москва : Машиностроение, 1983. 320 с.
4. Пашковский И.М. Устойчивость и управляемость самолета. Москва : Машиностроение, 1975. 328 с.
5. Остославский И.В., Калачев Г.С. Продольная устойчивость и управляемость самолета. Москва : Машиностроение, 1969. 367 с.
6. Тунік А.А., Абрамович О.О. Основи сучасної теорії управління. Київ : Вид. НАУ, 2010. 260 с.

Kolesnychenko S.F., Rahulin S.V. THE INFLUENCE OF THE CENTER OF GRAVITY OF LIGHT AIRCRAFT ON STATIC AND DYNAMIC STABILITY

The problem of the influence of the center of gravity (CoG; C.G.) of light aircraft on static and dynamic stability is considered. Flight safety requires evidence-based research to determine the critical parameters of the aircraft flight characteristics. For light and ultralight aircraft, the C.G. position is varied significantly even within the operational limits (different weight of pilots in tandem arrangement, the presence of suspension tanks and fluid oscillations, etc.). The modeling technique for ensuring the stability and controllability parameters of ultralight and light aircraft is currently practically absent. In this regard, there is a need for analysis and modeling of dynamic parameters when changing external and internal factors affecting the safety of flight operation. This article solves the problem of determining the parameters of stability and controllability when the C.G. position changing.

The main and decisive importance for the stability and controllability of the aircraft, its susceptibility to external influences are the characteristics of short-period oscillations, therefore, the article considers the influence of the basic structural and aerodynamic parameters of the aircraft on these characteristics.

The solution to the problem is based on mathematical modeling of the short-period motion of the aircraft.

A numerical example shows the effect of the C.G. position changing on transients, static and dynamic stability. Both options are statically stable, but the transients are different: the option with a more forward alignment much faster restores the original angle of attack.

It should be noted that the C.G. position changing on light aircraft significantly affects dynamic stability and, to a lesser extent, static stability.

Key words: *aircraft centering, static and dynamic stability, damping moments, attack angle, radius of inertia, relative density of the aircraft, motion control of the aircraft.*

ПРИЛАДИ

УДК 615.849.19.03:616-002

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.1-1/05>

Цокота М.В.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ВИЗНАЧЕННЯ ФУНКЦІЙ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ПРИ ВПЛИВІ НА БІОЛОГІЧНІ ТКАНИНИ

Лазерна терапія низького реактивного рівня (НЛРТ) та фотобіомодуляція орієнтовані в основному на активацію внутрішньоклітинних або позаклітинних фотоабсорбуючих молекул. Ці ефекти потрібно контролювати технічними засобами для помірної дії лазерної терапії.

У статті описуються механізми дії НЛРТ на тканинному та клітинному рівнях. Приведено опис останніх досліджень, факторів і функцій впливу лазерного випромінювання на тканини при лікувальній терапії та розрахунку параметрів випромінювання. Приведено практичні результати стимуляції загальних механізмів адаптації та імунної реактивності, а також про відновлення функціонального стану організму тварин під дією низькоенергетичного електромагнітного випромінювання оптичного діапазону.

Суть проблеми полягає в складності in vivo вимірювання біофізичних ефектів у тканинах під час дії лазерного випромінювання та створення моделей біологічних систем. Для комплексного відображення методики контролю нагрівання тканин та їх реакції на дію лазерів підібрано функцію та механізми розрахунку вибору дози випромінювання для безпечного терапевтичного впливу. Наведено функції визначення дози випромінювання для моделювання біологічної системи. Використовуючи формули моделі міграції фотонів для шкіри тканини, моделювання температурного розподілу по тканині від нагрівання лазерним випромінюванням виокремлюється методика оцінки глибини проникнення як функція відповідних довжин хвиль.

Робота містить матеріали аналітичної моделі з охолодження біологічної тканини після опромінення короткими та надкороткими лазерними імпульсами. На основі цього використано обрахунок розподілу тепла методом Монте-Карло з визначенням коефіцієнту дифузного відбиття при розрахунку розподілу світла для визначення проникнення випромінювання та обчислення світлового потоку в оптично щільних середовищах із довільною кількістю шарів. За базові параметри для визначення дози терапії враховано поглинання випромінювання тканинами, обчислення коефіцієнту дифузного відбиття для широкого класу біологічних тканин у спектральній області сильного і слабого поглинання світла, розподілу світлового потоку по глибині тканини. Наведено етапи методики визначення персоналізованої дози лазерної терапії з використанням необхідних розрахунків.

Ключові слова: лазерна терапія, фотобіомодуляція, розсіювання випромінювання, нагрівання шкіри, відбиття, адаптивна терапія.

Постановка проблеми. Зі зростаючим інтересом до застосувань лазера в медицині виникає потреба в розрахунку моделей для мінімізації його ризиків. Різні ефекти взаємодії лазера з біологічними тканинами і теплові ефекти мають особливе значення. Вони є дуже складними і виникають внаслідок трьох різних явищ: перетворення світла в тепло, передачі тепла і тканинної реакції, які пов'язані з температурою та часом витримки. Ця взаємодія при хибних розрахунках призводить до денатурації або руйнування об'єму тканини.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Лазерне випромінювання низької інтенсивності клінічно є добре прийнятим інструментом у медицині та стоматології зі здатністю не пошкоджувати фотобіологічну дію. На відміну від «жорстких» лазерів високої потужності, НЛРТ забезпечує низьку енергію, достатню лише для виникнення реакції на стимуляцію тканин тіла. Він залежить від довжини хвилі, здатен змінювати функцію клітин за відсутності значного нагрівання [1]. Можна припустити, що широкий спектр лазерної терапії включає молекулярний, клітинний і тканинний

рівні ефектів, а способи дії LLLT можуть змінюватися залежно від різних факторів і застосувань.

Проведені дослідження [2] при довжинах світлового випромінювання синього (420 нм) та зеленого (540 нм) кольорів у деяких випадках є ефективнішими для зміни біохімічної реакції та метаболізму клітин на випромінювання. Фотодинамічна терапія та оптогенетика використовуються для лікування зокрема поверхневим методом, коли інші засоби є недоцільними. Так відбувається при лікуванні відкритих ран, виразках, травмах нервової системи, стимуляції клітин чи лікуванні болю. Однак фотобіомодуляція не розглядається як частина основної медицини і досі залишається нестандартним рішенням при лікуванні [3].

Метою лазерної терапії можна виокремити три пункти: а) мінімізувати запалення, набряки та хронічні порушення суглобів шляхом націлювання на мозок, шкіру, суглоби; б) сприяти загоєнню ран поверхневих і глибших тканин, неврологічному ураженню; в) для лікування неврологічних розладів і болю [4];

При практичних дослідженнях дії лазерного випромінювання на параметри крові наводяться дані про стимуляцію загальних механізмів адаптації та імунної реактивності, а також про відновлення функціонального стану організму тварин під дією низькоенергетичного електромагнітного випромінювання оптичного діапазону [5]. Також розроблено алгоритм проведення процедури з математичною моделлю дослідження [6], що дозволяє адекватно аналізувати фотоплетизмографічні показники будь-якого характеру. Такі результати мають лише теоретичне підґрунтя, а для застосування на практиці необхідно їх коригувати відносно кожного окремого об'єкта дослідження.

У статті [7] описується метод оцінки глибини проникнення як функцію відповідних довжин хвиль із використанням формули моделі міграції фотонів для шкіри тканини. Автор оцінює їх об'ємну частку і концентрацію хромофору в клітинах шкіри. Ці емпіричні оцінки – середні коефіцієнти поглинання, залежать від довжини хвилі й описуються теоретичними виразами, описують підбір довжини хвилі для найбільш оптимальної глибини проникнення лазера для лікування ран. Проте цей метод необхідно використовувати разом з оцінкою нагрівання тканини.

У дослідженні [8] приводиться модель температурного розподілу по шкірній тканині при потрапленні лазерного випромінювання з урахуванням 3-х складників: потужності лазера, часу дії та розміру плями. Серед досліджень із розміром плями 2,

3, 4 та 5 мм найкращих результатів було досягнуто для розміру плями 5 мм, потужності 0,5 Вт та часу 0,5 сек. При терапії не було помічено перегрівання шкіри. Ці дані взято по показнику для загальних випадків, тому для цільового використання потрібні точніші модулювання.

На відміну до пошуку найліпших параметрів лазера авторами [9] представлено аналітичну модель, яка якісно описує охолодження біологічної тканини після опромінення короткими та надкороткими лазерними імпульсами. Припущення про розподіл температури в початковий момент поверхневого охолодження повторює розподіл поглиненої енергії лазера. Воно дозволило використовувати наближення теплопровідності в обох випадках. Показано необхідність урахування зміни оптичних параметрів твердих тканин у галузі лазерного опромінення під час дії випромінювання.

Застосування моделі до певної біологічної тканини може значно спростити пошук оптимальних параметрів лазерів для безпечних та ефективних терапевтичних і хірургічних процедур, та автори й далі закликають до досліджень впливу лазера в біологічних тканинах. Можна зробити висновок, що опубліковані суперечливі результати, до яких можна віднести розбіжність у дизайні дослідження, включаючи використання різної довжини хвилі лазера та численних параметрів освітлення, на додаток до різних заплутаних факторів, які впливають на визначення різних біологічних параметрів.

Огляд наявної літератури свідчить про те, що різноманітність досліджень здебільшого проводилася *in vitro*, використовуючи діапазон клітинних ліній для різних типів LLLT та змінюючи деякі їх параметри. Тому для повноцінного комплексного розуміння лазерного впливу необхідні дослідження адитивної реакції пристроїв на дії випромінювання.

Формулювання цілей статті. Метою статті є відображення методики контролю нагрівання тканин та їх реакції на дію лазерів, функцій і механізмів розрахунку вибору дози випромінювання для безпечного терапевтичного впливу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Лазерна терапія низького реактивного рівня є формою медикаментозного лікування, при якій тканини людини опромінюються малопотужним лазером (біля декількох 100 мВт), щоб спонукати до терапевтичних змін. Основою дії є біостимулюючий (біомодулюючий) ефект випромінювання. Накопичений обсяг клінічних досліджень свідчить про те, що LLLT має можливість отримати широке визнання в клінічній практиці як модальність із невеликими побічними ефектами.

Перетворення енергії лазера в тепло викликає коагуляцію, ущільнення або каутеризацію з некрозом за температури вище 45°C. Температура безпосередньо пов'язана із середнім кінетичним збудженням молекули [10]. Лазери вуглекислого газу впливають на випаровування тканинної води, що є лазерним хромофором. Інша лазерна мішень – шкірний пігмент: пігментовані клітини, судини та частинки татуювання. Пошкодження тканин залежить переважно від швидкості осадження енергії в тканинах.

Фотобіологічні процеси схематично можна зобразити в такій послідовності: акцептори, спектр поглинання яких збігається з падаючою світловою довжиною хвилі, поглинені фотони, які активують і запускають біохімічні або фізіологічні реакції, характерні (специфічні) для цих поглинаючих елементів. Якщо розглянути біо-ефекти, спричинені лазером, здається, що немає специфічних акцепторів і реакцій біологічної системи (клітина, орган, організм), а взаємодія цілком неспецифічна.

Динамічне вимірювання теплових матеріалів засновано на вимірюванні стану зразків при дії випромінювання за заданими параметрами [11]. Ці динамічні методи зазвичай класифікують за типом теплових збуджень, більш відомих як ступінчаста функція, синусоїдальна модуляція тощо.

Метод рішення транспорту випромінювання вирішується також шляхом обчислення коефіцієнту дифузного відбиття для широкого класу біологічних тканин у спектральній області сильного і слабого поглинання світла, розподілу світлового потоку по глибині тканини [12].

Попри високоенергетичне опромінення зростає геометричний діапазон ураження опіками ділянок шкіри. Для контролю стану нагрівання необхідно мати значення транспорту тепла в тканинах. Визначення значень *in vivo* важко досягти, тому пропонуються математичні розрахунки передачі тепла по шарами тканин [13]. Результати обчислень відповідають аналогічним результатам методу Монте-Карло.

Випадкові вибірки для обчислення результатів із моделюванням фізичної чи математичної систем також вдало розраховувалися методом Монте-Карло. Також доцільний метод для імітації транспортування світла у багатошарових тканинах. Зокрема розподіл тепла на тканини запропоновано розраховувати за допомогою рівняння біоптату Пеннеса (1):

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial t} - \nabla(k \cdot \nabla T) = \rho_b \cdot C_b \cdot \omega_b \cdot (T_b - T) + Q_{met} + Q_{ext}, \quad (1)$$

де ρ (кг/см³) – щільність, C (Дж/(кг·К)) – питома теплопровідність, k – теплопровідність тканини, T (К) – температура, ω_b (1/сек) – перфузія, ρ_b (кг/см³) – щільність, C_b (Дж/(кг·К)) – питома теплота, T_b (К) – температура крові, Q_{met} (Вт/м³) – швидкість метаболічного вироблення тепла на одиницю об'єму тканини, Q_{ext} (Вт/м³) – розподілене об'ємне джерело тепла за рахунок лазерного нагріву. Дані Q_{ext} отримуються з моделювання Монте-Карло при розрахунку енергії розподілу світла в тканинах. Модель розподілу світла є основою для термодинамічного моделювання.

Цей метод підходить для обрахунку багатьох видів розсіювальних середовищ в оптичній діагностиці біологічних тканин, а також середовищ небіологічного походження, для кількісних оцінок параметрів тканини з визначенням спектру дифузного коефіцієнта випромінювання, а також для вибору дози опромінення, оптимальної для конкретного пацієнта при лазерній терапії. Модель визначення індивідуальної дози опромінення для персоналізованої лазерної терапії з використанням цих розрахунків передбачає такі етапи:

1) вимірювання спектра дифузного відбиття (коефіцієнт коефіцієнта дифузного відбиття та довжини хвилі) для тканин пацієнта;

2) отримання кількісних оцінок параметрів тканини шляхом порівняння транспорту випромінювання в тканинах, обчислених у межах моделі, і вимірювання спектру дифузного коефіцієнта відбиття;

3) розрахунок загальної освітленості тканинного шару в різних місцях на певній довжині хвилі або в спектральному інтервалі з використанням методу вирішення випромінювання рівняння транспорту та значення параметрів тканини, знайдених на попередньому етапі;

4) вибір дози опромінення, яка є оптимальним для конкретного пацієнта відповідно до розподілу освітленості по отриманій глибині тканини та бажаний терапевтичний ефект.

Теоретичні засади є основою для математичної моделі чутливості зразків, підтвердження цього стану краще визначати з моделлю біомедицинської системи.

Висновки. Біологічна тканина має складну будову для точного обрахунку дії від проникнення випромінювання. Наведено опис температурного розподілу лазерного випромінювання за критеріями потужності лазера, часу експозиції та розміру плями. Також приведено методики обчислення світлового потоку в оптично щільних середовищах із довільною кількістю шарів, розподіл тепла

методом Монте-Карло з визначенням коефіцієнту дифузного відбиття, що є одним із основних показників при розрахунку розподілу світла. Ці методи успішно можуть застосовуватися при розробці медичної апаратури, проте питання індивідуальної терапії лазером потребують глибшого вивчення.

Список літератури:

1. Surendranath P, Arjun K. Low level laser therapy—a review. 2013 IOSRJDMS. 12:56–59.
2. Amid R, Kadkhodazadeh M, Ahsaie MG, Hakakzadeh A. Effect of low level laser therapy on proliferation and differentiation of the cells contributing in bone regeneration. J. Lasers Med Sci. 2013. 163–170 p.
3. Karu T.I, Pyatibrat L.V, Afanasyeva N.I. A novel mitochondrial signaling pathway activated by visible-to-near infrared radiation. Photochem Photobiol. 2014. 366–372 p.
4. Bjordal J.M, Coupp C., Chow R.T, Tuner J., Ljunggren E.A. A systematic review of low level laser therapy with location-specific doses for pain from chronic joint disorders. J. Physiother. 2003. 107–116 p.
5. Голопура С.І., Скиба О.С., Якимчук О.М., Дастжерді А.Х.М., Клочко Т.Р. Вплив лазерного опромінення на показники крові хворих на диспепсію і бронхопневмонію телят [Текст] // Біологія тварин, 2010, т. 12, № 2. С. 276–279.
6. Тимчик Г.С., Осадчий О.В., Чупіка Б.С. Визначення інформативних показників функціонального стану людини при лазеротерапії [Текст] // Вісник НТУУ «КПІ». Серія ПРИЛАДОБУДУВАННЯ. 2014. Вип. 48(2). с. 175–182.
7. Ankri R., Lubart R., Taitelbaum H. Estimation of the Optimal Wavelength for Laser-Induced Wound Healing // Lasers in Surgery and Medicine. 2010. Vol. 42. p. 760–764.
8. Shurrab K.M, Sayem El-Daher M. Simulation and Study of Temperature Distribution in Living Biological Tissues under Laser Irradiation. J Lasers Med Sci 2014, 5(3). p. 135.
9. Yakovlev E., Shandybina G., Shamova A. Modelling of the heat accumulation process during short and ultrashort pulsed laser irradiation of bone tissue // Biomed Opt Express. 2019 Jun 1, 10(6). p. 3030–3040.
10. Gosh Shaunak, Gosh Shila Effect of Laser on Skin-A Review // International Journal of Biotechnology and Biochemistry. ISSN 0973-2691 Volume 11, Number 2. 2015. p. 161–166.
11. Lormel C., Autrique L., Serra J.J., Claudet D. Thermal effect of laser radiation on human skin: mathematical model and numerical simulation // MACS 2005 17ème congrès mondial, At Paris, France. 2005.
12. Lisenko S.A., Kugeiko M.M. Method for calculation of light field characteristics in optical diagnosis problems and personalized laser // Journal of Applied Spectroscopy. 2013. Vol. 80, № 2, May 2013 (Russian Original Vol. 80, № 2, March – April, 2013).
13. Yuanyuan Xu, Shan Long, Yunning Yang, Feifan Zhou, Ning Dong, Kesong Yan, Bo Wang, Yachao Zeng, Nan Du, Xiaosong Li, Wei R. Chen Mathematical simulation of temperature distribution in tumor tissue and surrounding healthy tissue treated by laser combined with indocyanine green // Xu et al. Theoretical Biology and Medical Modelling. 2019. Vol.16:12.

Tsokota M.V. DETERMINATION OF LASER RADIATION FUNCTIONS IN IMPACT ON BIOLOGICAL FABRICS

Low reactive laser (LLLT) laser therapy and photobiomodulation are focused mainly on the activation of intracellular or extracellular photoabsorptive molecules. These effects should be controlled by technical means for moderate laser therapy. The mechanisms of action of LLLT at the tissue and cellular levels are described in the article. The description of recent studies, factors and functions of the influence of laser radiation on tissues in therapeutic therapy and the calculation of radiation parameters are given.

There are presented the practical results of stimulation of the general mechanisms of adaptation and immune reactivity, as well as the restoration of the functional state of the animal body under the action of low-energy electromagnetic radiation of the optical. The essence of the problem lies in the complexity of in vivo measurement of biophysical effects in tissues during laser radiation and the creation of models of biological systems.

To comprehensively reflect the method of controlling tissue heating and their response to the action of lasers, the function and mechanisms of calculating radiation dose selection for safe therapeutic effect were selected. The functions of determination of radiation dose for modeling of biological system are given. Using the formulas of the model of photon migration for the skin of tissue, the modeling of the temperature distribution on the fabric from heating by laser radiation distinguishes the method of estimating the penetration depth as a function of the corresponding wavelengths.

The work contains materials of analytical model for cooling of biological tissue after irradiation with short and short laser pulses. Based on it, a Monte Carlo heat distribution calculation was used to determine the diffuse reflection coefficient, to calculate the light distribution to determine the light penetration and to calculate light flux in optically dense media with an arbitrary number of layers.

The basic parameters for determining the dose of therapy include the absorption of radiation by tissues, the diffuse reflection coefficient calculation for a wide class of biological tissues in the spectral region of strong and weak light absorption, the distribution of light flux across the tissue depth. There are presented steps of the laser therapy personalized dose determining method using the necessary calculations.

Key words: laser therapy, photobiomodulation, radiation scattering, skin heating, reflection, adaptive therapy.

РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

УДК 004.62

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.1-1/06>**Борисов Г.О.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Гумен Т.Ф.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Трапезон К.О.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОГРАМНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ОБ'ЄДНАННЯ ANDROID THINGS НА ОСНОВІ КОНЦЕПЦІЇ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Розглянуто програмні особливості платформи зі створення додатків Android Things. Визначено особливості підключення до платформи та проаналізовано режим передавання даних між платформою на основі «хмарних» сервісів і апаратною платою Arduino, яка забезпечує підключення та взаємодію датчиків у межах концепції Інтернету речей. Наведено основні особливості з налаштування однієї з обраних «хмарних» платформ Інтернету речей – Samsung Artik Cloud. Зазначено, що платформа на апаратному (модуль захисту даних) і програмному рівнях дає змогу з боку користувача створити профіль для моніторингу даних, які знімаються з датчиків системи Інтернету речей. Отримано, що для використання «хмарної» платформи в Інтернеті речей достатньо виконати лише два програмних кроки – конфігурація Іо-проєкту в платформі і додавання пристрою (датчика) в межах підключення до цієї платформи.

Проведено детальний опис із налаштування «хмарної» платформи для окремого датчика, який у приміщенні вимірює температуру повітря. За цим описом створено алгоритм забезпечення зв'язку масиву даних із датчика до «хмарного» середовища платформи. Наприклад, для пересилання даних з Android-додатка необхідно сформулювати запит за кодом. Додатково зазначено, що для реалізації сервісів інтеграції з ІоТ, наприклад для створення голосових повідомлень із набраного тексту, необхідно підключити до ІоТ додаткову платформу Тембоо. Ця платформа через відповідне програмне забезпечення дає змогу додатково підключатись до операторів мобільного зв'язку з паралельним конвертуванням текстових повідомлень у голосові. Особливістю цього додатка слід назвати обмеження, яке полягає в тому, що довжина слів у повідомленні не повинна перевищувати межу у 12 текстових знаків. Це пояснюється тим, що у разі перевищення цієї межі речове повідомлення буде зі зникаючими голосовими звуками, що безпосередньо впливає на розбірливість мови.

Ключові слова: платформа, сервіс, датчик, профіль, шлюз, архітектура.

Постановка проблеми. Стрімкий розвиток телекомунікаційних технологій призвів за останні роки до ситуації, коли вже будь-які побутові пристрої в помешканні людей володіють ознакою так званої «розумності», тобто характеризуються можливістю контролю через різні мобільні гаджети, які підключено до мережі Інтернет. Вже не є новиною контроль і поливання рослин у кімнаті дистанційно через смартфон, контроль за віддаленою квартирою з підтримкою інфрачервоних

датчиків і камер відеонагляду тоді, коли господар цієї квартири перебуває у відпустці. І навіть отримання інформації про погоду за вікном на моніторі комп'ютера через відповідний додаток програми Android Things стає дуже простою буденною справою. З іншого боку, збільшення кількості параметрів пристроїв для контролю повинно за теорією впливати на складність системи, до якої підключені ці пристрої. І основне завдання при цьому полягає у розробленні алгоритму, який зміг

би впорядкувати певні параметри пристроїв, і це впорядкування повинно бути прозорим і простим. Це завдання стає основним, особливо, коли необхідно спроектувати «розумний» будинок. Зрозуміло, що різні параметри будинку – показники лічильника електроенергії, витрати води, температура приміщення – повинні бути під рукою в господаря в режимі моніторингу в будь-який час. І цей моніторинг не повинен бути прив'язаний до відповідних лічильників чи датчиків у певному місці будинку.

Для зберігання даних моніторингу їхньої обробки та візуалізації, а також для надання різних сервісів для управління пристроями, які підключені до Інтернету є різні «хмарні» платформи. Вибір цієї платформи, її налаштування, зміна параметрів і є одним з основних завдань у концепції Інтернету речей. Сама ж проблема полягає в тому, що обрана платформа повинна бути гнучкою як в управлінні, так і до змін під час додавання нових параметрів пристроїв. Крім того, всі дані, які передаються до платформи, повинні бути доступними і зручними для аналізу з боку користувача системи чи контролюючих органів, що надають житлово-комунальні послуги.

Постановка завдання. Android Things [1] – це платформа для створення додатків на основі концепції Інтернету речей і популярних апаратних платформ, таких як Arduino Raspberry Pi 3. Образи програмного забезпечення створюються і доставляються на пристрої через програмне налаштування Android Things Console [2]. Android Things надає безліч інструментів для створення IoT-додатків і управління даними. Натомість правильне налаштування «хмарного» середовища як ємності для зберігання даних від кінцевих пристроїв системи є основним завданням, особливо, коли ця платформа використовується для збирання, аналізу та візуалізації різнорідних фізичних параметрів, аудіовізуальної інформації від датчиків, камер, сенсорів у режимі реального часу.

Метою статті є визначення програмних особливостей із налаштування платформи Samsung Artik Cloud, що є ключовою ланкою під час створення інформаційної системи на основі концепції Інтернету речей. Додатково необхідно знайти алгоритм або послідовність керівних команд, який визначає процедуру формування та отримання запиту про миттєве значення фізичного параметру, що є об'єктом вимірювання датчика, який входить до складу системи на основі IoT.

Виклад основного матеріалу дослідження. Як правило, всі параметри з приладів, які підключені до системи на основі концепції Інтернету

речей, отримуються через показники різних сенсорів системи та обробляються локально. Але зазвичай додатки для Інтернету речей посилають ці дані в так звану інформаційну «хмару». Через це «хмарні» платформи Інтернету речей сьогодні відіграють дуже важливу роль.

Як тільки інформаційні дані стають доступними на рівні «хмари» Інтернету речей [3], з'являється можливість на рівні підключення до цієї платформи проведення комплексного аналізу, де потрібна велика обчислювальна потужність. Тут використовують зазвичай такі технології, як машинне навчання, штучний інтелект і аналіз великих даних.

Сервіси хмарної платформи.

Звичайна платформа Інтернету речей надає такий набір сервісів: сервіс з'єднання / підключення, сервіс зберігання даних, сервіс обробки подій, управління пристроями, візуалізація даних, інтеграція сервісів.

Ядром сервісу підключення є з'єднання і передавання даних між платформою IoT і віддаленої платою [4]. Платформи підтримують різні протоколи для спрощення процесу підключення: Rest API і HTTP, MQTT, CoAP, тощо. Інакше кажучи, платформи надають набір програмних інтерфейсів, які можуть бути використані віддаленими платами і IoT для підключення та обміну даними. Крім того, вони надають набір SDK для різних плат, щоб зробити процес підключення швидким і простішим.

Сервіс зберігання даних служить для зберігання даних у «хмарі». Ці дані є основою для інших сервісів.

Ці перші два види сервісу надаються майже всіма наявними «хмарними» платформами IoT, тоді як сервіс обробки подій є більш складним. Такий сервіс заснований на правилах і використовує збережені дані та події для запуску дій, які могли б мати вплив на плати IoT. Зазвичай всі події та дії конфігуруються через вебінтерфейс.

Сервіс управління пристроями бере на себе управління всіма пристроями системи IoT, підключеними до платформи. Іншими словами, це централізована адміністративна консоль для віддалених пристроїв. Візуалізація даних – це сервіс, що надається деякими «хмарними» платформами IoT для створення так званих інструментальних панелей (dashboards) із метою графічної візуалізації отриманих даних за допомогою гістограм / графіків.

Сервіс інтеграції корисний, коли ми хочемо інтегрувати якісь зовнішні сервіси типу повідомлень по електронній пошті, повідомлень у «Твіттері», тощо, і запускати ці сервіси відповідно до

заздалегідь сконфігурованої події. На ринку є кілька хмарних платформ IoT, наприклад: Google IoT cloud, Microsoft Azure IoT, Amazon AWS IoT, Samsung Artik Cloud, Temboo, Ubidots.

Архітектура IoT речей зазвичай така:

- 1) рівень сенсорів;
- 2) плати Інтернету речей, шлюзи або комутатори;
- 3) «хмарні» платформи Інтернету речей;
- 4) високорівневі сервіси з призначенням для користувача інтерфейсом для кінцевого користувача.

Іноді 3-й і 4-й пункти архітектури IoT можуть бути змінені місцями.

Особливості налаштування «хмарної» платформи.

Для того, щоб використати «хмарну платформу» IoT, потрібно виконати два кроки: конфігурація проєкту Інтернету речей у «хмарній» платформі з наданням усієї інформації, включно з типом даних, і створення клієнта «хмарної» платформи Інтернету речей (Android Things-додаток), який обробляє підключення і посилає дані.

Хмарні платформи налаштовуються приблизно однаково, і наведемо в статті приклад налаштування взаємодії «хмарної» платформи з IoT на прикладі Samsung Artik Cloud.

Це професійна платформа, яка надає майже всі згадані вище сервіси. Вона проста у використанні і надає кілька SDK, які спрощують процес обміну даними. В статті наведемо алгоритм налаштування обміну даними між Android Things-платою і «хмарною» Samsung Artik, використовуючи його Rest API-механізм (рис. 1).



Рис. 1. Алгоритм частини архітектури IoT

Налаштування «хмарної» платформи можна провести за таким алгоритмом:

1. Створити профіль у додатку платформи Samsung Artik Cloud. Після реєстрації відбувається налаштування профілю. В Samsung Artik Cloud у вікні розробника необхідно натиснути на кнопку Create device type і заповнити необхідні поля (рис. 2). Далі слід натиснути на кнопку Set up now, щоб налаштувати профіль для розроблення. У наступному вікні обрати, який проєкт буде груповим (Team) або індивідуальним (Individual) project, а потім потрібно ввести необхідну інформацію. Після цього можна буде

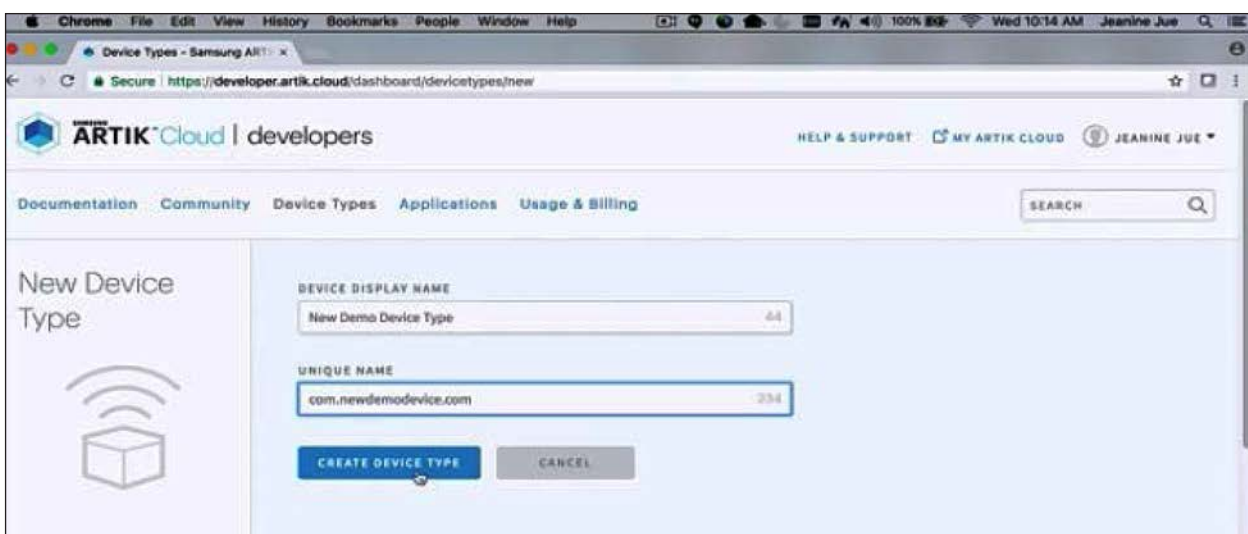


Рис. 2. Перший етап налаштування

натиснути на кнопку Create device type, адже вона стане активною.

2. Далі відбувається налаштування даних (створення маніфесту, “new manifest”) (рис. 3), тобто користувач повідомляє Artik Cloud про дані, які додаток буде посилати, щоб «хмарна» платформа могла витягти дані, що посилаються Android Things-додатком. Наприклад, необхідно вимірювати в приміщенні температуру, вологість та атмосферний тиск. Зазначимо, що вкладки, які відповідають цим параметрам у «хмарному сервісі», слід налаштувати окремо.

3. Створення віртуального пристрою (рис. 4) чи додавання підключеного пристрою, який надасть інформацію для взаємодії додатка з платформою. На цьому етапі завершується конфігурація проєкту Інтернету речей на стороні «хмарної» платформи.

Далі, в проєкті потрібно реалізувати зв'язок із «хмарою» та створеним або підключеним приладом. Зв'язок буде реалізований за допомогою http-з'єднань. Його можна реалізувати, як за допомогою бібліотеки Android HTTP, так і за допомогою призначених для користувача бібліотек, таких як, наприклад, Volley. Ця бібліотека широко використовується в додатках IoT. Також вона спрощує управління http-з'єднанням. Зазначимо, що зв'язок із «хмарою» тоді реалізується в такий спосіб:

1) Створення примірника StringRequest, який представляє http-запит.

2) Налаштування заголовка http-запиту, оскільки додаток повинен посилати параметр заголовка Authorization, як вказано у специфікаціях Artik, або налаштувати їх відповідно до специфікації інших хмарних платформ.

3) Налаштування «тіла» http-повідомлення, яке відправляється.

4) Додавання запиту в чергу, щоби бібліотека http-запитів змогла обробити його.

У кінці налаштування необхідно переслати дані з Android Things-дodatка. Щоб зробити це, слід викликати клієнта з класу MainActivity.java

(Додаток Android Things – Додаток Java – Назва пакета Package name). Найпростіший спосіб відправлення даних в Artik Cloud – це використувувати його програмний інтерфейс API щоразц, коли сенсор зчитує нове значення.

Особливості формування запиту до «хмарної» платформи.

Наведемо приклад коду на мові JavaScript (рис. 5), де за результатом його відпрацювання буде отримано повідомлення з «хмари» і в браузері буде виведено повідомлення з обраного датчика температури.

Рядок «varcall» відповідає за лінк, який формується як результат запиту GET (Get Last Normalized Messages) у профілі Artik Cloud. Параметр авторизації Bearer визначає набір Device Token, який є у вкладці Device info додатка Artik Cloud.

Також у користувача для створеного профілю в «хмарному» середовищі є можливість налаштувати

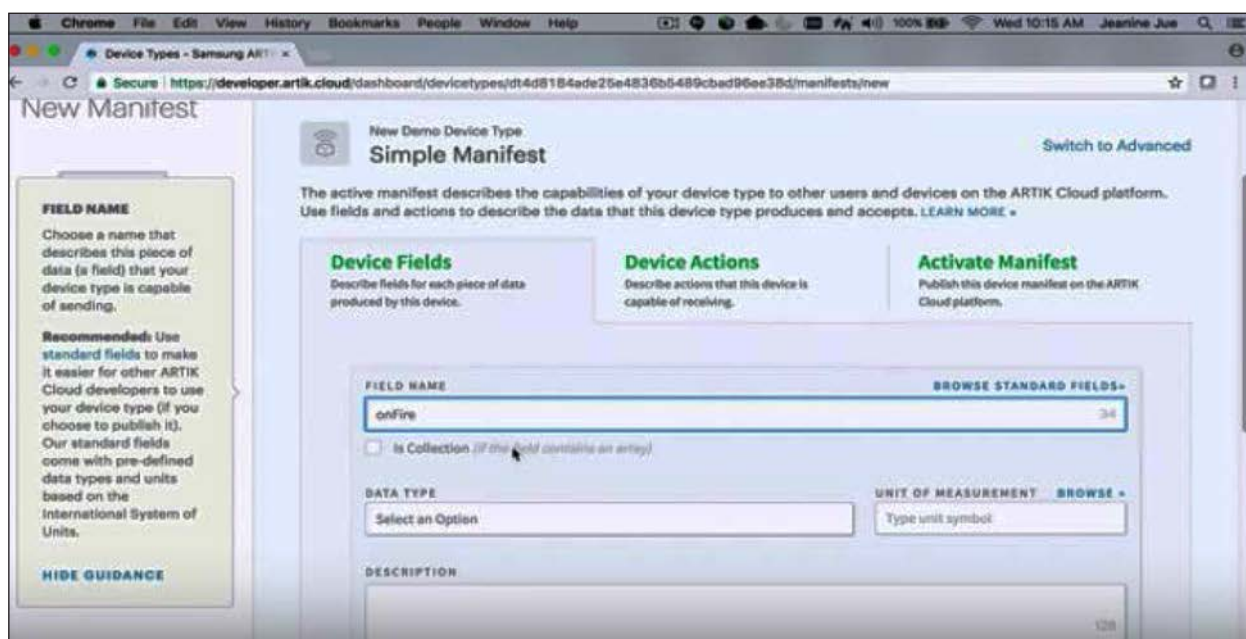


Рис. 3. Другий етап налаштування

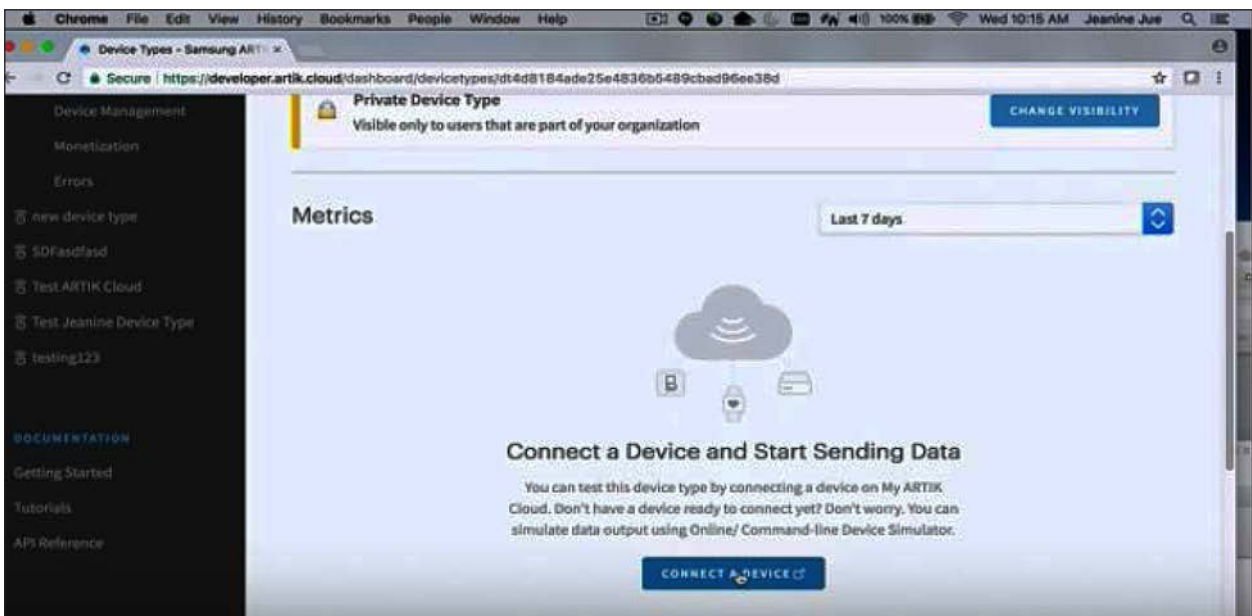
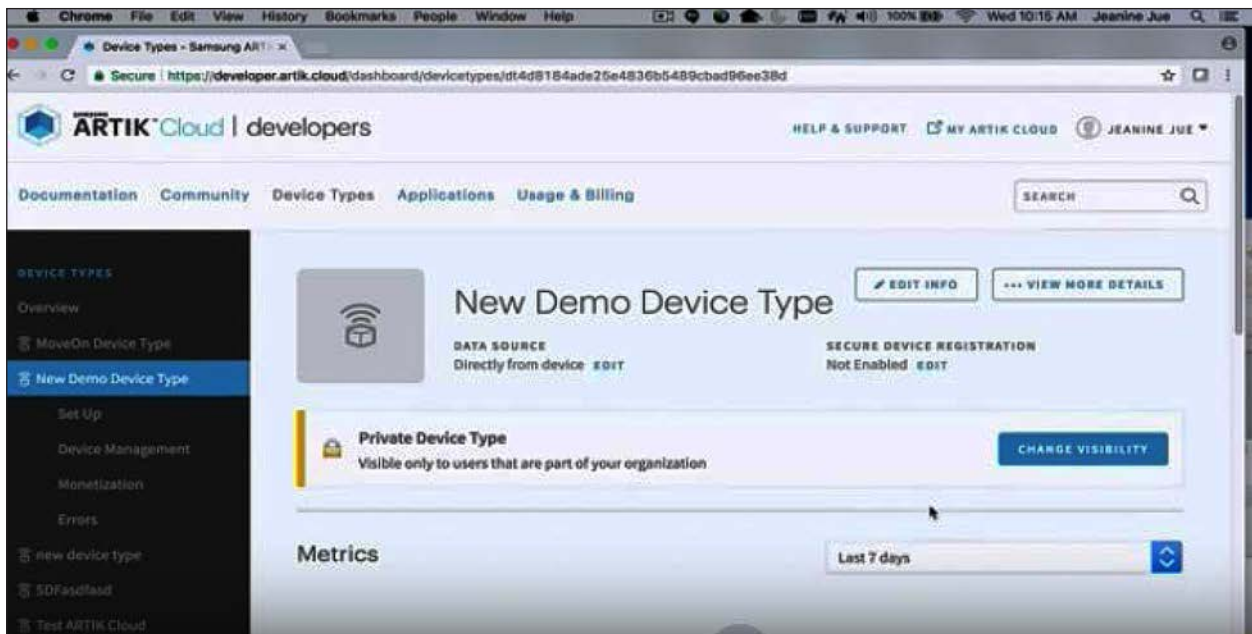


Рис. 4. Третій етап налаштування

```

var xmlhttp=newXMLHttpRequest();
varcall = "https://api.artik.cloud/v1.1/messages/last?count=1&fieldPresence=lat&sdids=084d34b198d84f1688b3b7b3fe420fcf";
xmlhttp.open('GET',call,true);
xmlhttp.setRequestHeader("Content-Type","application/json");
xmlhttp.setRequestHeader("Authorization","Bearer fc851ddb484842788daa19569b326951");
xmlhttp.onreadystatechange=function(){
    if(xmlhttp.status==200){
        alert(xmlhttp.responseText);
    }
};

```

Рис. 5. Код додатка для формування запиту

частоту відправлення даних, і, відповідно, фактично можна регулювати смугу пропускання даних, яку необхідно виділити для налаштованого додатка.

За результатом відпрацювання коду з рисунка 5, можна переконатись, що від платформи Artik Cloud приходить відповідь (response), яка повідомляє додаток, що відправлені дані прийнято «хмарною» Artik. Отже, можна переслати досить багато значень параметрів, які вимірюються системою і які потім можна аналізувати в платформі.

Слід зазначити, що є платформи IoT, які надають сервіси інтеграції. Інакше кажучи, вони не сфокусовані на отриманні даних від сенсорів і їхньому зберіганні, їхня мета надання власне сервісів інтеграції з іншими «хмарними» системами. Одна з таких платформ – Temboo [5]. Вона пропонує великий набір сервісів інтеграції, які можуть бути використані, щоб розширити можливості програми Інтернету речей. Temboo підтримує кілька мов програмування і платформ Інтернету речей, включно з ОС Android.

Для розширення можливостей Інтернету речей платформа Temboo надає можливість зв'язку з численною кількістю програмних додатків. Одним із таких додатків є Nexmo, на основі якого в користувача системи на основі IoT з'являється можливість безпосередньо підключатись до операторів мобільного зв'язку. Особливістю цього додатка слід назвати те, що в основі його є функція перетворення текстового повідомлення SMS в речовий сигнал. Однак тут слід виділити обмеження, яке полягає в тому, що довжина слів у повідомленні

не повинна перевищувати межу у 12 текстових знаків. Це пояснюється тим, що у разі перевищення цієї межі речове повідомлення буде зі зникаючими голосовими звуками, що безпосередньо впливає на розбірливість мови.

Висновки. Розглянуто програмні особливості платформи зі створення додатків Android Things і визначено програмні особливості з підключення і налаштування платформи, та проаналізовано режим передавання даних між платформою на основі «хмарних» сервісів і апаратною платою Arduino.

Наведено основні особливості з налаштування однієї з обраних «хмарних» платформ Інтернету речей – Samsung Artik Cloud, і зазначено, що платформа на програмному рівні дає змогу створити профіль для моніторингу даних, які знімаються з датчиків системи Інтернету речей.

Знайдено, що для використання «хмарної» платформи в Інтернеті речей досить виконати лише два програмних кроки – конфігурація IoT- проекту в платформі і додавання пристрою (датчика) в межах підключення до цієї платформи.

Додатково зазначено, що для реалізації сервісів інтеграції з IoT, наприклад для створення голосових повідомлень із набраного тексту, необхідно підключити до IoT додаткову спеціальну програмну платформу Temboo. Ця платформа через відповідне програмне забезпечення дає змогу забезпечити підключення до операторів мобільного зв'язку з паралельним конвертуванням текстових повідомлень у голосові.

Список літератури:

1. Azzola F. Android Things Projects, New York : Packt, 2017. 232 p.
2. Шварц М. Интернет вещей с ESP8266. Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2019. 224 с.
3. Ли П. Архитектура интернета вещей. Москва : ДМК Пресс, 2019. 454 с.
4. Муромцев Д. И., Шматков В. Н. Интернет вещей: введение в программирование на arduino. Санкт-Петербург : 'ИТМО, 2018. 36 с.
5. Бібліотека Temboo. *Ресурсу сайту serjmak.com*: 4 жовтня 2018. URL: <http://serjmak.com/2students/IoTE/temboo-android-sdk-core-2.19.0.jar> (дата звернення 15.01.2020).

Borysov H.O., Humen T.F., Trapezon K.O. RESEARCH OF SOFTWARE FEATURES OF ANDROID THINGS UNDER THE CONCEPT OF THE INTERNET OF THINGS

The software features of the platform for creating Android Things applications are considered. The features of the connection to the platform are identified and the mode of data transmission between the platform based on "cloud" services and the Arduino hardware providing the connection and interaction of sensors within the concept of the Internet of Things is analyzed. Here are some of the key features of setting up one of your favorite Samsung Artik Cloud Cloud Internet Platforms. It is noted that the platform on the hardware (data protection module) and software levels allows the user to create a profile for monitoring data that is taken from the sensors of the Internet of Things. It has been found that to use the cloud-based platform on the Internet of Things, it is sufficient to perform only two program steps – configuring an IoT project on the platform and adding a device (sensor) as part of the connection to that platform.

A detailed description of how to set up a “cloud” platform for an individual sensor, which measures the temperature of the room, is given. According to this description, an algorithm for providing communication of the array of data from the sensor to the “cloud” platform environment was created. For example, you need to request a code request to send data from an Android application. Additionally it is noted that to implement IoT integration services, for example, to create voice messages from typed text, an additional Temboo platform must be connected to IoT. This platform, through the appropriate software, allows you to additionally connect to mobile operators with the simultaneous conversion of text messages in voice. The peculiarity of this appendix should be noted the restriction, which is that the length of words in the message should not exceed the limit of 12 text characters. This is because when this limit is exceeded, the actual message will have disappearing voice sounds, which directly affect the intelligibility of the language.

Key words: platform, service, sensor, profile, gateway, architecture.

Переверзєв О.А.

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

Гумен Т.Ф.

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

Трапезон К.О.

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

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ БЕЗПЕКИ БУДИНКУ НА ОСНОВІ КОНЦЕПЦІЇ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Наведено опис архітектури системи Інтернету речей через розгляд основних налаштувань елементів, які є ключовими при проектуванні системи домашньої безпеки типового приміського житлового будинку. Запропоновано підхід, за яким існуючі рівні концепції Інтернету речей можна використати при створенні нової системи безпеки житлового будинку, яка буде вирізнятись надійністю, автономністю та широким спектром індивідуальних функцій охорони приміщення, починаючи від пасивних інфрачервоних датчиків на вікнах чи на дверях і закінчуючи віддаленим управлінням системою безпеки будинку, її окремими елементами через «хмарний сервіс» у будь-якій точці, де є підключення до мережі Інтернет.

Визначено склад системи безпеки, де основну роль присвячено пасивному інфрачервоному датчику як одному з ключових елементів в архітектурі системи безпеки об'єкту на основі концепції Інтернету речей. Зазначено, що через особливості роботи таких сенсорів у будинку можна забезпечити значну зону безпеки за периметром приміщення. Сформульовано основні переваги та недоліки інфрачервоних датчиків руху і зазначено, що одним із обмежень роботи останнього і спрацювання його на сигнал тривоги є ситуація, коли об'єкт вторгнення в будинок, який охороняється має одяг, покритий матеріалом, що не пропускає інфрачервоне випромінювання.

Окремо розглянуто технологію LoRaWAN як базову при підключенні пасивних інфрачервоних датчиків у складі системи безпеки будинку. Визначено технічні особливості цієї технології і зазначено, що вона базується на основі відкритого протоколу ALOHA, для якого не передбачено за стандартом методів мультиплексування. Натомість усі дані, які передаються між кінцевими пристроями, повинні бути зашифровані. Доведено, що ця технологія є простою, але вирізняється тим, що дані переважно передаються лише в одну сторону від пристроїв до шлюзів у не ліцензованому діапазоні частот. Колізія можлива лише за ситуації, коли пристрої при підключенні використовують один частотний канал.

Ключові слова: сенсор, безпека, технологія, архітектура, сигнал тривоги, система, будинок, LoRaWAN.

Постановка проблеми. Класичні підходи, функціональні схеми проектування систем безпеки приміщень, а саме налаштування звукових систем сигналізації за типом, наприклад замикання-розмикання магнітного контакту, окреме використання контактів за типом «геркону» вже не можуть повністю забезпечити суцільну надійну охорону приміщення. Це пояснюється тим, що у зловмисників наявні спеціальні засоби та відповідне обладнання, яке дозволяє нейтралізувати сигнали тривоги існуючих систем безпеки. Крім цього, при проектуванні системи безпеки необхідно у розрізі стрімкого розвитку інформаційних

технологій забезпечити контроль елементів охорони в режимі реального часу і цілодобово, адже при зовнішньому вторгненні у приміщення саме час реакції відіграє головну роль.

Слід враховувати, що спроектована система охорони повинна мати низький відсоток хибного спрацювання і високу надійність роботи у будь-яких умовах, наприклад у форс-мажорній ситуації, коли будинок тимчасово відключено від споживання електроенергії, або відбулась певна аварія в комунікаціях будинку. Основною проблемою при створенні системи безпеки приміщення є те, аби система була прозора і контрольована на

відстані, працювала автономно, незалежно, мала високу надійність і певний захист від зовнішнього зламу. Розв'язання окреслених проблем можливе на основі підходів і принципів концепції Інтернету речей.

Постановка завдання. Використання технологій, підходів, принципів які закладено в поняття «розумний» будинок можна долучити при створенні системи безпеки будинку. Враховуючи, що концепція Інтернету речей має певну архітектуру і правила, які визначають взаємодію елементів архітектури, елементи захисту будинку повинні відповідати саме цій концепції.

Основним завданням статті можна визначити те, що спроектована система безпеки будинку повинна вирізнятися тим, що її елементи повинні відповідати стандартизованим технологіям і рівням концепції Інтернету речей. В цьому контексті слід забезпечити цю взаємодію елементів безпеки на нижньому рівні архітектури Інтернету речей, адже спрацювання системи безпеки, створення сигналу безпеки, його передавання у хмарний сервіс або службу відіграє ключову роль у ефективності роботи всієї системи.

Метою статті є визначення особливостей, які слід враховувати при проектуванні на нижньому рівні системи безпеки житлового будинку на основі підходів і правил концепції Інтернету речей. Додатково необхідно визначити особливості, які слід враховувати при підключенні інфрачервоних сенсорів до системи безпеки будинку.

Виклад основного матеріалу дослідження. Нині актуальною проблемою для людства залишається забезпечення безпеки власного нерухомого майна. Технології XXI століття дають можливість захистити свій будинок за допомогою автономних охоронних систем, тим самим піднімаючи охорону та безпеку на новий рівень. Сучасні телекомунікаційні та інформаційні технології значно розширили функціональні можливості охоронних систем завдяки збільшенню швидкості передачі інформації та зниженню вартості телекомунікаційних послуг. Інтернет Речей (Internet of Things, IoT) [1] дає можливість «підняти» на новий рівень ці системи, використовуючи різні канали зв'язку, залежно від потреб користувача, але для будь-якої системи необхідний певний спосіб передачі інформації. Для передачі даних може бути використана будь-яка з існуючих технологій. У разі використання бездротових мереж особливу увагу потрібно приділяти підвищенню надійності передачі даних.

Кожна система IoT за своїм призначенням може відрізнятися між собою, проте основа для

кожної архітектури Інтернету речей, а також її загальний потік обробки даних є приблизно однаковими. Архітектуру на основі Інтернету речей можна описати за рівнями. На рисунку 1 наведено ключові рівні архітектури Інтернету речей. Так, вона побудована з речей, які є об'єктами, підключеними до мережі Інтернет. За допомогою вбудованих датчиків і виконавчих механізмів вони здатні сприймати навколишнє середовище і збирати інформацію, яка потім передається на шлюзи IoT. Цю особливість можна використати при створенні системи безпеки будинку.

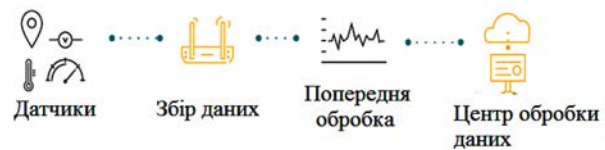


Рис. 1. Рівні архітектури IoT

В якості основи для кожної системи IoT визначають підключені пристрої, які відповідають за забезпечення сутності Інтернету речей, а саме даних. Щоб отримати фізичні параметри з зовнішнього світу або з самого об'єкта потрібні датчики. Вони можуть бути або вбудованими в пристрої, або реалізованими як окремі об'єкти для вимірювання та збору даних телеметрії.

Ще одним обов'язковим елементом цього рівня є виконавчі механізми. Перебуваючи в тісній зв'язці з датчиками, вони можуть перетворювати дані, які генеруються інтелектуальними об'єктами, у фізичні дії. Це важливо, адже підключені об'єкти повинні не тільки підтримувати зв'язок з відповідними шлюзами або системами збору даних, але й мати можливість розпізнавати і спілкуватися один з одним для збору та обміну інформацією, спільної роботи в режимі реального часу.

Наступним етапом роботи системи на основі концепції Інтернету речей можна вважати збір даних IoT і використання шлюзів, які отримують величезну масу необроблених даних, задля подальшого їх перетворення в цифрові потоки з відповідною обробкою та аналізом. Шлюзи полегшують зв'язок між датчиками й іншою частиною системи, перетворюючи дані датчиків у формати, які легко переносяться і можуть використовуватися іншими компонентами системи. Більш того, вони можуть контролювати, фільтрувати і вибирати дані, щоб мінімізувати обсяг інформації, яка повинна бути передана в «хмару», що позитивно впливає на вартість передачі по мережі і час відгуку. Таким чином, шлюзи забезпечують місце для локальної

попередньої обробки даних датчика, які стискаються в пакети і є готовими для подальшої обробки.

Третій рівень архітектури можна представити через периферійні пристрої, які відповідають за подальшу обробку і розширений аналіз даних. На цьому рівні також можуть з'явитися технології візуалізації і машинного навчання. Оскільки швидкість аналізу даних є ключовою в деяких промислових додатках Інтернету речей, останнім часом різко зросла популярність периферійних обчислень серед таких екосистем. В умовах обмеженої доступності та швидкості передачі даних хмарних платформ IoT проміжні системи можуть забезпечити більш швидкий час відгуку і велику гнучкість при обробці й аналізі даних IoT.

Після цього інформація передається в центри обробки даних, які можуть бути хмарними або встановленими локально. Саме тут дані зберігаються, обробляються й аналізуються для більш глибокого аналізу. На відміну від периферійних рішень, центр обробки даних або хмарна система призначені для зберігання, обробки та аналізу величезних обсягів даних для більш глибокого розуміння з використанням потужних механізмів аналізу даних і механізмів машинного навчання, які проміжні системи ніколи не зможуть підтримувати. Володіючи все більш широким упровадженням протягом останніх років, хмарні обчислення сприяють підвищенню продуктивності, скороченню незапланованих простоїв, енергоспоживанню і багатьом іншим перевагам для бізнесу, які допомагають людям взаємодіяти з системою, контролювати її, а також приймати обґрунтовані рішення на основі звітів, інформаційних панелей і даних, які переглядаються в режимі реального часу.

Безпека будинку – це місце, де можна розкрити потенціал розглянутої архітектури IoT. Його використовують для створення недорогої системи безпеки як для будинку, так і для промислового використання. Система повідомить власнику про будь-яке несанкціоноване проникнення або про те, що двері відкриті, відправивши повідомлення. Після того, як користувач отримає повідомлення, він може вжити необхідних заходів.

Система охорони та її складники

Всі системи домашньої безпеки працюють за одним принципом захисту точок входу, таких як двері і вікна, а також внутрішнього простору, яка включає такі цінності, як предмети мистецтва, комп'ютери, зброю і колекції монет. Незалежно від розміру будинку або кількості дверей і вікон, внутрішніх приміщень, які домовласник вирішує захистити, єдина реальна відмінність полягає

в кількості компонентів безпеки, розгорнутих по всьому будинку, які відслідковуються панеллю керування. У такому випадку йдеться про системи домашньої безпеки, які є мережами інтегрованих електронних пристроїв, що працюють разом із центральною панеллю керування для захисту від грабіжників і інших потенційних домашніх зловмисників.

Типова система домашньої безпеки включає в себе:

- панель управління, яка є основним контролером системи безпеки будинку;
- дверні та віконні датчики;
- датчики руху (як внутрішні, так і зовнішні);
- дротові або бездротові камери безпеки;
- сирену або сигнал тривоги;
- наліпки на вікна.

Системи домашньої безпеки працюють за простою концепцією захисту точок входу в будинок за допомогою датчиків, які обмінюються даними з панеллю керування або командним центром, встановленим у зручному місці десь у будинку.

Датчики зазвичай встановлюються у дверях, які ведуть у будинок і з нього, а також у легко доступні вікна, особливо ті, які відкриваються, особливо на рівні землі. Перевагою є можливість віддаленого управління будинком. При цьому господар можете ставити і знімати з охорони свою систему безпеки з будь-якої точки світу через вебпристрій, відстежувати, хто прибуває і залишає будинок. Часто використовуються в системах сигналізації PIR датчики. Ці датчики малі за габаритами, недорогі, споживають мало енергії, легкі в експлуатації, практично не схильні до зносу.

PIR-сенсори і їх реалізація в системі охорони

PIR Sensor – це скорочення від пасивного інфрачервоного датчика, яке застосовується для проєктів, у яких необхідно виявляти рух людини або частинок в певному діапазоні. Його також можна назвати датчиком PIR (руху) або IR-датчиком (рисунк 2).



Рис. 2. PIR-сенсор [2]

Пасивна інфрачервона сигналізація не випромінює енергію в оточуючий простір, а базується на отриманні інфрачервоного випромінювання від людського тіла для подачі сигналу тривоги. Будь-який об'єкт із температурою постійно випромінює інфрачервоні промені у зовнішній світ. Тобто дія інфрачервоного датчика заснована на аналізі теплового (інфрачервоного) випромінювання. Пасивний інфрачервоний датчик при цьому не випускає ніякого випромінювання, а лише аналізує вхідні теплові промені.

Основні недоліки інфрачервоних датчиків руху:

- можливість помилкових спрацювань. Внаслідок того, що датчик реагує на будь-які інфрачервоні (теплові) випромінювання, можливі випадкові локальні спрацювання навіть на теплому повітрі, яке надходить із кондиціонера, радіаторів опалення тощо;

- знижено точність роботи на вулиці через вплив оточуючих факторів (пряме сонячне світло, опади тощо);

- відносно низький діапазон робочих температур;

- не виявляє об'єкти, які одягнені / покриті, які не пропускають інфрачервоне випромінювання.

Основні переваги інфрачервоних датчиків руху:

- можливість досить точного регулювання дальності і кута виявлення рухомих об'єктів;

- зручний у використанні поза приміщеннями, оскільки реагує лише на об'єкти, які мають власну температуру;

- при роботі абсолютно безпечні для здоров'я людини або домашніх тварин, працюють як «приймач», нічого не випромінюючи.

Пасивні інфрачервоні сигнали тривоги можуть бути класифіковані на інфрачервоні датчики і секції контролю сигналів тривоги [3–4]. Найбільш розповсюдженим є піроелектричний детектор, який використовується в якості датчика для перетворення інфрачервоного випромінювання людини в електричний сигнал. Якщо людське інфрачервоне випромінювання безпосередньо вплине на детектор, воно викличе зміну температури для формування сигналу, але при цьому відстань виявлення не буде значною. Щоб збільшити дальність виявлення детектора, необхідно додати до конструкції датчика оптичну систему для збору інфрачервоного випромінювання. Це, як правило, пластикова оптична система відображення або лінза Френеля, виготовлена із пластику, як система фокусування для інфрачервоного випромінювання.

У зоні виявлення енергія інфрачервоного випромінювання людського тіла через одяг сприймається лінзою детектора і фокусується на піроелектричному датчику. Коли людське тіло (зловмисник) рухається в цьому режимі спостереження, воно послідовно входить у певне поле зору і потім виходить із нього. Піроелектричний датчик деякий час бачить рухомий об'єкт, а потім не бачить його. Інфрачервоне випромінювання постійно змінює температуру піроелектричного матеріалу, тому що він видає відповідний сигнал, який є сигналом тривоги (рис. 3).

Для підключення PIR сенсорів можна використовувати технологію LoRaWAN, яка отримала широке поширення в роботі операторів стільникового зв'язку. LoRaWAN – це відкритий асинхронний протокол управління доступом до середовища (MAC) для глобальних мереж на базі протоколу

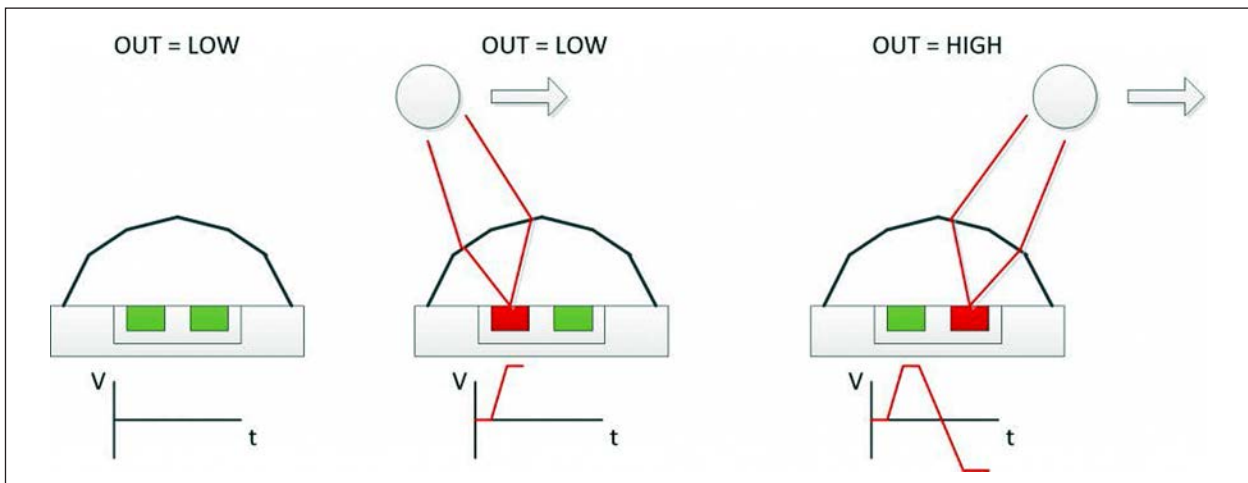


Рис. 3. Принцип роботи датчика

ALOHA. Він призначений для того, щоб пристрої з низьким енергоспоживанням могли обмінюватися даними з підключеними до інтернету додатками по бездротових з'єднаннях на значні відстані. LoRaWAN може бути зіставлений з другим і третім рівнями моделі OSI. Він реалізований поверх модуляції LoRa або FSK у промислових, наукових і медичних (ISM) радіодіапазонах. Перевага LoRaWAN полягає в можливості дальньої дії. Один шлюз або базова станція можуть покривати цілі міста або сотні квадратних кілометрів. LoRaWAN працює в неліцензійному радіочастотному спектрі. На рисунку 4 наведено архітектуру LoRaWAN, де:

- end node – об'єкт з убудованим малопотужним пристроєм зв'язку;
- gateway – антени, які приймають широкомовні повідомлення від кінцевих пристроїв і відправляють дані назад на кінцеві пристрої;
- network server – сервери, які направляють повідомлення від кінцевих пристроїв до потрібного додатка і назад;
- application – це частина програмного забезпечення, яка працює на сервері.

Дані між елементами архітектури є зашифрованими на основі моделі AES із 128 розрядним кодом. В архітектурі при передаванні даних між

датчиками та шлюзом (хабом) не використовуються методи мультиплексування. Шлюз, отримуючи дані, забезпечує ретрансляцію пакетів у «хмарний» сервіс, розташований в мережі Інтернет. За такої організації колізії при передаванні можуть виникати лише тоді, коли дані від датчиків передаються в одному частотному каналі. Кінцевий вузол може бути пов'язаний за протоколом LoRaWAN відразу з декількома шлюзами.

Завдяки надійним і масштабованим опціям фізичного рівня LoRaWAN може забезпечувати енергоефективний зв'язок на значні відстані. Протоколи каналного і мережевого рівнів забезпечують масштабовані та ефективні мережі, дозволяють вибирати і регулювати ключові параметри для оптимізації енергоспоживання. Технологія має досить просту конструкцію (рис. 4), яка дозволяє використовувати кінцеві пристрої з дуже низькою вартістю, забезпечуючи достатню пропускну здатність і досить низьку затримку для підтримки нетривіальних додатків IoT і ключових допоміжних сценаріїв зв'язку (оновлення вбудованого програмного забезпечення по повітрю).

Висновки. Майбутнє концепції Інтернету речей практично необмежене завдяки прогресу технологій і бажанням споживачів інтегрувати

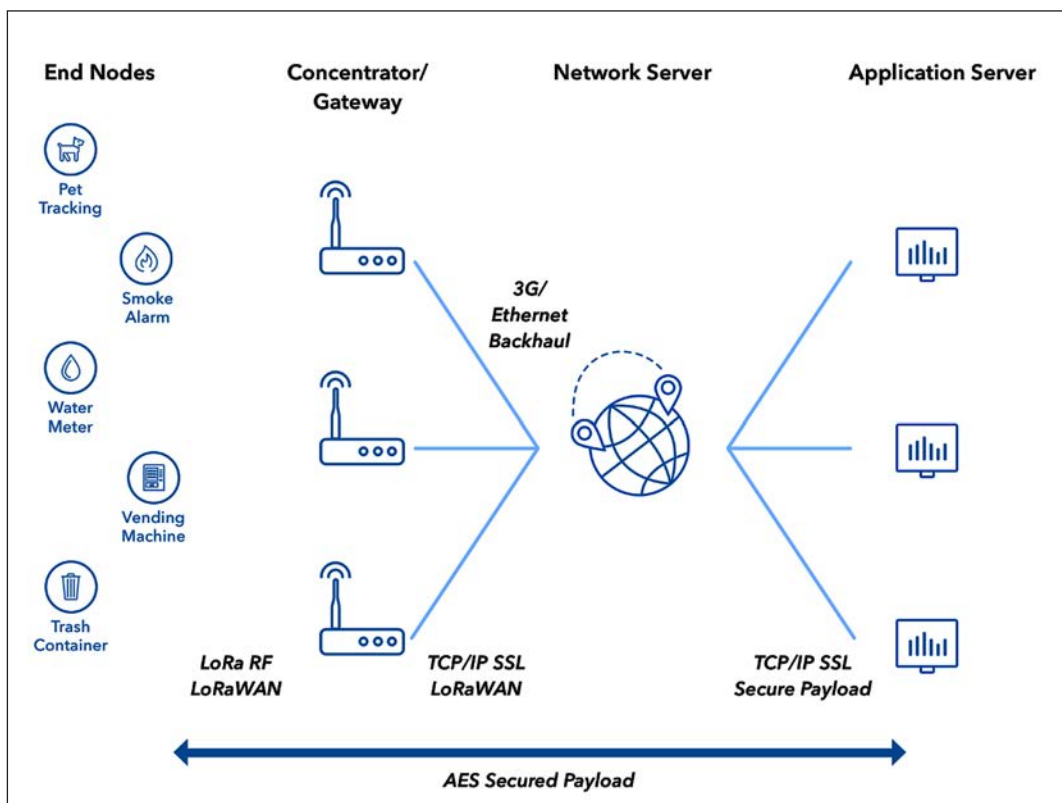


Рис. 4. Варіант архітектури за рівнями LoRaWAN

пристрої, такі як смартфони, з побутовою технікою в будинку. Тим самим є можливість значно вдосконалити систему охорони, невід'ємним елементом для якої є набір певних сенсорів. Хоча існує ряд технологій для виявлення руху, включаючи датчики ультразвукового і мікрохвильового випромінювання, інфрачервоний датчик популярний завдяки своїй простоті налаштування і висо-

кій продуктивності. Такі датчики коштують недорого і споживають мало енергії.

Для об'єднання датчиків можна використовувати LoRaWAN, яка є ключовою технологією для Інтернету речей. Її простота і здатність підтримувати недорогі, малопотужні кінцеві пристрої зі зв'язком на відстані означає, що вона добре підходить для використання в ряді стаціонарних і мобільних додатків IoT.

Список літератури:

1. Ли П. Архитектура интернета вещей. Москва : «ДМК Пресс», 2019. 454 с.
2. Муромцев Д.И., Шматков В.Н. Интернет вещей: введение в программирование на Arduino. Санкт-Петербург : «ИТМО», 2018. 36 с.
3. Jerker D. IoT Automation: Arrowhead Framework, Great Britain : CRC Press, 2017. 366 p.
4. McEwen A. Designing the Internet of Things, USA : Publishing NT, 2013. 336 p.

Pereverziev O.A., Humen T.F., Trapezon K.O. RESEARCH FEATURES OF CREATING A HOUSEHOLD SECURITY SYSTEM BASED ON THE CONCEPT OF THE INTERNET OF THINGS

A description of the architecture of the Internet of Things system is given, considering the basic settings of the elements that are key in designing a home security system for a typical suburban home. An approach is proposed whereby existing levels of the Internet of Things concept can be used to create a new home security system that will be characterized by the reliability, autonomy and wide range of individual room security features, ranging from passive infrared sensors to windows or doors and door and door controls home, its individual elements through the "cloud service" at any point where there is an Internet connection.

The structure of the security system is defined, where the main role is devoted to the passive infrared sensor, as one of the key elements in the security system architecture of the object based on the concept of the Internet of Things. It is noted that due to the peculiarities of the operation of such sensors in the house, it is possible to provide a significant safety zone beyond the perimeter of the room. The main advantages and disadvantages of infrared motion sensors have been formulated and it is noted that one of the limitations of the operation of the infrared sensor is the situation when the object of invasion of the protected house has clothing covered with material that does not transmit infrared radiation.

Separately, we consider the technology LoRaWAN as a base when connecting passive infrared sensors in the home security system. The technical features of this technology have been identified and noted that it is based on the open ALOHA protocol, which is not provided with the standard of multiplexing methods. Instead, all data transmitted between the end devices must be encrypted. It is proven that this technology is simple but characterized in that the data is preferably transmitted only one way from the devices to the gateways in the unlicensed frequency range and collision is possible only when the devices use the same frequency channel when connecting.

Key words: sensor, security, technology, architecture, alarm, system, home, LoRaWAN.

Рябенський В.М.

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова

Ихсанов Ш.М.

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова

Дьяконов А.С.

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова

Стужук И.И.

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АЛГОРИТМА ВЫДЕЛЕНИЯ СИГНАЛОВ МОРСКИХ СУДОВ В ТЕХНОЛОГИИ AIS В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОГО ПОТОКА СООБЩЕНИЙ

На кафедрі програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій Національного університету кораблебудування ім. адмірала Макарова (НУК) у наукових і навчальних цілях проводяться дослідження сигналів морських і річкових суден за технологією AIS (Automatic Identification System). Нині в цілодобовому режимі функціонують дві станції прийому AIS-сигналів на базі апаратно-програмних рішень грецького проекту MarineTraffic (на будівлі Інституту автоматизації і електротехніки – MarineTraffic Station № 4757 і на базі відпочинку НУК в Очакові – MarineTraffic Station № 5064). В якості базового алгоритму виділення і дослідження сигналів на кафедрі використовується програма з відкритим кодом aisLiveData корпорації MathWorks (версія MATLAB R2015). Оптимізація програми дозволила збільшити кількість правильно декодованих повідомлень більш ніж утричі. Однак аналіз квадратурної інформації зі штатних антен, які дозволяють приймати цільний потік повідомлень, показав, що в цих умовах потрібне подальше вдосконалення алгоритму.

Корпорація MathWorks у версії MATLAB R2019 презентувала нову програму з приймання та обробки AIS-сигналів. У цій роботі наведено опис проведених доробок і оцінка їх ефективності порівняно з оновленою програмою корпорації MathWorks. Для порівняння ефективності програм використовувалися записи квадратурної інформації з виходу приймача RTL-SDR при підключенні до нього штатної антени станції № 4757. Прийом проводився на частоті роботи передавачів суден класу А. Виявлено, що версія програми корпорації MathWorks, представлена в Matlab 2019, дозволяє в середньому збільшити кількість виділених повідомлень більш ніж удвічі порівняно з версією в Matlab 2015. Приблизно такі ж результати отримані програмою першого етапу кафедральної оптимізації.

Нова оптимізація програми, спрямована на успішну роботу в умовах щільного потоку повідомлень, дозволила збільшити кількість виділених повідомлень більш ніж удвічі порівняно з програмою, представленою в Matlab 2019. Проведено також аналіз можливих відхилень і збоїв у роботі технології AIS.

Ключові слова: Automatic Identification System – AIS, MarineTraffic, приймач RTL-SDR, MATLAB, Maritime Mobile Service Identity – MMSI, синхронізує.

Анализ последних исследований и публикаций. Как отмечалось в работе авторов [1, с. 175], на кафедре программируемой электроники, электротехники и телекоммуникаций Национального университета кораблестроения им. адмирала Макарова (НУК) в научных и учебных целях проводятся исследования сигналов морских и речных судов в технологии AIS (Automatic Identification System). Сейчас в дополнение к станции приема AIS-сигналов на здании Института автоматизации

и электротехники (MarineTraffic Station № 4757) функционирует аналогичная станция на базе отдыха НУК в Очакове (MarineTraffic Station № 5064).

В качестве базового алгоритма выделения сигналов использовалась программа с открытым кодом **aisLiveData** корпорации MathWorks (версия MATLAB R2015). Оптимизация программы позволила увеличить количество правильно декодированных сообщений более чем в 3 раза.

Однако анализ квадратурной информации со штатных антенн, которые позволяют принимать плотный поток сообщений, показал, что в этих условиях требуется дальнейшее совершенствование алгоритма. В то же время корпорация MathWorks в версии MATLAB R2019 презентовала новую программу по приему и обработке AIS-сигналов.

Постановка задачи. Целью работы является описание проведенных доработок и оценка их эффективности в сравнении с обновленной программой корпорации MathWorks. Дополнительно проводится анализ возможных отклонений и сбоев в работе технологии AIS.

Изложение основного материала исследований. Для решения поставленных задач были записаны квадратуры с выхода приемника RTL-SDR в 5 сеансах при подключении к нему штатной антенны станции № 4757. Прием проводился на частоте работы передатчиков судов класса А (161,975МГц). Краткая характеристика записей приведена в таблице 1.

Использовалась длина фрейма $2^{18} = 262144$ комплексных отсчетов с протяженностью во времени 1,14 с. Плотность сигналов для одного

файла определена по визуальному просмотру амплитудной развертки фреймов, для остальных использована линейная аппроксимация результатов автоматического обнаружения. Учитывая, что плотность сообщений на станциях варьируется в диапазоне 50–300 сообщений в минуту при одновременной работе по судам класса А и В, можно отнести первый файл к ситуации с повышенной плотностью сигналов, третий – к пониженной плотности, остальные – к средней плотности. Необходимо отметить, что в штатной аппаратуре станций используются отдельные аналоговые фильтры для сигналов судов классов А и В, что существенно повышает характеристики обнаружения. В приемниках RTL-SDR они отсутствуют.

Проблеме выделения AIS-сигналов из квадратурной информации уделено значительное внимание [3, с. 52–83; 4, с. 110–123]. Основная проблема при обработке плотного потока сообщений – это правильное выделение зоны существования сигналов во времени. Для уменьшения дисперсии отсчетов авторы применили скользящее усреднение амплитудной развертки фрейма с шагом в один отсчет. Для иллюстрации эффективности такого сглаживания на рисунке 1,а приведена исходная амплитудная

Таблица 1

Краткая характеристика записей

№ п/п	Дата записи	Количество фреймов	Средняя плотность сигналов AIS на фрейм
1.	16.04.2019	44	Близко к 3
2.	03.05.2019	1054	Около 2
3.	20-21.06.2019	2796	Менее 1
4.	13.11.2019 (день)	1626	Около 2
5.	13.11.2019 (вечер)	2081	Около 2

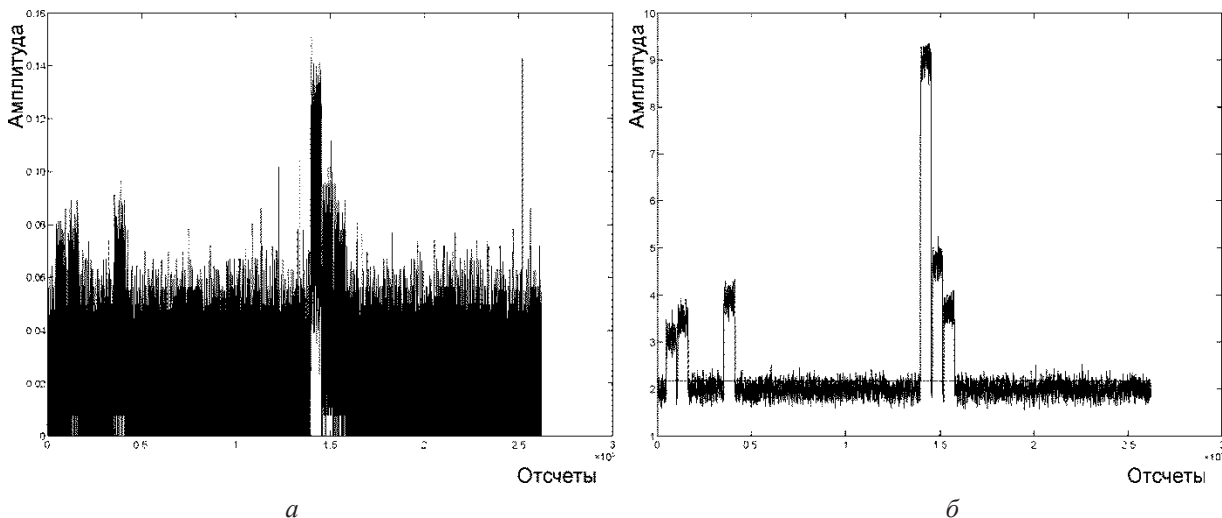


Рис. 1. Для 40-го фрейма первого файла: а) исходная амплитудная развертка фрейма; б) амплитудная развертка фрейма после скользящего усреднения

развертка для 40-го фрейма первого файла, на рисунке 1,б – та же развертка после скользящего усреднения на интервале 100 отсчетов.

После усреднения дисперсия помеховых отсчетов значительно уменьшилась, появилась возможность для всех сигналов выставить порог, при котором все сигнальные отсчеты находятся выше порога. При исходных амплитудах такая зона есть только у самого мощного сигнала, но и она находится ниже уровня помехи. Процедура скользящего усреднения реализуется без значимых затрат времени и требует менее сотой части от протяженности фрейма на ПК средней мощности (отсутствует необходимость деления на количество отсчетов, следующий суммарный отсчет получается из предыдущего удалением одного отсчета и добавлением другого).

При оценке среднего уровня помех необходимо исключить влияние наблюдаемых AIS-сигналов. В программе MathWorks это частично достигается поиском наиболее мощного сигнала и его последующим удалением из входной информации при поиске других сигналов. Авторы рассмотрели один из алгоритмов. Был поделен весь фрейм на 16 частей, в каждой части искали отсчет с минимальной амплитудой. Протяженность части была равна $2^{14} = 16384$, что превышает длину почти всех AIS-сообщений и позволяет уйти от сигнальных отсчетов, поскольку между сигналами разных судов должна быть пауза. Она обеспечивается алгоритмом SOTDMA, позволяющему всем судам, способным создавать помехи друг другу, использовать разделение передачи по времени и уложиться в четко выделенные временные промежутки. Средний уровень минимальных амплитуд, умноженный на постоянный коэффициент, и будет искомым порогом. На рисунке 1,б порог показан прямой линией при коэффициенте 1,35.

Далее, используя функцию *find()*, получим номера отсчетов превышающих заданный порог. За интервал существования сигналов было принято каждую из зон, в которой превысившие порог отсчеты размещены с достаточной плотностью (если номера двух соседних отсчетов, превысивших порог, отличаются более чем на заданную величину, зона текущего сигнала считается завершенной. Всего было установлено 9 отсчетов). Требуется, чтобы протяженность зоны была не менее минимальной длины возможного AIS-сообщения, было установлено 5000 отсчетов, немногим меньше количества отсчетов в коротком сообщении без учета времени разгона AIS-передатчиков и запасного буфера в 24 бита (5376 отсчетов).

Как отмечалось в [1, с. 174], сигналы от разных судов могут иметь смещение по частоте до 60 кГц, которое обычно компенсируется двумя методами – спектральным и по развернутой фазе. В предлагаемой авторами программе на развернутой фазе искали интервалы с достаточной длиной и малым изменением фазы. В каждом таком интервале отдельно проводилось определение скорости изменения фазы линейным методом наименьших квадратов. Результаты по всем интервалам либо взвешенно усреднялись, либо отдавалось предпочтение наиболее длинному интервалу в зависимости от разброса полученных измерений.

На рисунке 2 приведена развернутая фаза после двухэтапной компенсации смещения для самого слабого первого сигнала из рассмотренного выше фрейма. В начале развертки хорошо виден синусоидальный синхроимпульс, видно, что смещение компенсировано полностью. В этом фрейме из всех шести сигналов рассматриваемой программой выделены сообщения с корректными MMSI (Maritime Mobile Service Identity).

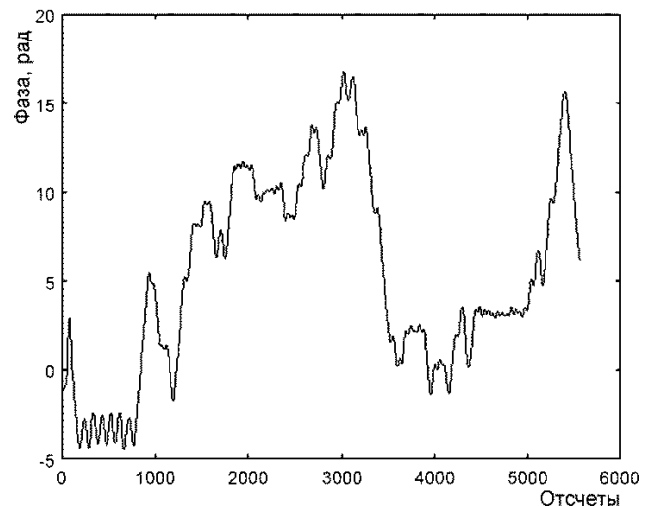
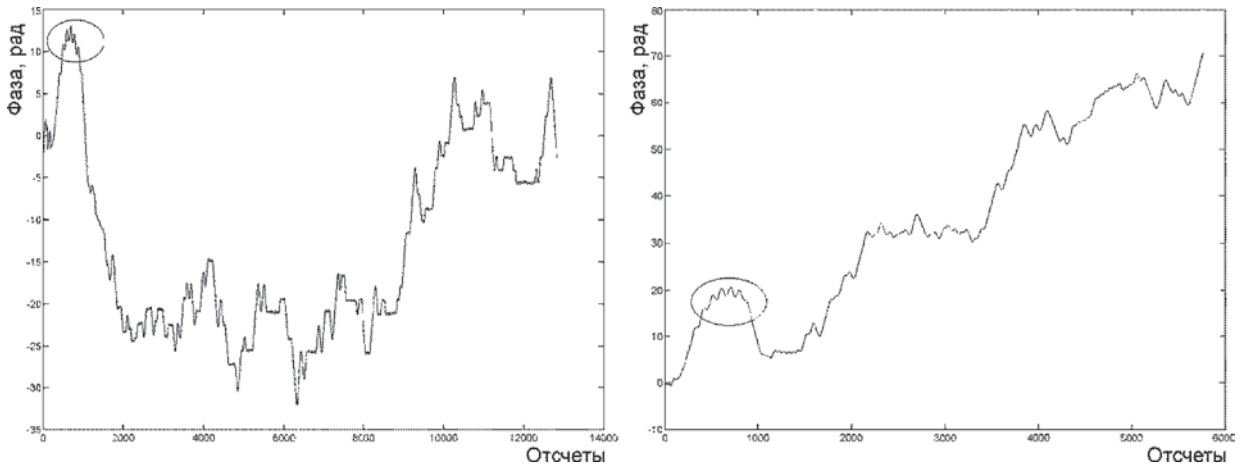


Рис. 2. Развернутая фаза для AIS-сигнала, представленного на рисунке 1,а

В этом файле из заметного числа сигналов с достаточной энергетикой не выделяются сообщения. Наиболее часто причиной тому является искажение синхроимпульса. На рисунке 3 приведена развернутая фаза для двух таких сигналов. Они взяты из 2-го и 17-го фреймов первого файла. Безусловно, эти сигналы являются AIS-сообщениями. Первым сигналом передано длинное сообщение. Впечатление такое, что на интервале излучения синхроимпульса развернутая фаза значительно увеличилась (около 10 радиан), а затем упала. Второй сигнал короткий, но поведение на интервале синхроимпульса аналогичное



а **Рис. 3. Развернутая фаза необнаруженных AIS-сигналов:** *б*
а) с фрейма 2 первого файла; *б)* с фрейма 17 первого файла

(вероятное место синхроимпульсов на развертке выделено овалом). Всего таких сигналов в первом файле около двух десятков. Скорее всего, это сигналы от одной и той же не очень исправной аппаратуры формирования AIS-сообщений.

Оказалось, что довольно просто определить источник таких сигналов. Снижение порога по коэффициенту корреляции при поиске со штатного значения **0,6** до значения **0,3** приводит к выделению корректных сообщений из части таких сигналов. Это происходит ввиду использования в технологии AIS двухступенчатой синхронизации. Ошибки привязки к синхроимпульсу в определенных пределах корректируются привязкой к Start Byte после получения битового потока. В первом файле обнаруживается одно сообщение (фрейм 9), а втором – выделяются 74 сообщения, в третьем файле такие сообщения не выделяются. Все они – сообщения четвертого типа и принадлежат не водному судну, а береговой службе с **User ID: 2723683**, которая по классификации сайта **www.marinetraffic.com** является “Manned VTS (Vessel Traffic Services)” – службой движения судов, расположенной на Русской косе на территории маяка и принадлежащей Николаевскому филиалу ГП «Госгидрография» (рис. 4).

Характер искажения синхроимпульса у всех сигналов одинаковый. Коэффициент корреляции с идеальным синхроимпульсом занижен и меняется в диапазоне 0,35–0,65. Это означает, что часть сигналов от этого источника обнаруживается при штатных параметрах рассматриваемой программы. Для второго файла это 25 сообщений. Для сравнения на рисунке 5 приведена развернутая фаза для сигнала с максимальным коэффициентом корреляции,

достигшим 0,653 (728 фрейм второго файла). Для стандартных AIS-сигналов коэффициент корреляции, как правило, превышает 0,9.



Рис. 4. Отображение на карте сайта www.marinetraffic.com источника AIS-сигналов с User ID: 2723683

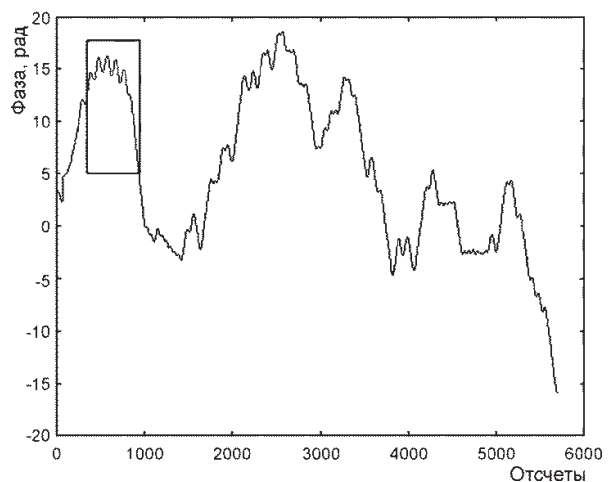
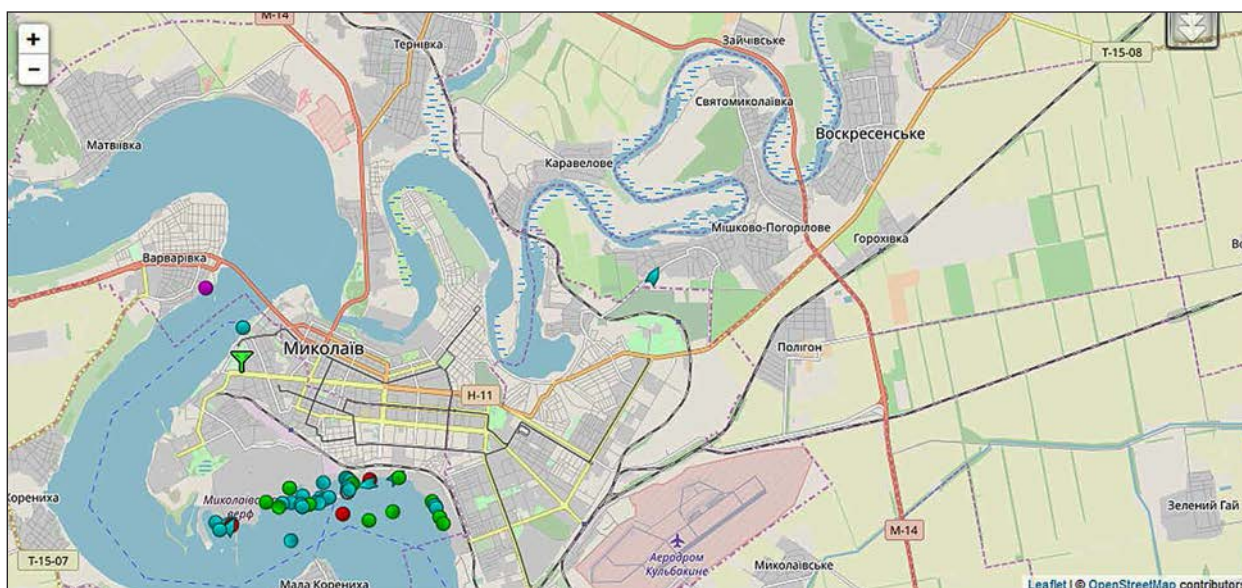


Рис. 5. Развернутая фаза сигнала источника 2723683 с максимальным коэффициентом корреляции

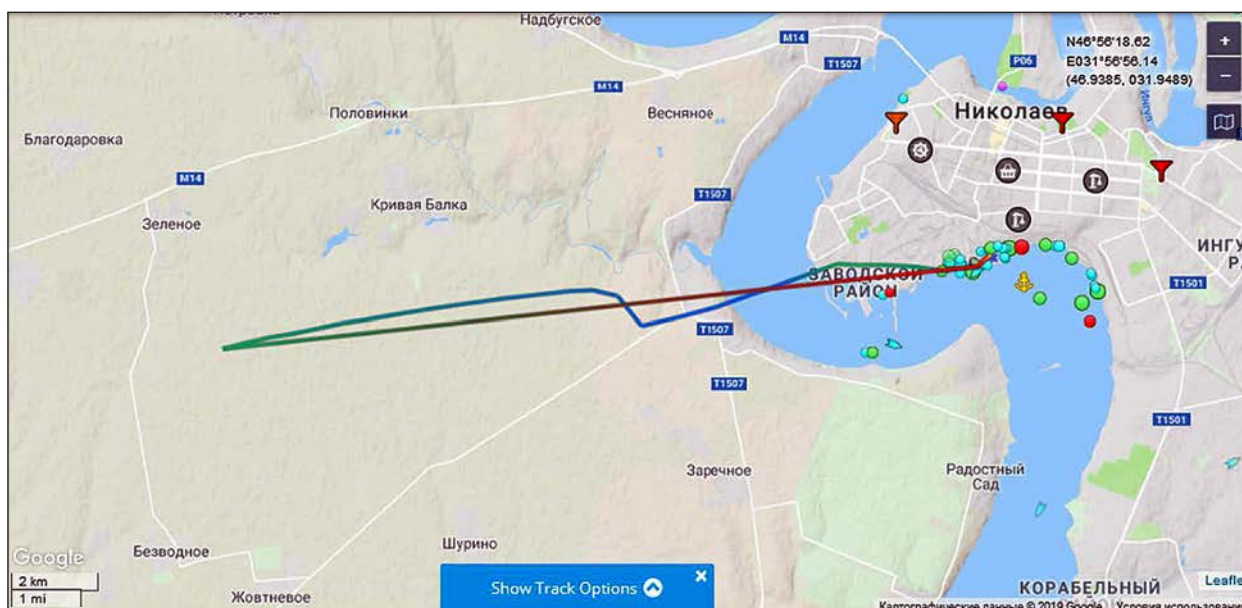
На рисунке прямоугольником выделена зона, соответствующая найденному программой синхрои́мпульсу. Его характер такой же, как на рисунке 3. Сотрудники известного филиала «Дельта-лоцман» государственного предприятия «Администрация морских портов Украины» также обратили внимание на этот источник AIS-сигналов. Он их заинтересовал, как источник AIS-сообщений № 17, по которым суда могут вводить дифференциальные поправки в свои координаты. В мае 2019 года участились случаи недопустимых скачков координат (до нескольких км) некоторых судов. Выяснилось, что выключение этого источника приводит к устра-

нению скачков. Такие скачки наблюдали также авторы по данным своей станции № 4757. Они обратили на них внимание в связи с отображением судов на глубокой суше (рис. 6,а-б):

Такие скачки координат могут объясняться и неисправностью навигационной аппаратуры самого судна. В настоящее время сигналы источника **2723683** фиксируются на сайте **www.marinetraffic.com** и присутствуют в новых файлах 4 и 5. Характер их инхроимпульса не изменился. Еще один сигнал, трудный для выделения сообщения, получен в 9 фрейме первого файла. На рисунке 7 наведена его развернутая фаза.



а



б

Рис. 6. Данные станции № 4757: а) за 13.09.2019; б) за 20.09.2019

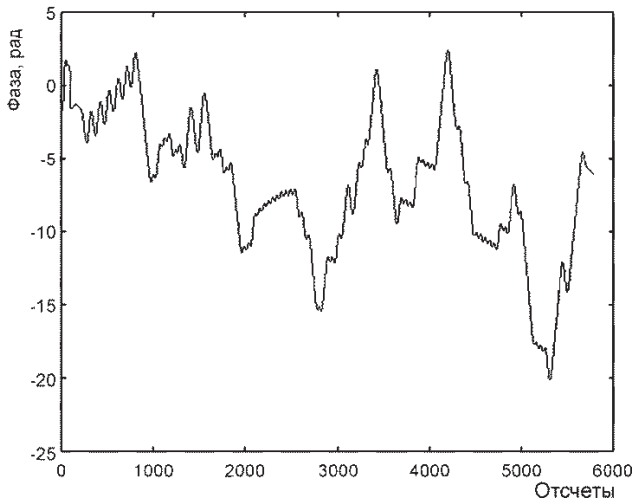


Рис. 7. Развернутая фаза сигнала с изменением смещения по частоте на интервале излучения

На интервале излучения практически идеального синхроимпульса видим заметное положительное смещение по частоте, затем оно уменьшается, и вторая половина сигнала имеет отрицательное смещение. Коэффициент корреляции составил 0,53; снижение порога приводит к выделению корректного сообщения:

FrameNumber=9, SignalNumber=2, msgType=1, cog = 0.530, MMSI: 677077500, Latitude: 46.945 Longitude: 31.9793

Marinetraffic выдает такую информацию о судне: MMSI:677077500 – “BRENTIX”, Oil/Chemical Tanker.

Такое поведение смещения по частоте можно было списать и на приемник RTL-SDR, который не способен выдерживать точное значение заданной частоты. Тем не менее, эту гипотезу пришлось отклонить, поскольку от этого судна получено довольно много сообщений (3 сообщения в первом файле, 174 сообщения во втором и 489 сообщений в третьем файле). Поведение выборочно просмотренных сигналов аналогично рис. 7, например у сигнала, полученного более чем через 2 месяца (третий файл, фрейм 649) развернутая фаза выглядит так (рис. 8): Еще более существенный случай сбоя информации наблюдался на интегральных характеристиках станций №№ 4757 и 5064 примерно за 2 месяца (рис. 9).

Без конкретного сообщения, которое привело к выдаче недопустимого максимального расстояния приема AIS-сигнала, невозможно понять причину сбоя. К уже перечисленным причинам может добавиться пропуск коротким кодом CRC (16 бит) заведомо сбойного сообщения. Вероятность совпадения такого кода CRC по сбой-

ной информации составляет $1/2^{16}$, например за 10 суток ежесекундной проверки кода CRC по равномерному некоррелированному битовому потоку вероятность случайного совпадения практически равна 1. В начавшей развиваться раньше технологии ADS-B для воздушных судов используется код CRC 24. Похоже, что на AIS-частотах могут присутствовать импульсные помехи. На рис. 10,а приведена амплитудная развертка после сглаживания для 38 фрейма первого файла.

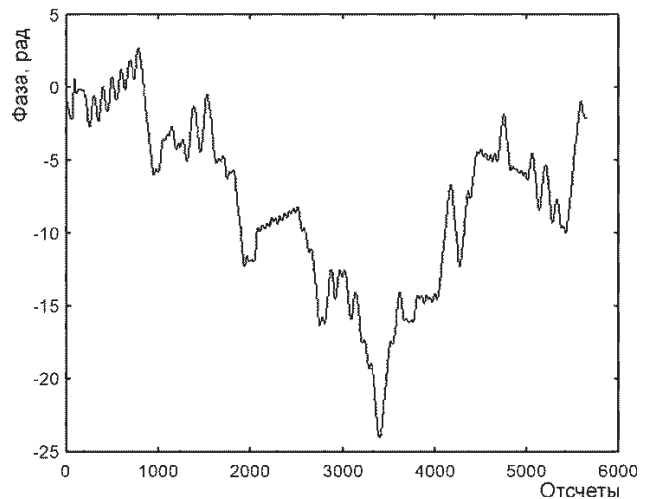


Рис. 8. Развернутая фаза сигнала от судна с MMSI 677077500 спустя более двух месяцев

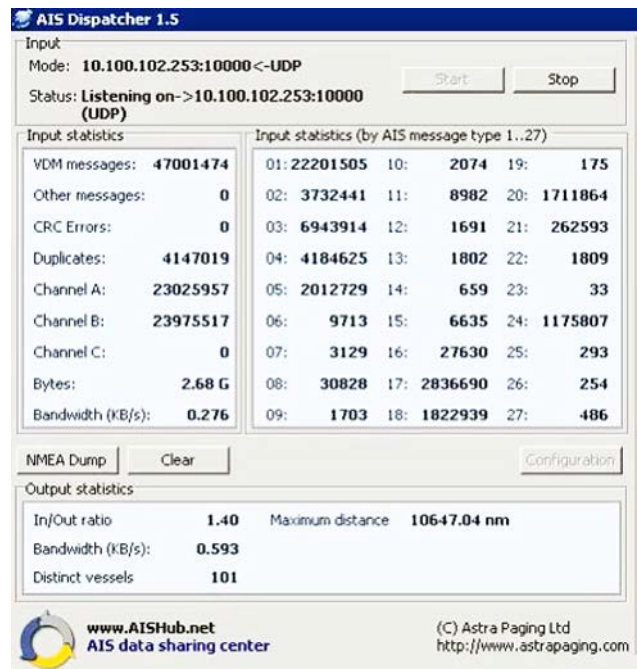


Рис. 9. Совместные интегральные характеристики станций №№ 4757 и 5064

Наблюдается очень протяженный во времени сигнал, ширина которого по уровню установленного порога составляет 46251 отсчет, что соответствует

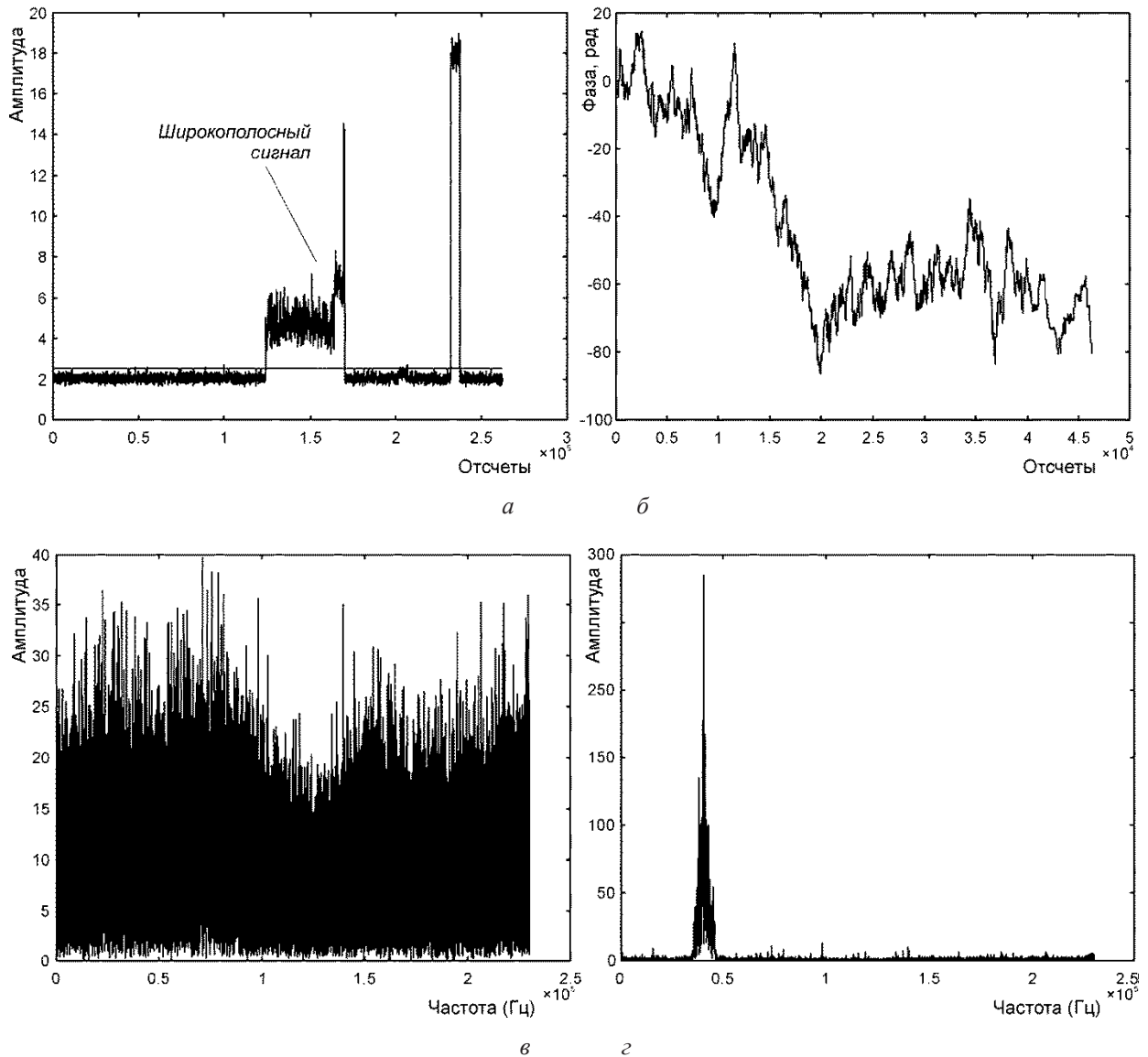


Рис. 10. Для 38 фрейма первого файла: а) амплитудная развертка с широкополосным сигналом; б) развернутая фаза широкого сигнала; в) спектр широкого сигнала; г) спектр второго изолированного сигнала

длительности более 8 слотов технологии SOTDMA (1 слот равен 256 битам или 6144 отсчетам), никакой паузы в излучении нет. Максимальная длина сообщения в технологии AIS может достигать 5 слотов для сообщения № 6 [5, с. 117–120]. На рисунке 10,б наведена для этого сигнала развернутая фаза.

Ни на этом рисунке, ни при разбиении всего интервала на части по 6000 отсчетам не обнаружено признаков AIS-сигналов, кроме конца интервала, где и на амплитудной развертке виден короткий сигнал несколько большей мощности. Этот сигнал при подходящем пороге успешно декодируется. Спектр длинного сигнала без обнаруживаемого сигнала наведен на рисунке 10,в. Для сравнения на рисунке 10,г приведен спектр

второго изолированного сигнала – стандартный узкополосный спектр для сигналов с GMSK-модуляцией (спектры приведены до компенсации смещения по частоте).

Такие протяженные сигналы с аналогичной спектральной и фазовой структурой в количестве нескольких десятков встречаются и в новых файлах 4 и 5. Протяженность достигает более 8 слотов. Относительно природы этих сигналов можно выдвинуть две гипотезы. Первая, что это вообще сигнал не от AIS-передатчиков, вторая – сигнал излучен неисправной AIS-аппаратурой, которая нарушила не только длительность сигнала, но и его фазовую структуру и спектр.

В заключение автора наводят результаты обработки различными программами файлов,

Результаты обработки различными программами файлов

№ файла	Количество выделенных программы сообщений AIS			
	MathWorks R2015a	MathWorks R2019a	Оптимизированная авторами (2018 год)	Оптимизированная авторами (2019 год)
1.	38	38	58	88
2.	866	871	1397	1791
3.	391	585	1484	1543
4.	346	1637	931	3303
5.	682	1972	1449	4075
Суммарно по всем файлам	2285	5065	5261	10712
Среднее время обработки одного фрейма (мс)	41	297	135	169

приведенных в таблице 1 (таблица 2). Среднее время обработки одного фрейма получено на ПК средней мощности при запуске программ в Matlab 2019. Авторы обращают внимание на значительную зависимость эффективности различных программ от конкретной сигнальной обстановки. Так, если сравнить версии программ в Matlab 2019 и 2015, то во втором файле сообщений выделено практически одинаковое количество, в четвертом же в новой программе выделено сообщений почти в 5 раз больше.

В среднем количество выделяемых сообщений увеличилось более чем в **2 раза**, значительно увеличились и вычислительные затраты – более, чем в 7 раз. Учитывая длительность фрейма в 1,14 с, новая программа с запасом может работать в реальном времени. Новая доработка программы, направленная на успешную работу в условиях плотного потока сообщений, оказалась вполне эффективной и позволила в среднем увеличить

количество выделяемых сообщений еще примерно в **2 раза** по сравнению с предыдущей доработкой. По файлу с низкой плотностью выигрыша практически нет (файл 3), и выигрыш достигает 3,5 раза по плотному потоку сообщений в файле 4. Выигрыш относительно новой программы в Matlab 2019 в среднем немного выше и составляет **более 2 раз**, но здесь результат более равномерный по файлам (по всем более 2 раз). Вычислительных ресурсов она требует почти в 2 раза меньше.

Выводы. Проведена дальнейшая оптимизация программы выделения AIS-сигналов, представленной в работе авторов [1], для условий плотного потока сообщений морских и речных судов. Показано, что количество выделяемых сообщений, по сравнению с программой корпорации MathWorks, презентованной в составе Matlab 2019, выше более чем в **2 раза**. Дополнительно проведен анализ возможных отклонений и сбоев в работе технологии AIS.

Список литературы:

1. Дьяконов А.С., Рябенский В.М., Ихсанов Ш.М. Прием и исследование сигналов морских судов в технологии AIS : Матеріали міжнародної науково-практичної конференції Modern information and innovation technologies in transport MINTT-2019. May 28–30, 2019. Kherson, Ukraine. Тези доповіді. С. 173–176.
2. Ихсанов Ш.М., Рябенский В.М., Дьяконов О.С. Дослідження сигналів реальних інформаційних систем із використанням приймачів RTL-SDR : навч. посіб. / Ш.М. Ихсанов, В.М. Рябенский, О.С. Дьяконов. Миколаїв, 2018. 183 с.
3. Andis Dembovskis. AIS message extraction from overlapped AIS signals for SAT-AIS applications : DISSERTATION zur Erlangung des Grades eines Doktors der Naturwissenschaften. Dr. rer. nat. Vorgelegt im Fachbereich 3 (Mathematik & Informatik) der Universität Bremen im März 2015. 149 p.
4. Fabio Mazzarella, Michele Vespe, Alfredo Alessandrini, Dario Tarchi, Giuseppe Aulicino, Antonio Vollero. A novel anomaly detection approach to identify intentional AIS on-off switching : Expert Systems with Applications. Volume 78, 15 July 2017, P. 110–123.
5. Recommendation ITU-R M.1371-5. Technical characteristics for an automatic identification system using time division multiple access in the VHF maritime mobile frequency band : International Telecommunication Union. Radiocommunication Sector of ITU. Electronic Publication, Geneva, 2014. 150 p.

Riabenkyi V.M., Ikhsanov Sh.M., Diakonov O.S., Stuzhuk I.I. ALGORITHM IMPROVEMENT FOR SIGNAL DETECTION OF SEA VESSELS IN AIS-TECHNOLOGY UNDER DENSE FLOW OF MESSAGES

AIS-signals (Automatic Identification System) of sea and river vessels are detected and analyzed at the Department of Programmable Electronics, Electrical Engineering and Telecommunications of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding for scientific and educational purposes. Currently 24/7 the department hosts two Marine Traffic stations (station № 4757 is placed in Mykolaiv, and station № 5064 – in Ochakiv), which feed data to the Marine Traffic server. During the study the open source program ais Live Data written in MATLAB R2015 was used as a basic algorithm for detecting and analyzing AIS signals.

Optimization of this program allowed increasing the number of correctly decoded messages by more than 3 times. However, the analysis of quadrature information from standard antennas, allowing receiving a dense message flow, showed that in these conditions a further improvement of the algorithm is required. At the same time, MathWorks Corporation in the version of MATLAB R2019 introduced a new program for receiving and processing AIS signals.

This paper describes the algorithm improvements and evaluates their effectiveness compared to the updated program in MATLAB R2019. To compare the effectiveness of the programs used, quadrature recordings were obtained using the RTL-SDR receiver when the standard antenna of station № 4757 was connected to it. Signal reception was carried out at the frequency of operation of AIS class A transponders.

It is shown that program in MATLAB R2019 allows on average to increase the number of decoded messages in comparison with program in MATLAB R2015 version. Approximately the same results were obtained by the program after the first stage of author's optimization. The new program optimization, aimed at successful work in a dense message flow, allowed to increase the number of decoded messages by more than 2 times compared to the program presented in MATLAB 2019R. An analysis of possible deviations and malfunctions in the operation of AIS technology was also conducted.

Key words: *Automatic Identification System – AIS, MarineTraffic, RTL-SDR receiver, MATLAB, Maritime Mobile Service Identity – MMSI, training sequence.*

ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

УДК 658.5.011

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.1-1/09>

Білоус А.Я.

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

Репін М.В.

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

МІНІМІЗАЦІЯ РИЗИКІВ НА ПІДПРИЄМСТВІ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ

У роботі представлено результати оцінки системи екологічного менеджменту на основі міжнародних даних. Для проведення оцінки було використано дані міжнародних стандартних серій ISO 14000 та їхні впровадження на українських підприємствах. ISO 14000 – визнана у світі основа для побудови системи екологічного менеджменту. Міжнародні стандарти серії ISO 14000, на відміну від інших природоохоронних стандартів, орієнтовані не тільки на кількісні параметри й технології, але й на створення на підприємстві СЕМ, що є невіддільною частиною системи загального управління підприємством. ISO 14000 – міжнародний стандарт, що містить вимоги до системи екологічного управління (environmental management system), за якими проходить сертифікація.

ISO 14000 має схожість з ISO 9000 (сімейством стандартів із менеджменту якості), обоє належать до процесу виробництва продукту, а не до самого продукту. Як із ISO 9000, сертифікація здійснюється сторонніми організаціями, а не ISO безпосередньо. Вимоги ISO 14000 є невіддільною частиною Схеми екологічного менеджменту та аудиту Європейського союзу (EMAS). Однак вимоги EMAS є більш жорсткими в питаннях підвищення екологічної ефективності діяльності організації, дотримання екологічного законодавства, звітності та залучення співробітників.

Екологічна політика – сукупність основних принципів, намірів і зобов'язань підприємства в галузі охорони навколишнього середовища та забезпечення екологічної безпеки, відповідно до встановлених показників оцінки ефективності зазначеної діяльності. Ця політика є основою для постановки екологічних цілей, вона має бути документально оформлена.

Україна з 1993 р. (час вступу до ISO) бере участь у роботі всіх Технічних комітетів (Technical Committees) зі стандартизації в галузі охорони довкілля: з якості повітря, ґрунтів. Але найбільшу увагу українські фахівці приділяють роботі в новоствореному ISO/TC 207, який розробляє стандарти з управління навколишнім середовищем, що можуть широко застосовуватися в різних сферах бізнесу.

Ключові слова: екологічна політика, міжнародні стандарти, ISO 14000, законодавчі акти, природокористування, довкілля, підприємства.

Постановка проблеми. Виробництво високоякісної продукції можливе тільки за умови, коли виробництво виконує вимоги національних законодавчих актів і міжнародних стандартів. ISO 14000 – визнана у світі основа для побудови системи екологічного менеджменту. Міжнародні стандарти серії ISO 14000, на відміну від інших природоохоронних стандартів, орієнтовані не тільки на кількісні параметри й технології, а й на створення на підприємстві СЕМ, що є невідділь-

ною частиною системи загального управління підприємством.

Розроблення та впровадження СЕМ дає підприємству насамперед скорочення споживання на одиницю продукції сировини, води, енергії. До інших переваг, що одержує підприємство, можна віднести також економію на витратах, поліпшення якості продукції й виробничих процесів, забезпечення безперебійності виробництва. Слід також виділити зменшення обсягу довгострокових

зобов'язань підприємства щодо ліквідації збитку, завданого навколишньому середовищу, поліпшення умов праці, що веде до посилення мотивації персоналу і, звичайно ж, поліпшення іміджу підприємства [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сьогодні в Україні прийнято такі закони і кодекси з основних питань природокористування, збереження і відтворення, а також охорони природи:

Урядом покладено обов'язки з охорони окремих частин біосфери на міністерства і державні комітети. Проте для українських підприємств питання екологічного менеджменту є досить новим і незакріпленим законодавчо. Більшість підприємств України нині лише починають впроваджувати екологічну політику.

Екологічна політика – сукупність основних принципів, намірів і зобов'язань підприємства в галузі охорони навколишнього середовища і забезпечення екологічної безпеки, відповідно до встановлених показників оцінки ефективності зазначеної діяльності. Ця політика є основою для постановки екологічних цілей, вона має бути документально оформлена. Обов'язковим для кожного підприємства є доведення до відома всіх співробітників підприємства про проведення цієї політики. А також інформація має бути доступна всім зацікавленим сторонам [2].

Постановка завдання. Метою статті є визначити вплив впровадження системи екологічного менеджменту на підприємства України.

Методики та матеріали досліджень. У межах екологічної політики підприємства приймають зобов'язання:

- знижувати і запобігти негативному впливу на навколишнє середовище;
- раціонально використовувати природні ресурси;
- впроваджувати сучасні технології та обладнання, які зменшують вплив на навколишнє середовище;
- систематично проводити контроль за впливом на навколишнє середовище;

- впроваджувати методи повторного використання природних ресурсів, енергозбереження, очищення від забруднювачів;

- впроваджувати заходи щодо зменшення кількості відходів;

- постійно покращувати систему екологічного менеджменту;

- щорічно аналізувати результативність природоохоронної діяльності підприємства, працівників, підрядників;

- дотримуватися вимоги природоохоронного законодавства;

- відстежувати зміни;

- підвищувати і підтримувати високий рівень обізнаності персоналу підприємства з питань охорони навколишнього середовища для розуміння особистої відповідальності за запобігання негативному впливу на навколишнє середовище;

- систематично проводити підготовку персоналу з питань забезпечення екологічної безпеки виробництва;

- співпрацювати із зацікавленими сторонами;

- відкрито інформувати з питань екологічної діяльності підприємства.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Україна з 1993 р. (час вступу до ISO) бере участь у роботі всіх Технічних комітетів (Technical Committees) зі стандартизації в галузі охорони довкілля: з якості повітря, ґрунтів. Але найбільшу увагу українські фахівці приділяють роботі в новоствореному ISO/TC 207, який розробляє стандарти з управління навколишнім середовищем, що можуть широко застосовуватися в різних сферах бізнесу. При цьому вже зараз країни, що розвиваються, стурбовані тим, що екологічні стандарти можуть виявитися перешкодою в торгівлі, тоді як промислово розвинені країни активно впроваджують стандарти ISO серії 14000 на системи управління довкіллям.

Саме з метою підготовки українських підприємств до жорстких правил світової торгівлі, розуміючи, що наявність сертифікованої системи управління довкіллям може стати невід-

Таблиця 1

Основні закони та кодекси України в галузі навколишнього природного середовища

Земельний кодекс	1990 рік (1992, останні правки 2019)
Закон про земельну реформу	1991 рік (2005)
Закон про охорону навколишнього природного середовища	1991 рік (2019 – чинна редакція)
Закон про охорону здоров'я народу	1993 (2018) рік
Кодекс про надра і переробку мінеральної сировини	1994 (2018) рік
Лісовий, водний кодекси і Закон про охорону, використання і відтворення тваринного світу	2002 (2018) рік
Закон про охорону атмосферного повітря	1992 (2017) рік

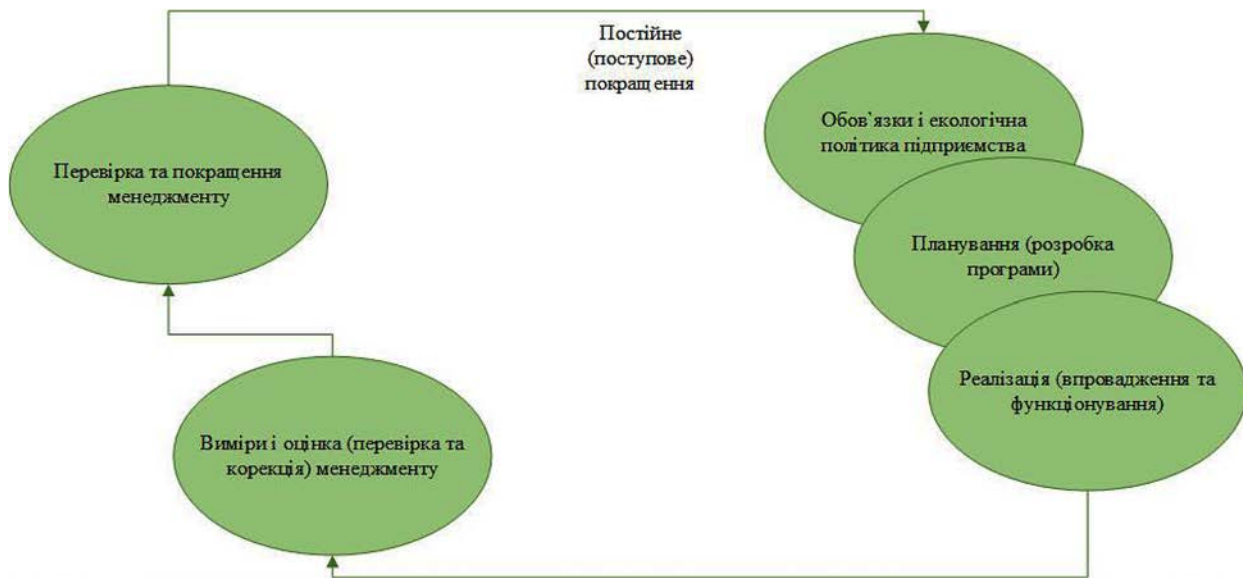


Рис. 1. Елементи системи екологічного менеджменту на підприємстві відповідно до стандарту ISO 14000

дільною частиною вимог стратегічних партнерів України до українських товарів, Держстандарт України першим серед країн СНД підготував для прямого впровадження міжнародні стандарти ISO 14001, 14004, 14010, 14011, 14012, які встановлюють загальні правила управління довкіллям, принципи й процедури екологічного аудиту та кваліфікаційні критерії для аудиторів з екології. Ці нормативні документи мають статус добровільних [3].

На основі оцінки системи екологічного менеджменту відповідно до стандарту ISO 14000 складено схему впровадження цієї системи на підприємстві (Рис. 1).

Висновки. Проаналізувавши систему екологічного менеджменту, можна дійти висновку, що за визначенням ISO 14001: «Система управління якістю навколишнього середовища – частина загальної системи управління, яка охоплює орга-

нізаційну структуру, діяльність щодо планування, розподіл відповідальності, практичну роботу, процедури, процеси та ресурси для розроблення, впровадження, досягнення цілей, оцінки досягнутого в межах реалізації екологічної політики». Тому на підприємствах промислово розвинених країн уже впроваджують так звані комплексні системи загальнофірмового управління. У цих системах управління якістю тісно пов'язане із заходами щодо охорони довкілля, а також з управлінням фінансами та ресурсами.

Усі великі транснаціональні компанії на міжнародних фондових біржах уже сьогодні піддаються перевіркам, метою яких є вивчення природоохоронних показників їхньої діяльності. Незабаром такі перевірки стануть реальністю й для дрібних і середніх компаній в Україні. Тому впровадження СЕМ є інвестицією в довгострокову життєздатність організації.

Список літератури:

1. Екологічний менеджмент. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D0%B4%D0%B6%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82.
2. Система екологічного управління: сучасні тенденції та міжнародні стандарти. URL: <https://www.ecolabel.org.ua/images/page/2018-04-02-01.pdf>.
3. ISO 14001 Система екологічного менеджменту. URL: <https://www.teamsuprema.com/poslugi/sistemi-menedzhmentu/iso-14001-sistema-ekologichnogo-menedzhmentu>.

Bilous A.Yu., Repin M.V. RISK MINIMIZATION ON ENTREPRENEURSHIP BY THE IMPLEMENTATION OF THE ENVIRONMENTAL MANAGEMENT SYSTEM

This paper presents the results of an assessment of an environmental management system based on international data. The data were used to evaluate the international standard ISO 14000 series and their implementation at Ukrainian enterprises. ISO 14000 is the internationally recognized foundation for building an

environmental management system. International standards of the ISO 14000 series, unlike other environmental standards, are focused not only on quantitative parameters and technologies, but also on creation at the SEM enterprise, which is an integral part of the system of general management of the enterprise. ISO 14000 is an international standard that contains the requirements for an environmental management system that is certified.

ISO 14000 is similar to ISO 9000 (a family of quality management standards), both of which relate to the process of manufacturing the product and not the product itself. As with ISO 9000, certification is done by third parties, not ISO directly. The requirements of ISO 14000 are an integral part of the European Union's Environmental Management and Audit Scheme (EMAS). However, EMAS requirements are stricter in terms of improving the environmental performance of the organization, compliance with environmental legislation, reporting and employee engagement.

Environmental policy is a set of basic principles, intentions and obligations of the enterprise in the field of environmental protection and ensuring environmental safety, in accordance with the established indicators of evaluation of the effectiveness of these activities. This policy is the basis for setting environmental goals and should be documented.

Since 1993 Ukraine has participated in the work of all Technical Committees on standardization in the field of environmental protection: air quality, soil. But most attention is paid to the work of Ukrainian specialists in the newly created ISO / TC 207, which develops environmental management standards that can be widely used in various business areas.

Key words: *environmental policy, international standards, ISO 14000, legislation, natural resources, environment, companies.*

УДК 004.624

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.1-1/10>**Войтко В.В.**

Вінницький національний технічний університет

Бевз С.В.

Вінницький національний технічний університет

Бурбело С.М.

Вінницький національний технічний університет

Ставицький П.В.

Вінницький національний технічний університет

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ СТВОРЕННЯ ТА ОБРОБКИ АУДИОКОНТЕНТУ

У статті розглядаються програмні засоби, що містять функціонал розпізнавання музичних композицій, а також можливість створення власних музичних послідовностей. Проведено аналіз останніх досліджень та публікацій на тему синтезу та аналізу музичних звуків. На основі таких досліджень було обрано набір функціональних можливостей, які необхідно проаналізувати задля успішної реалізації системи. Було зроблено аналіз програмних продуктів, що присутні на ринку та забезпечують функціонал розпізнавання та створення музичних композицій та послідовностей. Серед наведених додатків Shazam, Yandex Music, Google Sound Search, які містять функціонал розпізнавання музичних композицій. Крім того, було проаналізовано Music Maker Jam та FL Studio Mobile. Ці програмні продукти забезпечують функціонал створення музичних композицій з використанням різноманітних музичних інструментів та стилів. Було розглянуто кожен з обраних програмних продуктів у деталях з переглядом основних функціональних особливостей. Серед порівнюваних елементів програмних продуктів було розглянуто широту бази музичних композицій, можливість перегляду історії пошуку, простоту у використанні, можливість переходу до прослуховування треку у популярних музичних додатках, можливість створення власних музичних композицій. Крім того, у програмних продуктах, що містять функціонал синтезу музичних звуків, були розглянуті їхні додаткові можливості, такі як розпізнавання існуючих музичних композицій, широта вибору доступних музичних інструментів, можливість перетворення награної мелодії у музичну послідовність, поєднання функціоналу створення і розпізнавання музичних творів. Кожна з функцій була оцінена із урахуванням її важливості та повноти реалізації. Проведене дослідження наявних програмних засобів обробки музичних композицій дозволяє систематизувати функціонал програм по роботі зі звуковим контентом та виявити функції, актуальні як для програм синтезу звукових комбінацій, так і для програм аналізу і розпізнавання мелодій. Внаслідок проведеного порівняльного аналізу програмних засобів для синтезу та аналізу музичних звуків було обґрунтовано доцільність розробки програмних рішень, орієнтованих на успішне поєднання розглянутого функціоналу обробки музичного контенту.

Ключові слова: мобільний додаток, Android, аналіз музичних звуків, розпізнавання музики, синтез.

Постановка проблеми. Сьогодні є велика кількість мобільних додатків для розпізнавання та створення власної музики [1–5]. Зокрема, популярні ресурси Shazam, Yandex Music, Google Sound Search містять у собі лише функціонал аналізу музичних звуків [1; 3], тоді як Music Maker Jam, FL Studio Mobile дозволяють будувати та редагувати музичні послідовності [2; 5]. Кожен з існуючих на ринку додатків має свої переваги та недоліки, зумовлені напрямом використання програмного продукту. До при-

кладу, додатки FL Studio Mobile забезпечують широкий вибір функціоналу та можливостей, проте є досить складними в освоєнні і можуть вимагати багато часу для початку роботи й отримання результату [5]. Ресурси Music Maker Jam є легкими у вивченні, проте мають обмежений набір функцій [2]. Крім того, досить складно знайти додаток, який поєднував би у собі можливості як розпізнавання, так і створення музики, що зумовлює актуальність проведення досліджень у цій сфері.

Метою роботи є розширення функціоналу мобільних додатків для роботи з музичними звуками шляхом аналізу й систематизації функціональних можливостей популярних на ринку продуктів, що дозволить визначити актуальні функції сучасних мобільних застосунків для обробки музичних композицій.

Об'єктом дослідження постають процеси створення та розпізнавання музичних звуків у мобільних пристроях.

Предметом дослідження вбачаємо функціональні можливості сучасних мобільних додатків обробки музичних композицій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наявними є дослідження алгоритмів для розпізнавання музичних композицій, що стали основою для технології, використаної в мобільному додатку Shazam, який є одним з найперших продуктів на ринку, що забезпечує швидке розпізнавання музичних звуків [6]. Це дослідження надає базис для аналізу та розпізнавання музики.

У дослідженні [7] описано основну структуру системи синтезу та аналізу музичних звуків, що може бути реалізована як мобільний додаток з наявним серверним складником.

У роботі [8] проаналізовано підхід для розпізнавання та аналізу музичних композицій, що може бути реалізований у рамках мобільного програмного продукту.

Постановка завдання. Головною задачею є аналіз та систематизація функціональних можливостей популярних на ринку мобільних додатків обробки аудіоконтенту. Постає питання аналізу поточного стану проблеми, що відображається в програмних продуктах, присутніх на ринку. Важливим є узагальнення їх критеріїв та функціональних можливостей для розпізнавання музичних композицій та синтезу музичних звуків. Таке дослідження дозволить визначити основний набір функціоналу, що необхідний для якісної реалізації системи синтезу та аналізу музичних композицій.

Виклад основного матеріалу дослідження. Сучасний ринок мобільних застосунків, орієнтованих на обробку музичного контенту, характеризується широким спектром функціональних можливостей. Проаналізуємо та систематизуємо базові характеристики популярних мобільних рішень.

Shazam – це сервіс для розпізнавання музичних композицій [1], який містить у собі інформацію про більше ніж 11 000 000 треків та дозволяє ідентифікувати композицію за її фрагментом. Сервіс надає можливість розпізнавати аудіоконтент

навіть за наявності стороннього шуму і може працювати за умов низької якості вхідного матеріалу. Користувач через мікрофон свого пристрою надає інформацію про робочий фрагмент музики. Після цього Shazam аналізує вхідний матеріал та порівнює його з композиціями, наявними в базі (рис. 1). Якщо співставлення було успішним, користувач отримує інформацію про бажаний трек [6, с. 1].

Недоліком ресурсу Shazam є жорстка його орієнтація лише на прослуховування готових аудіо-записів без можливості використання механізму розпізнавання музики для створення власних композицій.

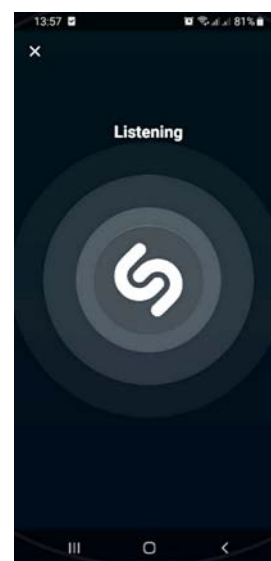


Рис. 1. Розпізнавання мелодії додатком Shazam

Music Maker Jam – додаток для створення та запису музичних композицій на базі мобільних операційних систем [2]. Сервіс надає можливість створювати музику в стилі дабстеп, хаус, хіп-хоп, рок тощо (рис. 2).

До переваг додатку Music Maker Jam можна віднести можливості легкого створення треків та їх редагування. Користувачу доступними є заготовлені набори семплів, які можна використовувати у власних композиціях. Базовий набір семплів поданий у базі музичних фрагментів, відіграних за допомогою різних інструментів: гітари, барабанів, синтезатора тощо. Крім того, існує можливість вставлення голосових уривків для посилення динаміки створюваної композиції. Користувач ресурсу Music Maker Jam має можливість використовувати сотні заготовлених стилів до створених композицій. Серед таких стилів 15 є безкоштовними. Функціоналом додатку також передбачена можливість запису вокалу користувача з подальшим накладанням отриманого

аудіоконтенту на основні музичні послідовності. Також присутня можливість додавання різного роду ефектів у реальному часі та їх запис.

Додаток Music Maker Jam орієнтований на розширення комунікативних можливостей користувачів, отже, після створення композиції автор має змогу зберегти її та поділитися з друзями, а також з глобальними користувачами. Треки можна коментувати, оцінювати та ділитися ними. Найкращі композиції потрапляють до категорії «тренди» та стають доступними для прослуховування всім користувачам. Нові композиції можна інтегрувати з SoundCloud, що дозволить поширення створеного аудіоматеріалу серед глобальної музичної громади.

Серед недоліків ресурсу Music Maker Jam можна виділити орієнтацію на базу заготовлених семплів без можливості створення власних. Крім того, відсутня можливість розпізнавання звуку та його використання в процесі створення власних композицій.

Google Sound Search – сервіс для розпізнавання музичних композицій [4], розроблений компанією Google, є складником пакету Google Play Services, що постачається з операційною системою Android. Google Sound Search тісно пов'язаний з іншими сервісами виробника, такими як асистент та пошук. Головною перевагою сервісу є можливість розпізнавати музичні композиції, що награні в мікрофон пристрою. Після успішної ідентифікації музичного фрагменту він відображається в Google пошуку, що дозволяє отримати детальну інформацію про бажану композицію. Інтерфейс сервісу Google Sound Search зображено на рис. 3.



Рис. 3. Інтерфейс Google Sound Search

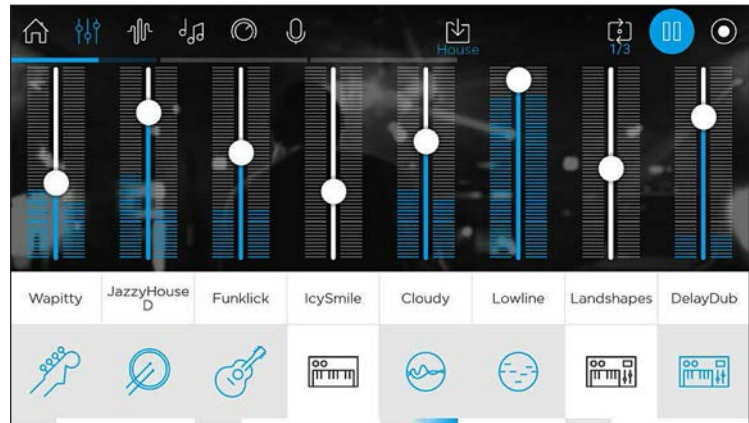


Рис. 2. Інтерфейс додатку Music Maker Jam

Як недолік можна відзначити, що описаний функціонал постачається як складник асистента, тому багато користувачів не знають про його існування. Крім того, сервіс Google Sound Search не дозволяє зберігати та відслідковувати історію музичного пошуку та попередніх розпізнавань.

FL Studio Mobile – мобільна версія відомої цифрової звукової робочої станції (DAW), яка сумісна з Android, IOS та Windows UWP (рис. 4) [5].



Рис. 4. Інтерфейс музичного додатку FL Studio Mobile

Програма FL Studio Mobile призначена для створення багатоголосих музичних проєктів. Вона акумулює в собі суквенсер, редактори музичних інструментів, дрампад тощо. Додаток пропонує широкий вибір музичних інструментів, які дозволяють створювати композиції різних жанрів.

FL Studio Mobile є досить потужним інструментом, який забезпечує великий спектр функціоналу. Проте його освоєння є досить складним для користувача, що пояснюється необхідністю знати основні принципи роботи з DAW, а також вміння аналізувати властивості цифрових музичних сигналів [5].

Порівняльний аналіз популярних додатків для розпізнавання музичних композицій, що присутні на ринку, зведено в табл. 1.

Таблиця 1

Порівняльний аналіз програмних засобів для розпізнавання музичних композицій

Назва додатку Функції	Shazam	Google Sound Search
Широта бази музичних композицій	0.9	0.7
Можливість перегляду історії пошуку	1	0
Простота у використанні	0.8	0.5
Можливість переходу до прослуховування у популярних музичних додатках, таких як Spotify, Google Play Music, Apple Music, Deezer тощо	0.7	0.4
Можливість створення власних музичних композицій	0	0

Таблиця 2

Порівняльний аналіз програмних засобів для створення музичних композицій

Назва додатку Функції	Music Maker Jam	FL Studio
Можливість розпізнавання існуючих музичних композицій	0	0
Широта вибору доступних музичних інструментів	0.3	0.8
Перетворення награної мелодії у музичну послідовність	0	0.3
Поєднання функціоналу створення і розпізнавання музичних композицій	0	1

У порівняльному аналізі функції можливості перегляду історії пошуку та можливості створення власних музичних композицій оцінювалися в двійковому форматі [7, с. 2–3], коли «0» означає відсутність функціоналу, а «1» – його наявність. Інші критерії, такі як широта бази музичних композицій, простота у використанні, можливість переходу до прослуховування в музичних додатках оцінювалися в нормалізованому вигляді за шкалою від 0 до 1, коли більше значення оцінки означає кращу якість реалізації вказаного функціоналу.

Порівняльний аналіз додатків для створення музичних композицій, що присутні на ринку, зведено в табл. 2.

У порівняльному аналізі функції можливості розпізнавання існуючих музичних композицій [8, с. 1–2] та поєднання функціоналу створення і розпізнавання музичних композицій [7, с. 2–3; 8, с. 2] оцінювалися в двійковому форматі. Інші критерії, такі як широта вибору доступних музичних інструментів та перетворення награної мелодії

у музичну послідовність оцінювалися в нормалізованому вигляді за шкалою від 0 до 1.

За результатами порівняльного аналізу популярних на ринку музичних додатків можна зробити висновок про широту функціональних можливостей сервісів та наявні переваги і недоліки їх використання.

Висновки. Проведений аналіз популярних мобільних додатків, призначених для аналізу та синтезу аудіоконтенту, систематизує наявний функціонал музичних сервісів та виявляє проблеми сучасних засобів обробки звукових композицій. Серед наявних програмних продуктів обробки музичного контенту досить складно сьогодні знайти комплексне рішення, яке б якісно поєднувало у собі функціонал розпізнавання і створення музичних композицій, було б простим у використанні та містило б достатній обсяг можливостей. Результати аналізу обґрунтовують актуальність розробки програмних продуктів, орієнтованих на поєднання функціоналу аналізу, розпізнавання та синтезу музичних композицій у середовищі мобільного сервісу.

Список літератури:

1. Shazam: веб-сайт. URL: <https://www.shazam.com>.
2. Music Maker JAM: веб-сайт. URL: <https://www.justaddmusic.net/en/index.html>.
3. Yandex.Music: веб-сайт. URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=ru.yandex.music&hl=en>.
4. Identify songs playing near you: веб-сайт. URL: <https://support.google.com/googleplaymusic/answer/2913276?hl=en>.
5. FL Studio Mobile: веб-сайт. URL: <https://www.image-line.com/flstudiomobile/>.
6. An Industrial-Strength Audio Search Algorithm. *Columbia Engineering*. 2013. URL: <https://www.ee.columbia.edu/~dpwe/papers/Wang03-shazam.pdf>.

7. Використання технологій аналізу та синтезу музичних звуків для розробки музичного синтезатора. *XLVI Науково-технічна конференція факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії*. 2017. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/all-fitki-2017/paper/view/2793/2521>.

8. Розробка модуля розпізнавання музики для мобільного додатку. *XLVII Науково-технічна конференція факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії*. 2018. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/all-fitki-2018/paper/view/5209/4571>.

Voitko V.V., Bevz S.V., Burbelo S.M., Stavtyskyi P.V. ANALYSIS OF MODERN SYSTEM OF CREATING AND PROCESSING AUDIO CONTENT

Software solutions which combine functionality of music recognition and creation of custom music sequences are considered. There were analyzed articles and publications regarding music analysis and synthesis. Based on gathered information there was selected set of primary functional features which needed to be analyzed, so that the system can be successfully implemented. There was done an analysis of software which exists on the market and provides the functionality of recognition and creation of the music compositions and sequences. Among described applications there are Shazam, Yandex Music, Google Sound Search which allow to recognize music. Moreover, there are Music Maker Jam and FL Studio Mobile products which allow to create custom music sequences with using of various music instruments and styles. Each of listed software products was described in detail with provided list of primary functional features. Among described features there are size of available music database, ability to view search history, usability, ability to listen to found musical track in one of common musical services, ability to create custom musical compositions. Furthermore, applications which include music creation feature were analyzed in terms of the features such as ability to recognize existing musical tracks, range of musical instrument selection, ability to transform recorded sound sequence into musical track, combination of features for music synthesis and analysis. All described features were evaluated considering their priority and implementation quality. The conducted research of the existing software for processing music tracks allows to systematize the functionality of programs for working with audio content and to identify functions that are relevant for both programs of synthesis of sound combinations, as well as for programs of analysis and recognition of melodies. As a result, after the analysis of software products for synthesis and analysis of musical sequences there was justified the necessity of the development of a new system which will combine all the functionality described above. This will allow to increase efficiency in music creation process using mobile devices.

Key words: mobile application, Android, musical sounds analysis, music recognition, synthesis.

Галь А.Ф.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Гайдай Г.Ю.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Грешин А.Ю.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ОБРОБКИ ДАНИХ ЕКСПЕРИМЕНТУ

Розроблено інформаційно-вимірювальну систему, яку призначено для автоматизації обробки експериментальних даних у галузі океанотехніки та морських технологій. При цьому експериментальне дослідження проводилося на спеціально розробленому лабораторному стенді для вивчення динаміки багатоякірних систем позиціонування морських об'єктів, таких як плавучі бурові платформи, бурові та рятувальні судна та інші плавучі споруди. Представлено багатовіконний графічний інтерфейс системи, який розроблено з використанням середовища програмування NETBeans IDE та мови програмування високого рівня РНР. Показано роботу програми від початку її запуску, обробки результатів дослідження та до їх виведення на екран монітору. Графічний інтерфейс системи повністю відображує роботу системи, а саме: вибір вихідних даних із бази даних або їхній самостійний ввід користувачем, обробку числових даних, одержаних під час опитування датчика, побудову діаграм затухаючих коливань системи, розрахунок основних характеристик системи та порівняння їх із теоретичними значеннями, оцінку похибки розрахунків основних показників. Розроблена інформаційно-вимірювальна система обробки лабораторних даних дає змогу підвищити ефективність сприйняття інформації та достовірність одержаних результатів під час виконання лабораторної роботи, а також скоротити час на отримання експериментальних даних. Розроблена система дає змогу поліпшити значення таких показників: час збору і первинної обробки інформації; достовірність і точність отриманих експериментальних даних; достовірність і точність результатів обробки лабораторних даних; швидкість обробки експериментальних даних. Представлена інформаційно-вимірювальна система складається з таких елементів: пристроїв вимірювання, пристрою обробки вимірювальної інформації, пристрою зберігання інформації, пристрою подання інформації у вигляді реєстраторів і індикаторів, пристрою управління, що служить для організації взаємодії всіх вузлів системи, пристрою впливу на об'єкт, що включає в себе генератори стимулюючих впливів.

Ключові слова: експеримент, автоматизація, якірний ланцюг, бурова установка, інформаційно-вимірювальна система.

Постановка проблеми. Вимірювально-інформаційна система (далі – ВІС) – це сукупність функціонально об'єднаних вимірювальних, обчислювальних та інших допоміжних технічних засобів для отримання вимірювальної інформації, її перетворення, обробки з метою представлення споживачеві в необхідному вигляді або автоматичного здійснення логічних функцій контролю, діагностики, ідентифікації та ін. [6].

Поява ВІС зумовлена насамперед конкретними завданнями виробництва і наукових досліджень, які потребують отримання, обробки, відображення та зберігання великих обсягів вимірювальної інформації. Практичне розв'язання цих завдань виявилось можливим завдяки бурхливому

розвитку обчислювальної та вимірювальної техніки, зокрема первинних вимірювальних перетворювачів (датчиків). Датчики, що серійно випускаються, дають змогу використовувати електричні методи вимірювання всіх фізичних величин. При цьому вартість засобів обчислювальної техніки, вимірювальних перетворювачів та інших компонентів ВІС знизилася до рівня, що робить економічно доцільним застосування ВІС у виробництві, наукових дослідженнях і моніторингу найрізноманітніших об'єктів. Тому нині ВІС застосовуються практично повсюдно. Вони дають змогу вирішувати завдання, недоступні для інших засобів вимірювання, і забезпечують високий рівень автоматизації процесу вимірювань, високу достовірність

отриманих результатів, високу інформативність і зручну індикацію результатів.

Аналіз останніх тенденцій у сфері створення інформаційно-вимірювальних систем показав, що цього роду програмні продукти є затребувані, тому їхні впровадження в навчальний процес вищих навчальних закладів є сьогодні основним завданням закладів освіти. Тому розроблення інформаційно-вимірювальної системи обробки лабораторних даних, яка дасть змогу підвищити ефективність сприйняття інформації та достовірність одержаних результатів під час виконання лабораторної роботи, а також скоротити час на отримання експериментальних даних, є основним завданням викладачів та аспірантів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сьогодні є різні спеціалізовані рішення в галузі збору інформації та автоматизації процесів, дані яких пов'язано з управлінням і логістикою, процесом лабораторних досліджень. Контроль якості здійснюється випробувальними і аналітичними лабораторіями, які оснащено, як правило, сучасним обладнанням та укомплектованими висококваліфікованими фахівцями. Ефективність роботи, компетентність і продуктивність таких лабораторій виявляються недостатніми через відсутність необхідного інформаційного забезпечення для управління якістю роботи лабораторії. Тому особливого значення набувають лабораторні інформаційні системи (ЛІС – англ. Laboratory information management systems – LIMS), які дають змогу в повному обсязі реалізувати можливості лабораторного потенціалу. ЛІС являє собою комплекс програмного забезпечення і апаратних засобів [7], створених спеціально для лабораторії, і забезпечує збір, обробку та накопичення інформації, автоматизацію технологічних процесів, а також процесів управління і комунікації. До основних ЛІС можна віднести такі:

1. ЛІС LABWARE побудована на архітектурі «клієнт-сервер» [6]. Модель «клієнт-сервер» нині є домінуючою комп'ютерною архітектурою для ЛІС. ЛІС здійснює розподіл завдань між виконавцями і реалізує контроль із боку керівної ланки на всіх етапах виконання аналітичного контролю і формування сертифікатів і протоколів якості.

На рівні введення інформації виконавець (лаборант, науковий співробітник, фахівець) здійснює занесення даних в ЛІС, при цьому він не володіє правом коригування результатів і не має доступу до архівів. Введення даних може здійснюватися як ручним способом – шляхом заповнення відповідних осередків, так і автоматизованим – шляхом

зчитування даних з інструментів і приладів, що мають комунікаційні порти.

2. Лабораторна інформаційна система STARLIMS – це потужна багатофункціональна технологія, орієнтована на підвищення ефективності роботи процесів контролю якості на підприємствах будь-яких галузей промисловості, випробувальних центрах і науково-дослідних лабораторіях [7]. ЛІС STARLIMS дає змогу за допомогою новітніх програмних інструментів управляти процесами контролю якості продукції, а так само забезпечувати і підтверджувати виконання вимог до компетентності випробувальних лабораторій.

3. Лабораторна інформаційна система DigitalLab [9] призначена для автоматизації управління, обробки та зберігання інформації про роботу лабораторії на підприємстві.

ЛІС DigitalLab підвищує ефективність виконання функцій, затребуваних на підприємстві, дає змогу фахівцям заводу і споживачам виробленої продукції бути впевненими в дотриманні контролю якості на всіх етапах виробництва. Впровадження ЛІС DigitalLab спрямовано на підвищення якості й ефективності роботи випробувальної лабораторії у всіх аспектах її діяльності.

4. ЛІС «УНІВЕРЛАБ» – професійна лабораторна інформаційна система (мережева програмна система), призначена для автоматизації діяльності лабораторії будь-якого рівня. Система дає змогу автоматизувати всі необхідні бізнес-процеси лабораторії [7].

Постановка завдання. Метою статті є розроблення інформаційно-вимірювальної системи обробки даних, основним призначенням якої є автоматизація процесу одержання та обробки експериментальних даних під час виконання лабораторної роботи.

Виклад основного матеріалу дослідження. Інформаційно-вимірювальну систему, яку розроблено в статті, призначено для автоматизації процесу виконання експерименту, пов'язаного з вивченням динаміки багатоякірних систем позиціонування плавучих об'єктів океанотехніки.

Математичну модель, яку закладено до інформаційно-вимірювальної системи, що розробляється, обґрунтовано та наведено в роботах [1; 2; 4]. Опис лабораторної установки, на якій виконується експеримент, наведено в роботах [5; 8]. До метрологічного забезпечення цієї ВІС висунуто такі вимоги:

– достовірність і своєчасність вимірювальної інформації, а саме – лабораторних даних (кут

відхилення системи від стану рівноваги замірюється не менш ніж через 1 с із точністю не менш ніж 0,01);

- точність результатів, одержаних у результаті обробки експериментальних даних (похибка становить не більше 5%);

- усе вимірювальне обладнання (датчики, динамометри) відповідають вимогам Державної метрологічної служби України.

Інформаційно-вимірювальна система, що розробляється, містить такі пристрої:

- пристрої вимірювання, що включають у себе первинні і вторинні вимірювальні перетворювачі і власне вимірювальний пристрій, який виконує операції порівняння з мірою, квантування, кодування, а в окремих випадках і комутатор;

- пристрій обробки вимірювальної інформації, яка виконує обробку вимірювальної інформації за певним алгоритмом (скорочення надмірності, математичні операції, модуляція і т.п.);

- пристрій зберігання інформації;

- пристрій подання інформації у вигляді реєстраторів і індикаторів;

- пристрій управління, що служить для організації взаємодії всіх вузлів ВІС;

- пристрій впливу на об'єкт, що включає в себе генератори стимулюючих впливів.

На рис. 1 наведено узагальнену структурну схему ВІС обробки даних експерименту.

Інформація від ВІС може надходити в ЕОМ або видаватися оператору. Оператор або ЕОМ можуть впливати на пристрій управління ВІС, змінюючи відповідно програму її роботи. У низці ВІС деякі пристрої зв'язку можуть бути відсутні. За наявності в складі ВІС комп'ютера PCI (ISA)

або іншої мікро-ЕОМ інформація до них може надходити безпосередньо від пристроїв обробки або (і) зберігання.

Математичне забезпечення системи, яке було розроблено у роботах [2; 3], дало змогу одержати такі алгоритми, за якими працює ВІС (рис. 2).

Як середовище для програмування цієї ВІС було обрано середовище NetBeans IDE [10], яке має у своєму складі розширений багатомовний редактор для різних мов програмування – Java, C / C++, Ruby, Groovy, PHP, JavaScript, CSS, XML, HTML, RHTML, JSP, документацію Javadoc.

Як мову програмування обрано мову PHP [10] – скриптову мову програмування загального призначення, інтенсивно вживану для розроблення вебдодатків. Для створення графічних додатків для Windows є вільний пакет WinBinder (написаний на Сі, фактично – обгортка для WinAPI).

Після проведення всіх налагоджень проєкту системи в середовищі програмування, написання коду програми, заповнення бази даних (БД) та іншого запускаємо програму.

Після запуску програми на екрані з'являється вікно головного меню системи (рис. 3), в якому можна обрати параметри експерименту. Потім запускається вікно вибору вихідних даних для подальших розрахунків системи (рис. 4), причому їх можна ввести як самостійно, так і обрати вже закладені в БД.

Після запуску експерименту датчик починає реєструвати кути відхилення системи від положення рівноваги. Після цього можна виконати побудову діаграми затухаючих коливань системи, а потім побудувати таку ж діаграму на основі розрахунків диференційного рівняння, наведеного у роботі [2]. Усе це відображено у вікні на рис. 5.

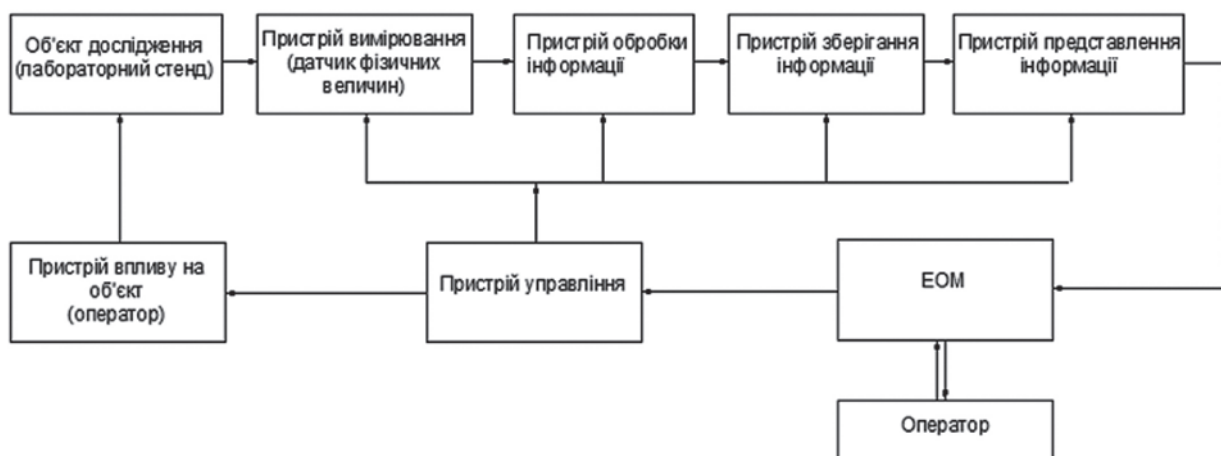


Рис. 1. Узагальнена структурна схема інформаційно-вимірювальної системи обробки даних експерименту

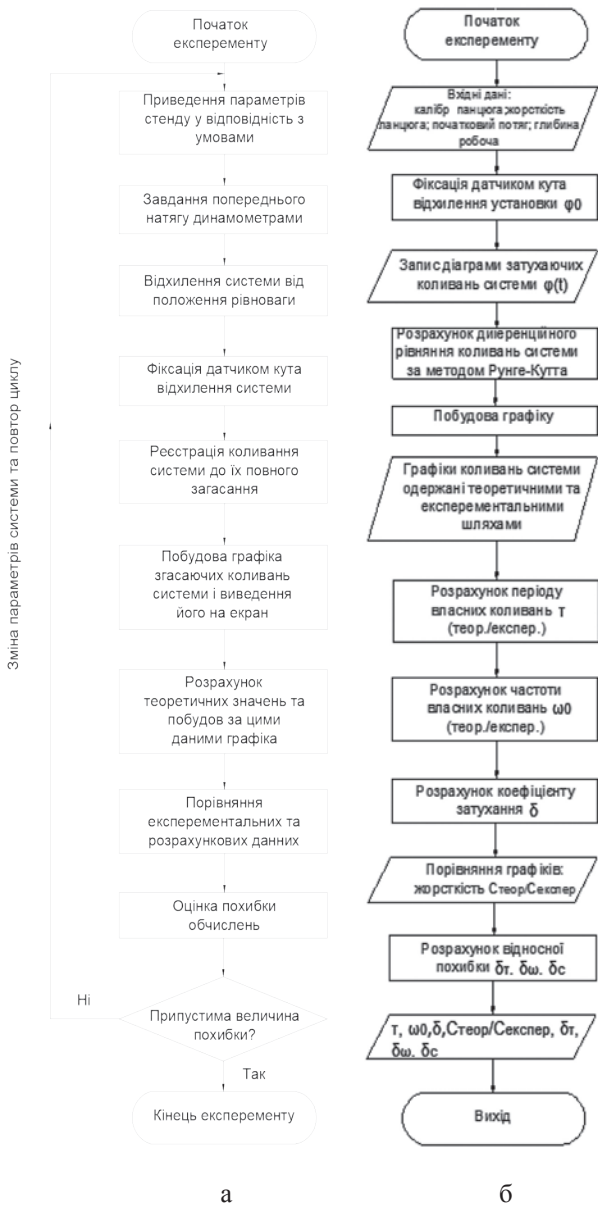


Рис. 2. Алгоритми роботи ВІС:

а – блок-схема алгоритму функціонування системи загалом; б – алгоритм роботи модулю обробки та представлення інформації



Рис. 3. Вікно головного меню системи

У наступному вікні наведено графіки, які побудовано системою експериментальним і теоретичним шляхом (рис. 6).

Далі наведено вікно системи, у якому виводяться на екран монітора основні величини, що розраховано системою на основі математичної

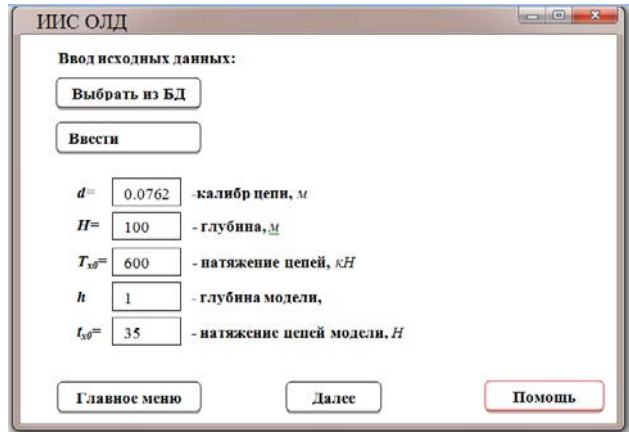


Рис. 4. Вікно вибору вихідних даних

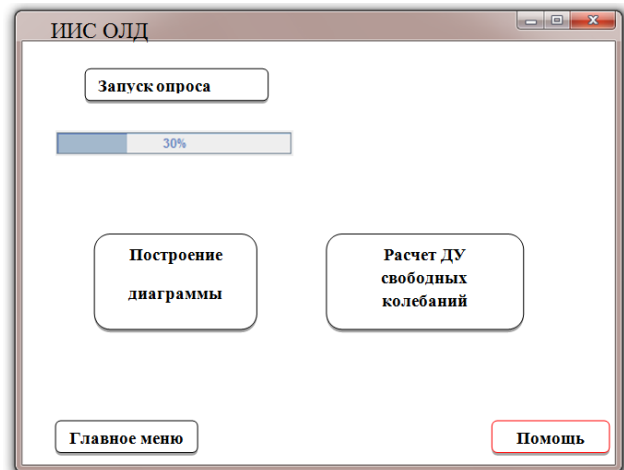


Рис. 5. Вікно основних розрахунків



Рис. 6. Вікно виводу графічних результатів роботи системи

моделі, наведеної у роботах [2; 3] (рис. 7), також відносна похибка розрахунків.

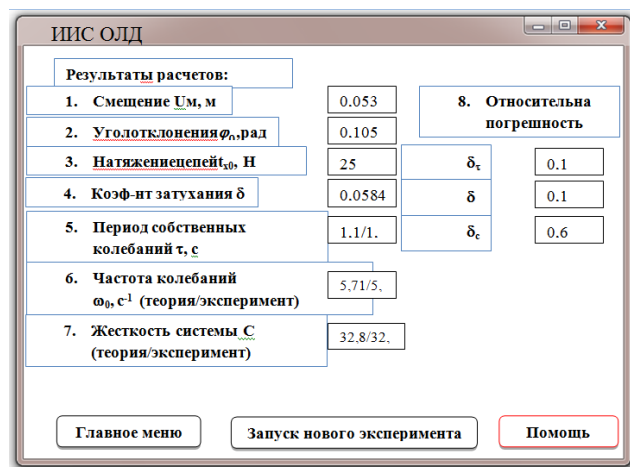


Рис. 7. Вікно виводу результатів розрахунків роботи системи

Приклади, які наведено в цій ВІС (див. рис. 3–7), порівняно з розрахунками, одержаними під час виконання експерименту, які наведено у роботі [3].

Висновки. У статті представлено розроблену інформаційно-вимірвальну систему обробки лабораторних даних, що дає змогу автоматизувати процес вимірювання, збору і обробки експериментальних даних, які одержують студенти під час виконання лабораторного практикуму з вивчення особливостей функціонування якірних систем утримання плавучих засобів.

Розроблена система дає змогу поліпшити значення таких показників: час збору і первинної обробки інформації; достовірність і точність отриманих експериментальних даних; достовірність і точність результатів обробки лабораторних даних; швидкість обробки експериментальних даних.

Список літератури:

1. Теория подобия и размерностей / П.М. Алабужев, В.Б. Геронимус, Л.М. Минкевич, Б.А. Шеховцев. Москва : Моделирование. Высшая школа, 1968. 365 с.
2. Андрейчикова А.Ю. Экспериментальное исследование динамики многоякорной системы позиционирования плавучих средств океанотехники. // *Збірник наукових праць НУК*. Миколаїв : НУК, 2010. № 4. С. 3–11.
3. Андрейчикова А.Ю. Экспериментальне дослідження динаміки багатоякірних систем позиціонування суден та об'єктів океанотехніки. *Збірник наукових праць Академії військово-морських сил імені П.С. Нахімова*. Севастополь : АВМС ім. П.С. Нахімова, 2010. Вип. 3. С. 219–226.
4. Бугаенко Б.А. Динамика судовых спускоподъемных операций. Киев : Наукова думка, 2004. 320 с.
5. Установка для исследования динамики многоякорной системы позиционирования плавучих сооружений / Б.А. Бугаенко, А.Ф. Галь, А.Ю. Андрейчикова // *Автоматизация судостроительного производства и подготовка инженерных кадров: состояние, проблемы, перспективы* : материалы Международной научно-методической конференции, 26–27 июня 2007 г. Николаев : НУК, 2007. С. 129–130.
6. Информационно-измерительные и управляющие системы : учебно-методическое пособие / В.В. Мишунин, Е.В. Корсунова, В.И. Ищенко, А.В. Курлов. Белгород : Изд-во БелГУ, 2010. 129 с.
7. Парахуда Р.Н., Литвинов Б.Я. Информационно-измерительные системы: Письменные лекции. Санкт-Петербург : СЗТУ, 2002. 74 с.
8. Пат. на корисну модель № 57969. Стенд для експериментального дослідження динаміки якірних систем позиціонування / Г.Ю. Андрейчикова, Б.А. Бугаенко, А.Ф. Галь; Україна, МПК (2011.01) B63B 21/00, B63B 35/00. НУК. – № u201009945; заявл. 10.08.10; опубл. 25.03.11 // *Промислова власність*. 2011. Бюл. № 6 (друк.). 3 с.
9. Раннев Г.Г. Измерительные информационные системы : учебник для студ. высш. учеб. заведений. Москва : Академия, 2010. 336 с.
10. Скляр Дэвид. Изучаем PHP 7. Диалектика, 2017. 464 с.

Hal A.F., Haidai H.Yu., Hrieshnov A.Yu. EXPERIMENTAL DATA PROCESSING INFORMATION AND MEASURING SYSTEM

The information and measurement system has been developed to automate the processing of experimental data in the fields of ocean engineering and marine technologies. The experimental study was carried out at a specially designed laboratory stand to study the dynamics of multi-anchor positioning systems of marine objects such as floating drilling platforms, drilling and rescue vessels and other floating structures. The system offers a multi-window GUI that is designed using the NETBeans IDE programming environment and high-level PHP programming language. It shows the operation of the program from the beginning of its launch, processing of the research results and until they are displayed on the monitor. The graphical interface of the system fully reflects the work of the system, namely the choice of source data from the database or their own input by the

user, the processing of numerical data obtained during the survey of the sensor, the construction of diagrams of damping oscillations of the system, the main characteristics calculation of the system and comparison with theoretical values, evaluation errors in the calculation of key indicators. The developed information-measuring system for processing of laboratory data allows increasing the efficiency of the information perception and the reliability of the obtained results during the performance of laboratory work, as well as to reduce the time for obtaining experimental data. The developed system allows improving the values of the following indicators: time of collection and initial processing of information; the accuracy and correctness of the experimental data obtained; reliability and accuracy of the results of laboratory data processing; experimental data processing speed. The presented information-measuring system consists of the following elements: measuring device, device for processing measuring information, device for storing information, device for presenting information in the form of loggers and indicators, device for controlling the interaction of all nodes of the system, device for impact on the object, including stimulus generators.

Key words: *experiment, automation, anchor chain, drilling rig, information-measuring system.*

Грабар О.І.

Державний університет «Житомирська політехніка»

Остроухов М.С.

Державний університет «Житомирська політехніка»

Постова С.А.

Житомирський державний університет імені Івана Франка

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОБЛІКУ ПІДПРИЄМСТВ

Об'єктом дослідження є сучасні інформаційні технології автоматизації обліку підприємства. В роботі було використано методи теорії систем та системного аналізу, теорії оптимального керування. Авторами виділено структуру системи підтримки прийняття рішень діяльності підприємства (база даних, база моделей і програмна підсистема), а також функції складових її блоків, які визначають основні технологічні операції. У статті виділено п'ять груп програмних продуктів, що використовують компанії залежно від їхнього функціонального призначення: комп'ютерні інформаційні системи, об'єктно орієнтовані системи управління базами даних, програмні продукти для бізнес-процесів, програмне забезпечення класу DocFlow (системи маршрутизації документів) і WorkFlow (системи управління потоками робіт), моделювання і аналіз поведінки бізнес-процесів організації. Авторами проведено аналіз найпоширеніших програм для обліку на підприємствах, зокрема білінгових систем. Визначено їхні основні переваги та недоліки, серед основних недоліків виокремлено такі: 1) неможливість оцінити які модулі потрібні на перших етапах використання; 2) складна тарифікація додаткових послуг і відсутність базової вартості модулів, необхідних для розгортання системи; 3) труднощі з адаптацією під конкретні вимоги; 4) документація англійською мовою; 5) труднощі із внесенням змін у саму систему тощо. В результаті автори прийшли до висновку, що добре організована і автоматизована робота зі спеціально розробленим програмним комплексом, безпосередньо пов'язана з успішною і прибутковою роботою підприємства. Тому нагальною є необхідність розробки та конструювання унікальних інформаційних систем, з урахуванням всіх поставлених вимог і завдань підприємств за допомогою вже існуючих на ринку платформ.

Ключові слова: сучасні інформаційні технології, автоматизація обліку підприємств, система підтримки прийняття рішень, система керування базами даних, білінгова система, ІС Бухгалтерія.

Постановка проблеми. Сучасні підприємства, що використовують у своїй роботі інформаційні технології, для вирішення різних задач: від оперативного управління підприємством до допомоги в прийнятті управлінських рішень. У сучасних умовах ефективно управління є цінним ресурсом організації, разом з фінансовими, матеріальними, людськими і іншими ресурсами. Найбільш дієвим способом підвищення ефективності протікання трудового процесу є його автоматизація [4, с. 28]. Бурхливий розвиток інформаційних комп'ютерних технологій, вдосконалення технічної платформи і поява принципово нових класів програмних продуктів привів в наші дні до зміни підходів до автоматизації управління виробництвом.

Динамічний розвиток світового ринку інформаційних технологій (ІТ) здійснює значний вплив

на розвиток світового господарства, розробка та втілення нових інформаційних технологій оптимізує процеси виробництва, дозволяє більш ефективно використовувати ресурси, сприяє прискоренню обміну інформацією. З огляду на це проведення аналізу використання інформаційних технологій вивчення специфіки ІТ, проблем впровадження та експлуатації є актуальним завданням [3, с. 11].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання застосування сучасних інформаційних технологій в управлінні підприємством і їх економічного обґрунтування отримали значного розвитку завдяки науковим доробкам різних фахівців. У дослідженнях приділяється значна увага аналізу структури ринку інформаційно-комунікаційних технологій, вивченню специфіки формування галузі інформаційних технологій [5, с. 80].

Світові тенденції науково-технічного розвитку, а також сучасний етап економічних зрушень в Україні диктують вітчизняним підприємствам ринкові умови ефективного функціонування та розвитку, серед яких одне з основних завдань – формування ефективної системи управління на підприємстві. Тому дослідження аспектів застосування інформаційних технологій на сучасному етапі розвитку, їх впливу на прискорення процесу виробництва, реалізації продукції, збільшенні продуктивності праці у сфері управління виробництвом, поліпшенні організації виробництва, значного скорочення оборотних коштів, адміністративних витрат, витрат виробництва є актуальною задачею і потребує подальшого дослідження [6, с. 55].

Постановка завдання. Метою статті є аналіз основних програмних засобів, що використовуються для обліку роботи підприємства та аналізу й прийняття рішень. Дослідити сучасні інформаційні технології автоматизації обліку підприємства для подальшої розробки внутрішніх модулів під певні задачі. Використати методи теорії систем та системного аналізу, теорії оптимального керування.

Методика проведення дослідження. Головною особливістю інформаційної технології підтримки прийняття рішень є якісно новий метод організації взаємодії людини і комп'ютера. Вироблення рішення, що є основною метою цієї технології, відбувається в результаті ітераційного процесу, в якому беруть участь:

- система підтримки прийняття рішень в ролі обчислювального ланки і об'єкта управління;
- людина як ланка, що задає вхідні дані і оцінює отриманий результат обчислень на комп'ютері.

Інформаційна технологія підтримки прийняття рішень може використовуватися на будь-якому рівні управління. Крім того, рішення, що приймаються на різних рівнях управління, часто повинні координуватися. Тому важливою функцією і системою, і технологій є координація осіб, які приймають рішення, як на різних рівнях управління, так і на одному рівні [7, с. 20]. Розглянемо основні компоненти структури системи підтримки прийняття рішень, а також функції складових її блоків, які визначають основні технологічні операції: база даних, база моделей і програмна підсистема, яка складається з системи керування базою даних (СКБД), системи керування базою моделей (СКБМ) і системи керування інтерфейсом між користувачем і комп'ютером. База даних відіграє

в інформаційній технології підтримки прийняття рішень (СППР) важливу роль. Дані можуть використовуватися безпосередньо користувачем для розрахунків за допомогою математичних моделей.

Система керування даними (СКБД) повинна мати такі можливості: складання комбінацій даних, одержуваних з різних джерел за допомогою використання процедур агрегування і фільтрації; швидке збільшення або виключення того чи іншого джерела даних; побудова логічної структури даних в термінах користувача; використання і маніпулювання неофіційними даними для експериментальної перевірки робочих альтернатив користувача; забезпечення повної логічної незалежності цієї бази даних від інших операційних баз даних, що функціонують в рамках фірми.

Ефективність і гнучкість інформаційної технології багато в чому залежать від характеристик інтерфейсу системи підтримки прийняття рішень. Інтерфейс визначає: мову користувача; мову повідомлень комп'ютера, що організує діалог на екрані дисплея; знання користувача. Система підтримки прийняття рішень робить необхідний аналіз і видає результати у вигляді вихідного документа встановленої форми. Значно зросла за останній час популярність візуального інтерфейсу. Управління комп'ютером за допомогою людського голосу - найпростіша і тому найбажаніша форма мови користувача. Вона ще недостатньо розроблена і тому мало популярна. Існуючі розробки вимагають від користувача серйозних обмежень: певного набору слів і виразів; спеціальної надбудови, яка враховує особливості голосу користувача; управління у вигляді дискретних команд, а не у вигляді звичайної гладкої мови. Технологія цього підходу інтенсивно вдосконалюється, і в найближчому майбутньому можна очікувати появи систем підтримки прийняття рішень, що використовують мовне введення інформації. Мова повідомлень – це те, що користувач бачить на екрані дисплея (символи, графіка, колір), дані, отримані на принтері, звукові вихідні сигнали і т.п. Важливим показником ефективності інтерфейсу є обрана форма діалогу між користувачем і системою. Нині найбільш поширеними є такі форми діалогу: запитання-відповідь режим, командний режим, режим меню, режим заповнення пропусків у виразах, запропонованих комп'ютером. Кожна форма залежно від типу завдання, особливостей користувача і прийнятого рішення може мати свої переваги і недоліки. Довгий час єдиною реалізацією мови повідомлень був видрукований чи виведений на екран дисплея звіт або повідо-

млення. Тепер з'явилася нова можливість уявлення вихідних даних – машинна графіка. Вона дає можливість створювати на екрані і папері кольорові графічні зображення в тривимірному вигляді. Використання машинної графіки значно підвищує наочність і інтерпретацію вихідних даних і стає все більш популярним в інформаційній технології підтримки прийняття рішень. За останні кілька років намітився новий напрям, що розвиває машинну графіку, – мультиплікація. Мультиплікація виявляється особливо ефективною для інтерпретації вихідних даних систем підтримки прийняття рішень, пов'язаних з моделюванням фізичних систем і об'єктів. Наприклад, система підтримки прийняття рішень, призначена для обслуговування клієнтів у банку, за допомогою мультиплікаційних моделей може реально переглянути різні варіанти організації обслуговування в залежності від потоку відвідувачів, допустимої довжини черги, кількості пунктів обслуговування і т.п.

На сьогоднішній день можна розділити призначення програмних продуктів, що використовують компанії залежно від функціонального призначення, на п'ять груп. Група 1. Комп'ютерні інформаційні системи (КІС). Основним призначенням такого типу систем є сумісність економічної інформаційної системи з автоматизованими системами управління технологічними процесами, націленою на обхват всіх основних елементів технологічного процесу, що гарантує повну безпеку даних на всіх етапах обробки інформації. Ці продукти зустрічаються під назвами: корпоративні інформаційні системи (КІС), інформаційно-аналітичні програмні продукти, автоматизовані робочі місця (АРМ), обліково-управлінські програми, ERP-продукти (Enterprise Resource Planning – планування ресурсів підприємства), MRP (Manufacturing Resource Planning – планування виробничих ресурсів підприємства). До цієї групи можна віднести такі класи програмних продуктів:

– Вітчизняні. Продукти компанії «ІС: Підприємство»; продукти корпорації «Парус»; продукти корпорації «Галактика», «Фігаро-ERP» компанії «Бізнес-консоль», «ІС: Підприємство 8 – Управління виробничим підприємством» та ін.

– Зарубіжні. SAP R/3; MS AXAPTA (Navision); BAAN; Frontstep, IPS Applications та ін.

Із цієї групи програмних продуктів найбільш актуальними, на сьогодні, є дві концепції: 1) «ІС: Підприємство», що вже стало стандартом і 2) корпоративні інформаційні системи (КІС) класу ERP

(планування ресурсів підприємства). Корпоративні інформаційні системи (КІС) класу ERP – це інформаційні системи, призначені для комплексної автоматизації всіх видів господарської діяльності підприємств, зокрема корпорацій, що складаються з групи компаній, які вимагають єдиного управління.

Група 2. Програмні продукти класу СКБД (об'єктно орієнтовані системи управління базами даних). Продукти цього класу є досить популярними на світовому ринку, оскільки вони універсальні, забезпечують багатокористувацький режим, надійне зберігання інформації, допомагають добитися досконалості на будь-якому рівні основних операцій до зв'язку з клієнтами, продажів і каналів агентів, достатньо швидко можуть бути налагоджені для забезпечення автоматизації рутинної роботи компанії. Це продукти компаній MySQL, mSQL, PostgreSQL, Oracle, Microsoft SQL Server, Access, Sybase, Ingres. Найбільш популярними, як у вітчизняній, так і у зарубіжній практиці є продукти Oracle. Як приклад, компанія-розробник навіть випустила додаток Oracle Insurance для страхових компаній, функцією якого є підтримка як інфраструктури, так і процесів, безпосередньо пов'язаних із страхуванням. Oracle Insurance забезпечує діяльність більше 2000 страхових компаній по всьому світу, надаючи наскрізне рішення, до складу якого входять засоби: 1) для управління всією страховою компанією: продажі, послуги, адміністрування, фінанси і інфраструктура компанії; 2) для оцінки, а також управління дистрибуцією і взаємодією з клієнтами, – використовує сучасні, засновані на правилах технології, що дозволяють швидко упроваджувати продукти і реагувати на зміни на ринку; 3) для забезпечення найбільш інтенсивного обміну даними між агентами/брокерами; 4) для обробки страхових претензій по полісах зі всіма інструментальними засобами, необхідними для обробки страхових вимог, оцінкою резерву та ін.

Продукти цієї групи є досить доступними на ринку інформаційних технологій у ціновій категорії. Але під час застосування здебільшого потребують від співробітників компанії додаткового знання в галузі програмування та розроблення баз даних.

Група 3. Програмні продукти для бізнес-процесів (business process management – BPM). Основні причини інтересу до бізнес-процесного підходу ведення бізнесу, на думку фахівців, такі: 1) процесний підхід здатний забезпечити компаніям поступальний розвиток, стабільний прибуток і значні конкурентні переваги; 2) фахівці на

особистому досвіді переконалися, що використання концепції бізнес-процесів дозволяє створювати ефективніші інструменти управлінського планування, обліку і контролю; 3) бізнес-процесний підхід дозволяє компаніям розробляти процесно-орієнтовані рішення, здатні об'єднувати людей, системи і данні та ін. Як приклад, програмних продуктів цієї групи, можна віднести клієнт-орієнтовану стратегію – CRM (Customer Relationship Management, Управління Взаєминами з Клієнтами). Під час реалізації стратегії CRM клієнт виконує функцію контролю, а менеджмент – інтегруючу функцію, що оптимізує бізнес-процеси основних підрозділів компанії (маркетинг, сервіс, персонал, фінанси, продажі тощо).

CRM-система – це набір програмних модулів, які дають змогу: збирати інформацію про клієнта; зберігати і обробляти цю інформацію; робити певні висновки на базі отриманої інформації, експортувати її в інші застосування, а при необхідності надавати цю інформацію в ручному вигляді клієнтам або співробітникам компанії. CRM-система відповідно до заданих параметрів може аналізувати отриману інформацію та експортувати її користувачам системи.

Уперше таке рішення для ринку СНД, наприклад, для страхових компаній запропонувала фірма WinPeak International на основі багаторічного досвіду роботи співробітників фірми на західноєвропейському ринку. Цю систему успішно впровадили та експлуатують великі страхові компанії за кордоном, такі, як Nuernberger Versicherung, Provinzial Versicherung (Німеччина) та ін.; в Україні – «ТАС», «Кредо-Класик», «Геліос» (Україна) та ін. В цілому, рішення компанії WinPeak International заслужили високу оцінку клієнтів – страхових компаній. Як недоліки використання цієї системи можна виділити те, що, по-перше, за оцінками фахівців перебудова бізнесу і підвищення ступеня його клієнт-орієнтованості розрахована на середньострокову перспективу і при правильній організації сформульовані завдання впровадження CRM-технологій можуть бути успішно поетапно вирішені за достатньо довгостроковий термін (близько 1,5 років), але за оцінками фахівців очікування себе виправдовують. По-друге, програмні продукти цього класу забезпечені незначною аналітикою діяльності компанії, що необхідно керівництву для якісного ухвалення рішень. По-третє, вартість програмних продуктів цього класу досить висока.

Група 4. Програмне забезпечення класу DocFlow (системи маршрутизації документів)

і WorkFlow (системи управління потоками робіт). Це програмні продукти для опису і моделювання бізнес-процесів. До найбільш поширених методологій моделювання бізнес-процесів відносяться (Business Process Modeling), опису потоків робіт (Work Flow Modeling) і опису потоків даних (Data Flow Modeling). У західному комп'ютерному лексиконі залежно від специфіки програмного продукту можна зустріти такі терміни, як DMS (Document Management Systems), DocFlow (системи маршрутизації документів), WorkFlow (системи управління потоками робіт), а також терміни, близькі до теми автоматизації документообігу – Document Warehousing (сховища документів) та Knowledge Management (управління знаннями). Аналіз систем цієї групи та практичний досвід у цьому напрямку дозволяє зробити висновок, що основним призначенням цієї групи програмних продуктів є: 1) Структурування документного забезпечення (процесний підхід); 2) Поетапність впровадження системи документообігу. 3) Покриття всього набору задач документного забезпечення та організація зберігання документів (комплексна автоматизація). Перевагами використання програмного продукту цієї групи є короткі строки впровадження, легкість модифікації та розвитку системи. Побудована система є відкритою і має можливість розширення з точки зору баз даних. Недоліком є висока вартість програмного забезпечення.

Група 5. Моделювання і аналіз поведінки бізнес-процесів організації. Зростання потреби якісного управління, впровадження ERP, CRM, BPR складність організаційних структур компаній, приводить до розуміння, що будь-який бізнес-процес – не просто набір функцій і структур, а процес, що володіє поведінковою складністю, – звідси проблематика реінжинірингу бізнес-процесів (BPR), що припускає фундаментальне переосмислення і радикальну перебудову бізнес-процесів компаній. На українському ринку використовуються програмні продукти, засновані на інтеграції CASE-технологій та імітаційного моделювання, найбільш поширені: BPWin – Avena; ARIS і мережеві технології; iThink – BPR. Діапазон і різноманітність такого програмного забезпечення продовжує рости, вказуючи на тенденцію стійкого попиту на нього [2, с. 21].

Крім того, варто зазначити, що у сучасному світі складно уявити собі нормальне функціонування будь-якої організації без засобів зв'язку. Зі збільшенням числа співробітників і філій кожна організація рано або пізно змушена буде

налагоджувати зв'язок (телефонія, Інтернет, мобільна, супутникова) і, відповідно, обслуговувати її. Системи, що обчислюють вартість послуг зв'язку для кожного клієнта, ще й зберігають інформацію про всі тарифи й інші вартісні характеристики, які використовуються телекомунікаційними операторами для виставлення рахунків абонентам і взаєморозрахунків з іншими поставальниками послуг, називаються білінговими; цикл виконуваних ними операцій називається білінгом. Білінгова система (БС) – це бухгалтерська система, програмне забезпечення, розроблене спеціально для телекомунікаційних операторів. Тобто мова не ведеться лише про операторів стільникового зв'язку. БС використовуються також операторами звичайного (стаціонарного) зв'язку. Ір-Телефонія – інша область застосування БС. Інтернет-Провайдери теж використовують БС, наприклад, для формування рахунків, обліку трафіку. Будь-яка БС створюється на основі певної системи керування базами даних (СКБД). Більшість БС у світі створювалося на основі СКБД Oracle. Серед інших СКБД можна виділити Sybase і Infogmіx як розраховані на більші обсяги інформації. Для прикладу, наведемо назви деяких білінгових систем: BIS, Flagship, CBOSS, Arbor, Bill-2000-prepaid. Варто згадати, що під БС може матися на увазі й апаратне забезпечення, що бере участь в організації білінгу.

Є кілька назв білінгової системи: АСР – автоматизована система розрахунків; ІБС – інформаційна білінгова система.

Виклад основного матеріалу дослідження. Проведемо аналіз найпоширеніших програм для обліку на підприємствах:

1. Ubilling – дуже мало переваг.
2. UTM5 – при використанні будуть потрібні значні витрати, навчання й витрати на технічну підтримку.
3. Nodenyplus – неможливість оцінити які модулі потрібні на перших етапах використання, складна тарифікація додаткових послуг і відсутність базової вартості модулів, необхідних для розгортання системи.
4. Carbon Soft – необхідність «добирати» модулі й блоки з інших продуктів при складних завданнях. Труднощі з адаптацією під конкретні вимоги. Необхідність навіть при первинному настроюванні, звертається до технічної підтримки розробника.
5. Expertbilling – украй важко добитися «живого» спілкування, реакція на пошту тривала, очевидна наявність великої кількості проблем із працюючими системами.

6. Abills – платна технічна підтримка зі складними правилами оплати, непроста навігація модулями програми на першому етапі покупки бази. Занадто багато супутніх оплат. АСР Lanbilling – складна структура системи викликає ускладнення при первинному виборі потрібних модулів. Ціни приводяться як орієнтир без вартості впровадження.

7. Vgbilling – зайво деталізована й заплутана політика продажу ліцензій, а також складності в спробі придбати дійсно готовий до впровадження продукт.

8. UCRM – документація англійською мовою, труднощі із внесенням змін у саму систему.

Розглянемо основні переваги й недоліки програми «ІС:Бухгалтерія». До переваг даної програми можна віднести наступне:

1. За допомогою «ІС:Бухгалтерія» можна вести всі наявні види бухгалтерського й податкового обліку, а також систем прийняття рішень.

2. Сьогодні «ІС:Бухгалтерія» є однією з найбільш універсальних бухгалтерських програм, яка може використовуватися в досить різних організаціях. Дана програма заснована на платформі «ІС:Підприємство», яку можна модифікувати під потреби конкретного бізнесу. Подібна гнучкість «ІС:Бухгалтерії» дає змогу вирішувати з її допомогою безліч різних завдань.

3. «ІС:Бухгалтерія» ідеально пристосована під українське законодавство й дозволяє легко підбудовуватися під регулярно мінливі в нашій країні закони й вимоги чиновників. Розробники «ІС» стежать за всіма змінами в податковому законодавстві й оперативно оновлюють форми звітності в програмі.

4. Програма «ІС:Бухгалтерія» (особливо її остання версія – «ІС:Бухгалтерія 8») має високу продуктивність, що дає можливість вирішувати з її допомогою найскладніші завдання.

5. Разом із програмою «ІС:Бухгалтерія» можна використовувати MS SQL Server [1; 9; 10].

На жаль, «ІС:Бухгалтерія» має й низку недоліків, до яких можна віднести таке:

1. Здебільшого, щоб «ІС:Бухгалтерія» вирішувала всі поставлені перед нею завдання, програму доводиться доопрацьовувати. Кожне підприємство унікальне, тому для ефективної його роботи, як правило, потрібні індивідуальні рішення по автоматизації бізнес-процесів (зокрема, й по автоматизації ведення бухгалтерського й податкового обліку).

2. Під час переходу на «ІС:Бухгалтерія» з іншої бухгалтерської програми можуть виникнути

серйозні ускладнення при переносі інформації з однієї бази даних в іншу (значну частину інформації нерідко доводиться переносити вручну).

3. В «1С:Бухгалтерії» складний пошук помилок, зроблених під час обробки документів.

4. Програма «1С:Бухгалтерія» досить складна в освоєнні й вимагає спеціального навчання користувачів.

Висновки. З перерахованого вище можна зробити висновок, що добре організована і автоматизована робота зі спеціально розробле-

ним програмним комплексом, безпосередньо пов'язана з успішною і прибутковою роботою підприємства. І це та частина ведення бізнесу, яку точно не варто недооцінювати і тим більше - нехтувати нею. Тому нагальною є необхідність розробки та конструювань унікальних інформаційних систем, з урахуванням всіх поставлених вимог і завдань підприємств за допомогою вже існуючих на ринку платформ. Все це дає величезне поле можливостей для подальших розробок індивідуальних модулів.

Список літератури:

1. Абрашина Е., Емельянов И. Использование механизма расширенной аналитики в 1С:Управление производственным предприятием. Москва : 1С-Паблишинг, 2016. – 184 с.
2. Коберн А. Современные методы описания функциональных требований к системам. Москва : Лори, 2002. 263 с.
3. Економічна інформатика : підручник / Макарова М., Гаркуша С., Білоусько Т., Гаркуша О. ; за заг. ред. д.е.н., проф. М. Макарової. Суми : Університетська книга, 2011. 480 с.
4. Матвієнко О., Цивін М. Інформаційний менеджмент : навч. посібник. Київ, 2010. 170 с.
5. Огуй Н. Характеристика інформаційних технологій і систем : навч. посібник. Полтава, 2011. 120 с.
6. Плескач В., Затонацька Т. Інформаційні системи і технології на підприємствах. Київ: Знання, 2011. 718 с.
7. Талалаєв А. Структура і основні типи інформаційних систем у менеджменті: методичні рекомендації до вивчення дисципліни. 2012. 220 с.
8. Труфанов С. Информационные системы управления бизнеспроцессами предприятия. URL: <http://online.rae.ru/466>.
9. Филатова В. 1С для начинающих. Понятный самоучитель. Москва : Издательство «Питер», 2016. 256 с.
10. Практикум по программе «1С:Упрощенка 8»/ Д. Чистов, С. Харитонов. Москва : 1С-Паблишинг, 2015. 436 с.

Grabar O.I., Ostrouhov M.S., Postova S.A. THE ANALYSIS OF MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES OF ENTERPRISE ACCOUNTING AUTOMATION

The object of research is modern information technology for enterprise accounting automation. In work methods of the theory of systems and system analysis, the theory of optimal control were used. The authors highlighted the structure of the decision support system for the enterprise (database, model database and software subsystem), as well as the functions of its components, which determine the basic technological operations. The article identifies five groups of software products that use companies depending on their functional purpose: computer information systems, object-oriented database management systems, software products for business processes, software of the DocFlow class (document routing systems) and WorkFlow (flow control systems works), modeling and analysis of the behavior of the organization's business processes. The authors analyzed the most common programs for accounting at enterprises, including billing systems. Their main advantages and disadvantages are identified, among the main disadvantages are highlighted: 1) the inability to assess which modules are needed in the first stages of use; 2) the complex pricing of additional services and the lack of the base cost of the modules necessary for the deployment of the system; 3) difficulties with adaptation to specific requirements; 4) documentation in English; 5) difficulties with making changes to the system itself and the like. As a result, the authors came to the conclusion that a well-organized and automated work with a specially developed software package is directly related to the successful and profitable work of the enterprise. Therefore, the urgent need is the development and construction of unique information systems, taking into account all the requirements and tasks of enterprises using existing platforms on the market.

Key words: modern information technologies, automation of business accounting, decision support system, database management system, billing system, 1С Accounting.

Жученко О.А.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ВУГЛЕГРАФІТОВИМ ВИРОБНИЦТВОМ

Виробництво вуглецевих виробів відіграє важливу роль, оскільки продукція цього виробництва широко використовується в різних визначальних для країни галузях промисловості, технологічні процеси яких нерозривно пов'язані з необхідністю використання електротермічних процесів. Зокрема, до таких виробництв належать підприємства чорної та кольорової металургії, машинобудування, хімічної промисловості та інші.

Виробництво вуглецевих виробів є значною мірою ресурсо- та енергозатратним. Саме тому підвищення ефективності цього виробництва є актуальною науково-практичною проблемою, особливо в сучасних умовах постійного зростання вартості енергоносіїв.

Дотепер питанням підвищення ефективності вуглеграфітового виробництва шляхом створення системи керування ним приділялося не досить уваги.

Метою роботи є розроблення загальної структури системи керування вуглеграфітовим виробництвом, яка б забезпечувала підвищення його ефективності шляхом функціонування основних енергоємних технологічних процесів у режимах ресурсо- та енергозбереження.

Система керування вуглеграфітовим виробництвом, що пропонується, складається з 2-х рівнів. На верхньому рівні розв'язується завдання календарного планування вуглеграфітового виробництва. Завдання верхнього рівня системи керування вуглеграфітового виробництва математично включає в себе критерій оптимальності разом з обмеженнями. Це завдання являє собою завдання цілочисельного нелінійного програмування, яке можна розв'язати відомими методами, використовуючи стандартне програмне забезпечення.

Декомпозиція загального завдання оптимізації вуглеграфітового виробництва показала доцільність використання питомих експлуатаційних затрат як критерію керування на нижньому рівні загальної системи – системи керування окремими технологічними процесами. Сформульовано шляхи забезпечення мінімізації вибраного критерію керування з урахуванням обмежень кожного розглядуваного технологічного процесу.

Ключові слова: вуглеграфітове виробництво, декомпозиція, система керування, календарне планування, критерій оптимальності.

Постановка проблеми. У народному господарстві України виробництво вуглецевих виробів відіграє важливу роль, оскільки продукція цього виробництва широко використовується в різних визначальних для країни галузях промисловості, технологічні процеси яких нерозривно пов'язані з необхідністю використання електротермічних процесів. Зокрема, до таких виробництв належать підприємства чорної та кольорової металургії, машинобудування, хімічної промисловості та інші.

Виробництво вуглецевих виробів є значною мірою ресурсо- та енергозатратним. Саме тому підвищення ефективності цього виробництва є актуальною науково-практичною проблемою, особливо в сучасних умовах постійного зростання вартості енергоносіїв.

Подальше підвищення ефективності вуглеграфітового виробництва пов'язане з оператив-

ним визначенням і реалізацією у реальному часі оптимальних ресурсо- та енергозощаджуючих режимів роботи технологічного обладнання. Це завдання може бути розв'язано тільки шляхом створення високоефективних систем керування технологічними процесами цього виробництва на основі їхніх математичних моделей.

Виробництво графітової продукції – складне, багатостадійне та дуже енергоємне. В результаті проведеного у роботі [1] системного аналізу технологічного комплексу вуглеграфітового виробництва як складної динамічної системи визначено технологічні процеси, сумарне споживання енергоресурсів якими фактично визначають енергоспоживання всього виробництва. До таких технологічних процесів віднесено: прожарювання вуглецевих матеріалів у печі шахтного типу, формування вуглецевих виробів, їхнє випалювання та графітування.

Постановка завдання. На жаль, дотепер питанням підвищення ефективності вуглеграфітового виробництва шляхом створення системи керування ним приділялося не досить уваги. Дослідження вітчизняних науковців, представлені у роботах [2–6], спрямовані на пошуки ефективних регламентів технологічних процесів. Роботи [7; 8] присвячені розв’язанню завдань електротехнічного стану печей графітування. У роботах [9; 10] розглядається тільки процес графітування.

Відомі публікації іноземних фахівців ближнього зарубіжжя [11; 12], стосуються або виключно технології вуглеграфітового виробництва, або його окремих технологічних процесів, або навіть окремих питань, які можуть бути пов’язані з цим виробництвом.

Ще гірша ситуація з дослідженнями іноземних науковців дальнього зарубіжжя. Доступні публікації взагалі не розглядають вуглеграфітове

виробництво як таке, а тільки окремі наукові питання, які можна не напряду зв’язати з ним. До таких публікацій можна віднести роботи [13; 14].

Як видно з цього короткого аналізу, наявні сьогодні системи керування основними енергоємними технологічними процесами вуглеграфітового виробництва не відповідають сучасним завданням підвищення ефективності останнього, а, значить, потребують або їхнього вдосконалення або розроблення нових.

Отже, метою статті є розроблення загальної структури системи керування вуглеграфітовим виробництвом, яка б забезпечувала підвищення його ефективності шляхом функціонування основних енергоємних технологічних процесів у режимах ресурсо- та енергозбереження.

Система керування

Система керування вуглеграфітовим виробництвом, що пропонується, складається з 2-х рівнів (рис. 1).

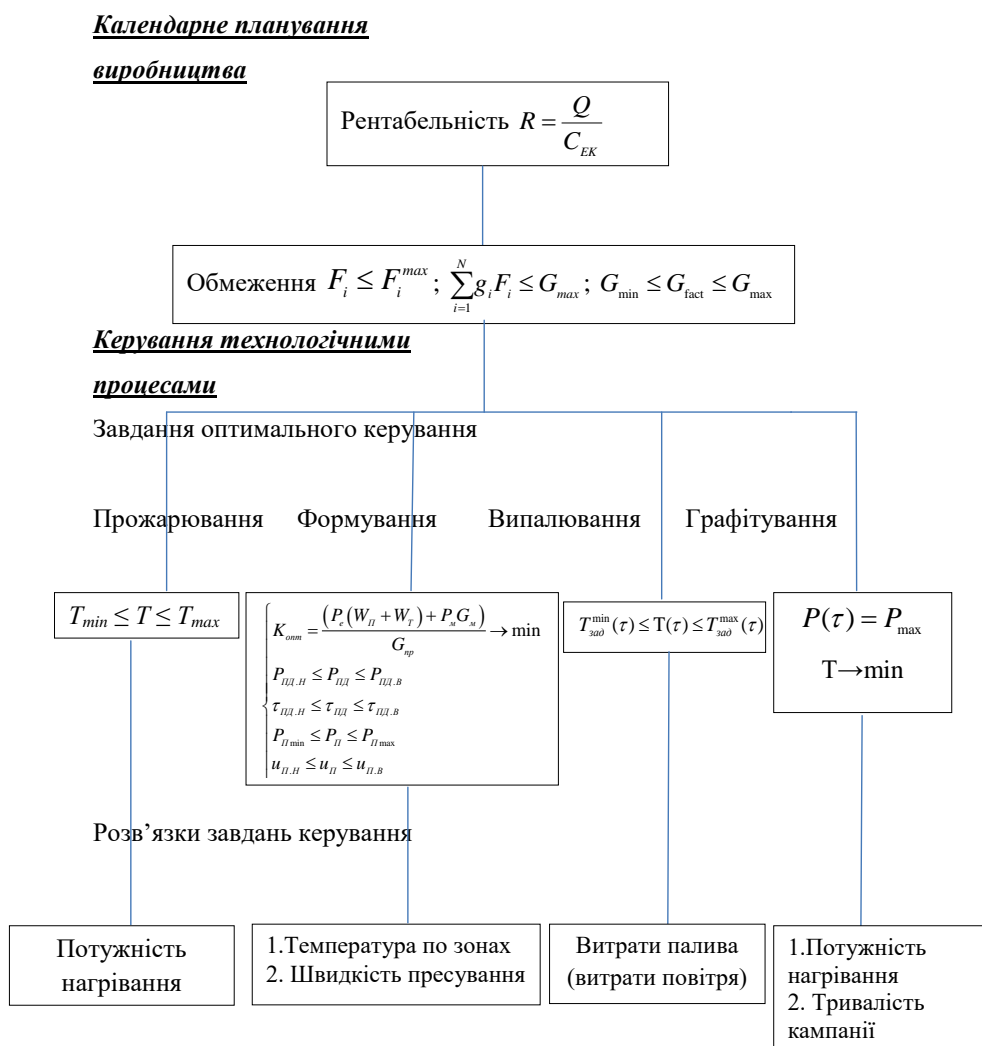


Рис. 1. Структурна схема системи керування вуглеграфітового виробництва

На верхньому рівні розв'язується завдання календарного планування вуглеграфітового виробництва. Для розв'язання поставленого завдання перш за все треба сформулювати загальний критерій оптимальності, на основі якого визначити завдання керування для кожного з розглянутих технологічних процесів.

У роботах [1; 15] проведено аналіз техніко-економічних показників, які можуть бути використані як критерії оптимальності вуглеграфітового виробництва. Як такі розглядалися продуктивність і питома собівартість виробництва, питома собівартість готової продукції, прибуток виробництва. За результатами проведеного аналізу обґрунтовано вибір модифікованого показника рентабельності як критерію оптимальності вуглеграфітового виробництва:

$$R = \frac{Q}{C_{EK}}, \quad (1)$$

де Q – прибуток від реалізації продукції; C_{EK} – вартість експлуатаційних витрат.

Прибуток від реалізації продукції розраховується так:

$$Q = \sum_{i=1}^N a_i F_i - \sum_{j=1}^M b_j S_j - Q_E, \quad (2)$$

де a_i та F_i – ціна одиниці та кількість одиниць i -го виду реалізованої продукції відповідно; b_j та S_j відповідно – ціна одиниці та кількість одиниць j -го виду сировини, що використовується у виробництві; N та M – кількість видів реалізованої продукції та сировини відповідно; Q_E – експлуатаційні витрати на виробництво.

Експлуатаційні витрати C_{EK} визначаються енерго- M та праце- L витратами на ведення технологічних процесів виробництва:

$$C_{EK} = M + L. \quad (3)$$

Енерговитрати на виробництво складаються з енерговитрат на кожну його ділянку:

$$M = \sum_{j=1}^S m_j,$$

де m_j – енерговитрати j -ї ділянки виробництва; S – кількість ділянок виробництва.

Працевитрати на ведення технологічних процесів виробництва визначаються так:

$$L = L_1 + L_2 + L_3,$$

де L_1 – прямі працевитрати, L_2 – цехові витрати (зарплатня цехового персоналу, амортизаційні витрати, утримання виробничих приміщень тощо); L_3 – загальнозаводські витрати (зарплатня загальнозаводського персоналу, утримання заводських лабораторій тощо).

Працевитрати L не залежать від технологічних режимів виробничих процесів і практично є сталою величиною, що дає можливість не враховувати їх у процесі визначення оптимальних режимів роботи.

Собівартість експлуатаційних витрат C_{EK} розраховується за формулою:

$$C_{EK} = \sum_{i=1}^N c_i F_i,$$

де c_i – собівартість одиниці i -го виду продукції.

Значення c_i в умовах виробництва, як правило, не є відомою величиною. Тому у [1; 15] пропонуються методики розрахунку цієї величини.

Під час розв'язання завдання календарного виробництва потрібно враховувати обмеження на змінні, що оптимізуються. На виробництві вуглеграфітових виробів обмеження можуть бути сформульовані по-різному.

Так, обмеження можуть бути виражені щодо кількості кожного виду продукції, що виробляється:

$$F_i \leq F_i^{max}, \quad (4)$$

де F_i^{max} – максимальна продуктивність виробництва i -го виду продукції.

Обмеження, що інтегрує в собі всі види продукції, може бути сформульоване так:

$$\sum_{i=1}^N g_i F_i \leq G_{max}, \quad (5)$$

де g_i – вага i -го виду продукції; G_{max} – максимальна потужність виробництва, виражена в одиницях ваги.

Отже, завдання верхнього рівня системи керування вуглеграфітового виробництва математично включає в себе критерій оптимальності (1) разом з обмеженнями (4) і (5). Це завдання являє собою завдання цілочисельного нелінійного програмування, яке можна розв'язати відомими методами [16; 17], використовуючи стандартне програмне забезпечення [18].

Як показано в [1; 15], це завдання нелінійного програмування також може бути розв'язано у 2 етапи з використанням методів [19; 20] та програмних засобів [18] лінійного програмування.

Крім названих вище обмежень, потрібно враховувати обмеження на якісні показники вуглеграфітових виробів. Ці обмеження в загальному вигляді можуть бути сформульовані так:

$$G_{\min} \leq G_{\text{факт}} \leq G_{\max},$$

де G_{\min} , $G_{\text{факт}}$, G_{\max} – вектори відповідно мінімально допустимих, фактичних і максимально допустимих значень показників якості вуглеграфітових виробів. До складу цих векторів можуть входити [12; 21; 22]: для вуглецевих блоків – густина, пористість, межа міцності на стискання, температурний коефіцієнт лінійного розширення, коефіцієнт теплопровідності; для графітових електродів – об’ємна густина, вміст зольних домішок, питомий електричний опір, термічний коефіцієнт лінійного розширення, межа механічної міцності на вигин, модуль пружності Юнга.

Розв’язання завдання календарного планування вуглеграфітового виробництва повинно відбуватися перед початком чергового календарного періоду. Крім того, потреба в повторному розв’язанні цього завдання може виникнути у разі непланової або аварійної зупинки виробництва, наприклад у разі відключення енергопостачання.

Сформулювавши загальне завдання оптимізації вуглеграфітового виробництва, надалі потрібно виконати декомпозицію цього завдання, сформулювавши завдання керування для нижнього рівня загальної системи керування, тобто поставити завдання для систем керування кожним окремим технологічним процесом, що розглядається.

Для максимізації вибраного загального критерію оптимізації вуглеграфітового виробництва (1) потрібно, з одного боку, збільшувати чисельник, а з іншого – зменшувати знаменник цього виразу. Враховуючи, що ціна продукції визначається поточною ринковою ситуацією і ніяк не залежить від режимів роботи технологічних процесів виробництва, завдання максимізації критерію (1) може бути розв’язане виключно завдяки таким його складникам, як продуктивність та експлуатаційні витрати. Показником, який включає в себе як продуктивність технологічного процесу, так і експлуатаційні витрати на його ведення є питома собівартість. Тому саме цей показник доцільно вибрати як критерій оптимальності кожного з розглядуваних технологічних процесів.

У дослідженнях [1; 15] показано, як завдання мінімізації питомої собівартості технологічного процесу трансформується для кожного з них.

Для процесу прожарювання вуглецевої сировини завдання керування виглядає так:

$$T_{\min} \leq T \leq T_{\max}, \quad (6)$$

де T – поточне значення температури термообробки в характерній точці; T_{\min} , T_{\max} – його мінімально та максимально допустиме значення відповідно.

Для розв’язання завдання (6) потрібно визначити потужність нагрівальних пристроїв, забезпечивши значення температури у межах заданих обмежень. Для процесу прожарювання ці обмеження досить жорсткі [23].

Для процесу формування вуглецевих виробів завдання керування полягає в забезпеченні потрібного температурного режиму в зонах і розрахункової швидкості пресування залежно від режиму роботи [1; 24].

Заданий температурний режим може бути забезпечений системою керування температурою в контрольованих точках, де є технічна можливість встановлення датчиків температури, або всередині вуглецевої маси, використовуючи як датчик температури математичну модель, запропоновану у [1; 25]. Така система керування може бути побудована на стандартних ПІ- або ПІД-регуляторах.

Що стосується швидкості пресування, то, на думку багатьох дослідників [26; 27], вона є ключовою змінною для цього процесу і характеризується нелінійністю та нестационарністю. Враховуючи, що для кожного виду вуглецевої продукції процес формування виробів є фактично циклічним, керування ним доцільно здійснювати, використовуючи метод ітеративного навчання [28].

Для мінімізації питомої собівартості процесу випалювання вуглецевих виробів в умовах забезпечення заданих показників якості виробів після випалювання потрібно жорстко дотримуватись встановленого температурного режиму для кожної стадії процесу випалювання [1; 15; 29], тобто:

$$T_{\text{зад}}^{\min}(\tau) \leq T(\tau) \leq T_{\text{зад}}^{\max}(\tau), \quad (7)$$

де $T_{\text{зад}}^{\min}(\tau)$, $T_{\text{зад}}^{\max}(\tau)$ – вектори заданих мінімальних і максимальних температур; $T(\tau)$ – вектор поточної температури випалювання; τ – поточний час.

Вектор $T(\tau)$ має таку структуру:

$$T(\tau) = \begin{bmatrix} T_1(\tau) \\ T_2(\tau) \\ \dots \\ T_l(\tau) \end{bmatrix},$$

де T_1, T_2, T_i – температури в характерних точках процесу.

Відповідну структуру мають і вектори $T_{зад}^{min}(\tau)$ та $T_{зад}^{max}(\tau)$.

Завдання забезпечення виконання умови (7) не є тривіальним, враховуючи взаємний вплив температур у різних точках і різних камерах процесу випалювання в багатокамерних печах.

Експлуатаційні витрати на процес графітування визначається так [1; 15; 30]:

$$C_{ЕК} = \int_0^T P(\tau) d\tau = \int_0^T I(\tau)U(\tau) d\tau, \quad (8)$$

де T – тривалість процесу графітування; $P(\tau)$, $I(\tau)$, $U(\tau)$ – відповідно потужність, напруга та сила електричного струму залежно від поточного часу τ .

У формулі (8) відсутні такі складники експлуатаційних витрат, як витрати на охолодження печі, витрати на завантаження та розвантаження, у зв'язку з тим, що вони незрівнянно менші за витрати електроенергії безпосередньо на графітування, які входять у формулу (8).

В умовах заданого режиму підведення потужності $P(\tau)$ завдання мінімізації собівартості процесу графітування $C_{ЕК} \rightarrow \min$ рівнозначне завданню мінімізації тривалості кампанії графітування $T \rightarrow \min$.

Отже, для штатного режиму роботи завдання оптимального керування процесом графітування може бути сформульована у вигляді:

$$T \rightarrow \min$$

за обмежень:

$$U_{\min}(\tau) \leq U(\tau) \leq U_{\max},$$

$$I_{\min} I(\tau) \leq I_{\max},$$

$$\beta \geq \beta_{зад},$$

де U_{\min} , U_{\max} – відповідно мінімально та максимально допустимі напруга; I_{\min} та I_{\max} – мінімальна та максимальна сила електричного струму; $\beta_{зад}$ – задане значення ступеня графітування виробів, β – ступінь графітування в характерній точці.

Висновки. У статті запропоновано нову систему керування вуглеграфітовим виробництвом, основною особливістю якої є системний підхід до останнього як до складної динамічної системи.

Система керування складається із двох рівнів. На першому розв'язується завдання календарного планування вуглеграфітового виробництва загалом. Як критерій оптимальності використовується модифікований показник рентабельності виробництва.

Декомпозиція загального завдання оптимізації вуглеграфітового виробництва показала доцільність використання питомих експлуатаційних затрат як критерію керування на нижньому рівні загальної системи – системи керування окремими технологічними процесами. Сформульовано шляхи забезпечення мінімізації вибраного критерію керування з урахуванням обмежень кожного розглядуваного технологічного процесу.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на синтез систем керування окремими технологічними процесами з урахуванням завдань, сформульованих у статті.

Список літератури:

1. Жученко О.А., Коротинський А.П., Хібеба М.Г. Математичне моделювання енергоємних технологічних процесів вуглеграфітового виробництва : монографія. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 344 с. : іл. 300 прим.
2. Теоретичні та експериментальні дослідження теплоелектричного та механічного стану високотемпературних агрегатів : монографія / А.Я. Карвацький, Є.М. Панов, С.В. Кутузов та ін. Київ : НТУУ «КПІ», 2012. 352 с. : іл. Бібліогр.: С. 328–347. 300 пр.
3. Обжиг и пуск алюминиевых электролизеров : монография / Б.С. Громов, Е.Н. Панов, М.Ф. Боженко и др. Москва : Изд. дом «Руда и металлы», 2001. 336 с.
4. Моделювання графітування нафтового коксу в шахтній електропечі неперервної дії / Є.М. Панов, А.Я. Карвацький, С.В. Кутузов, С.В. Лелека та ін. *Вісник НТУУ «КПІ». Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження* : зб. наук. праць. 2011. №1 (7). С. 48–52.
5. Закономірності процесу високотемпературного оброблення сипучих вуглецевих матеріалів в електричних печах : монографія / Т.В. Лазарев та інші ; МОН України, НТУУ «КПІ». Київ : НТУУ «КПІ», 2016. 153 с.
6. Лелека С.В. Теплоэлектрическое состояние печей графитирования Ачесона : монография ; Министерство образования и науки Украины, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт». Киев : НТУУ «КПІ», 2014. 237 с.
7. Ярымбаш Д.С. Анализ электромагнитных и термоэлектрических процессов в печах Ачесона. *Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит*, Харків, 2014. № 6. С. 11–21.

8. Яримбаш Д.С. Системи живлення та режими потужних технологічних комплексів електропечей опору прямого нагріву : дис. ... докт. техн. наук : 05.09.03. Кременчук, 2015.
9. Коржик М.В., Кутузов С.В. Модель температурного поля печі гравітації. *Наукові вісти НТУУ «КПІ»*. 2007. № 1. С. 17–23.
10. Коржик М.В. Математичне моделювання та автоматизоване керування процесом гравітації в печах Ачесона : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.07 – «Автоматизація процесів керування». Київ, 2010.
11. Чалых Е.Ф. Обжиг электродов. Москва : Металлургия, 1981. 116 с.
12. Производство электродной продукции / А.К. Санников, А.Б. Сомов, В.В. Ключников и др. Москва : Металлургия, 1985. 129 с. Библиогр. : 21 назв.
13. Торнер Р.В. Теоретические основы переработки полимеров. Москва : Химия, 1977. 464 с.
14. Раувендаль К. Экструзия полимеров. Санкт-Петербург : Профессия, 2006. 768 с.
15. Zhuchenko O.A. Statement of the optimization problem of carbon products production. *Міжнародний науково-виробничий журнал «Автоматизація технологічних і бізнес-процесів»*. 2016. Vol. 8. Issue 2/2016. С. 39–43.
16. Vox George E.P., Jenkins Gwilym M. Time series analysis, forecasting and control. Holden-day, Inc., 1976.
17. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления: оценивание параметров и состояния. Москва : Мир, 1975. 683 с.
18. Gilat, Amos (2004). MATLAB: An Introduction with Applications 2nd Edition. John Wiley & Sons. ISBN 978-0-471-69420-5.
19. Bertsekas, Dimitri P. (1999). Nonlinear Programing (Second ed.). Cambridge, MA. : Athena Scientific. ISBN 1-886529-00-0.
20. Ruszczyński, Andrzej (2006). Nonlinear Optimization. Princeton, NJ : Princeton University Press. pp. xii+454. ISBN 978-0691119151.
21. Чалых Е.Ф. Технология и оборудование электродных и электроугольных предприятий. Москва : Металлургия, 1972. 432 с.
22. ДСТУ 4494:2005 Електроди зграфітовані та ніпелі до них. Загальні технічні умови. Зі зміною № 1 (ІЕС 60239:1997, NEQ).
23. Жученко О.А., Хібеба О.А. Постановка задачі керування електрокальцином у виробництві вуглецевих виробів. *Вісник приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки*. 2017. №34. С. 148–154.
24. Жученко О.А., Хібеба О.А. Постановка задачі керування процесом формування у виробництві вуглецевих виробів. *Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник «Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин»*. 2017. № 47. Ч. 2. Кропивницький : ЦНТУ. С. 81–88.
25. Жученко О.А., Хібеба О.А. Розробка спрощеної математичної моделі процесу формування вуглецевих виробів. *Технологічний аудит та резерви виробництва*. 2016. № 5/3(31). С. 16–22.
26. Rolling friction in the dynamic simulation of sandpile formation / Y.C. Zhou, B.D. Wright, R.Y. Yang, B.H. Xu, A.B. Yu // *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 1999. № 269 (2-4). P. 536–553.
27. Mitsoulis, E. Flows of Viscoplastic Materials: Models and Computations. *Rheology Reviews*. 2007. P. 135–178.
28. Moore, K.L. Iterative Learning Control: An Expository Overview. *Applied and Computational Control, Signals, and Circuits*. Vol. 1. No. 1. 1999. P. 151–214.
29. Жученко О.А., Коротинський А.П. Постановка задачі керування процесом випалювання у виробництві вуглецевих виробів. *Гірничий вісник. Науково-технічний збірник. ДВНЗ «Криворізький національний університет»*. 2017. № 102. С. 174–179.
30. Жученко О.А., Цапар В.С. Постановка задачі оптимального керування процесом графітування вуглецевих виробів. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія : Технічні науки*. 2018. Т. 29 (68). № 2. С. 121–127.

Zhuchenko O.A. CONTROL SYSTEM OF CARBON PRODUCTION

The production of carbon products plays an important role, since the production of this production is widely used in various country-specific industries, the technological processes of which are inextricably linked to the need to use electrothermal processes. In particular, such industries include enterprises of ferrous and non-ferrous metallurgy, mechanical engineering, chemical industry and others.

The production of carbon products is largely resource- and energy-intensive. That is why improving the efficiency of this production is an urgent scientific and practical problem, especially in the current conditions of constant growth of energy costs.

Until now, the issue of improving the efficiency of carbon graphite production by creating a management system has received little attention.

The purpose of this work is to develop a general structure of the control system for coal production, which would ensure its efficiency through the operation of basic energy-intensive technological processes in the modes of resource and energy saving.

The offered carbon management system is offered in 2 levels. At the top level, the task of scheduling carbon production is solved. The task of top-level management of carbon production graphically includes the optimality criterion, together with the constraints. This task is a nonlinear integer programming problem that can be solved using known methods using standard software.

Decomposition of the overall task of optimizing carbon production has shown the feasibility of using unit operating costs as a criterion for control at the lower level of the overall system - the control system of individual technological processes. Ways of minimizing the selected control criterion are formulated, taking into account the limitations of each technological process under consideration.

Key words: *carbon production, decomposition, control system, scheduling, optimality criterion.*

Круглик В.С.

Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького

Єремєєв В.С.

Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького

Прокоф'єв Є.Г.

Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького

Сердюк І.М.

Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького

Тригуб І.Є.

Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ CRM-СИСТЕМИ ДЛЯ МІЖНАРОДНОГО ТУРОПЕРАТОРА

У роботі актуалізується необхідність розробки інтернет-порталу (CRM-системи) для міжнародного туроператора. Робота містить глибокий аналіз теоретичних відомостей про особливості розробки інтернет-ресурсів туристичного спрямування. Автори пропонують свою концепцію архітектури онлайн порталу електронного туризму, наголошують на тому, що ця концепція допомагає у процесі туристичного обслуговування і розроблена з метою збільшення рівня його якості.

Автори відображають характеристики кожної з існуючих CRM, аналізують їх позитивні та негативні аспекти, роблять висновки про їх доцільність та якість. Окрему увагу приділено найпопулярнішим сучасним CRM-системам: Бітрікс24, атоCRM та «Мегаплан». Автори розкривають проведений порівняльний аналіз визначених CRM-систем, на його основі визначають Бітрікс24 як найкращу CRM-систему для розробки CRM-системи міжнародного туроператора.

Розробники наводять проведений аналіз потреб, яких вимагає туристичний бізнес на інформатизовані системи, визначають задачі, які має виконувати розроблювальна система, та розкривають етапи розробки CRM-системи для міжнародного туроператора. У своїй роботі автори визначають, що впровадження розробленої системи сприяє отриманню більш раціональних варіантів вирішення управлінських завдань за рахунок впровадження математичних методів та інтелектуальних систем.

Вони наголошують, що завдяки розробленій системі створюються умови для економії грошових ресурсів шляхом звільнення працівників від рутинної роботи за рахунок її автоматизації та забезпечення достовірності інформації, за допомогою заміни паперових носіїв даних на магнітні та оптичні, що призводить до більш раціональної організації переробки інформації на комп'ютері і зниження обсягів паперових документів.

Ключові слова: *crm-система, лід, ЗУП, AD, webhooks, POST, портал.*

Постановка проблеми. Згідно даних Державної служби статистики України [4] станом на 2018 рік в Україні було реалізовано 1 618 703 туристичних путівки, що вказує на значний попит серед українського населення. Порівняно з попередніми роками спостерігається значне зростання кількості туристів, яких обслуговують туроператори та турагенти [5]. У зв'язку з цим перед ними постає питання, яким чином можна залучити ще більшу кількість клієнтів, зацікавити їх і зменшити час на обробку даних замовника.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що у різні часи проблематику інформатизації та комп'ютеризації виробничих процесів вивчали багато вчених, серед них К.В. Колеснікова, В.О. Вайсман, А.С. Татаринцева, А.Н. Олейник, А.А. Жолобов, П.М. Павленко, О.В. Адамик, С.В. Сисюк, О.В. Шипунова, Ю.В. Єльнікова та інші.

Постановка завдання. Завданням статті є відображення результатів розробки CRM системи для міжнародної компанії туроператора.

Виклад основного матеріалу дослідження. Все більше українців віддають перевагу самостійному плануванню відпочинку, не вдаючись до послуг туроператорів. Для бронювання готелів, квитків та інших послуг вони використовують онлайн-сервіси, які пропонують варіанти з усього світу [1]. Автори проводять аналіз переваг і недоліків такого підходу.

Переваги: замовлення туру через інтернет істотно економить час; доставка туру онлайн позбавляє зайвого клопоту; компанії, які займаються продажем турів онлайн і хочуть стати лідерами на ринку цих послуг, вважають за краще не ризикувати своєю репутацією, тому дотримуються всіх норм, підтримуючи високий рівень обслуговування.

Недоліки: звичайний користувач, який вперше замовляє тур на сайті туроператора, може загубитися у різноманітні пропозиції і їх варіації; бронювати готелі через інтернет може бути небезпечно.

З 2015 по 2018 рік кількість туристів, яких обслуговували туроператори та турагенти, демонструвала непогану динаміку – приріст складав близько 20,78% на рік [2]. Результати опитування показують, що основними користувачами туристичних вебсайтів є студенти університетів (44,8%) і професіонали (15,2%). CNNIC [3] надає подібні результати для загальних користувачів інтернету, зокрема в 19 основних видах діяльності найбільшу частку складають студенти (19,3%) та IT-фахівці (14,9%).

Як і багато інших ринків, ринок послуг туроператорів є сезонним, а активність на ньому залежить від пори року. У більшості громадян України відпустки припадають на літній сезон, але певна частина населення бере відпустки взимку і віддає перевагу активним зимовим видам відпочинку. За кількістю реалізованих туроператорами туристичних путівок у 2018 році лідирує Київ – на столицю припадає близько 76,63% усіх замовлень, ще 16,72% припадає на Львівську область, на Івано-Франківську область – 2,81%. Інші регіони України не займають більше 2% [5]. Однією з причин зсуву попиту на туристичні путівки в бік великих міст є міграція молоді, а також економічна забезпеченість жителів регіону.

Концепція архітектури онлайн порталу електронного туризму (рис. 1), яка допомагає у процесі туристичного обслуговування, розроблена з метою збільшення рівня якості обслуговування та може надавати ряд послуг: маркетинг, організація подорожей і консультації щодо подорожей, бізнес у готелях, огляд, розподіл, оплата та обслу-

говування. Така архітектура дасть змогу багатьом туристичним агенціям легко побудувати офісні системи без паперу, а також скоротити час відгуку на котирування з документами.

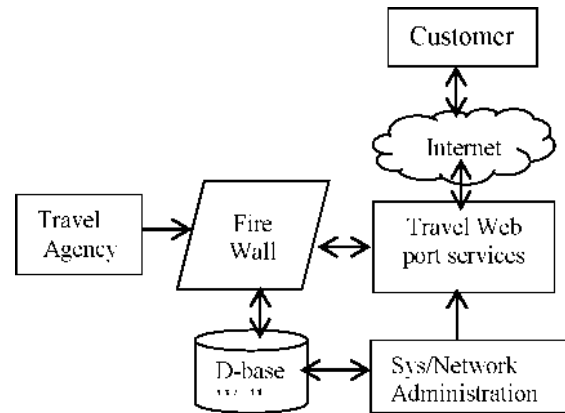


Рис. 1. Структура онлайн-порталу туроператора

Для реалізації поставлених можливостей виникає потреба у розподілі процесу розробки на структурні блоки [8, с. 312]:

1. Замовник – клієнт, який використовує спеціальні засоби для доступу до інформації.
2. Веб-портал – це сервіс хостингу на рівні підприємства, який цілодобово обслуговує туристичних агентів по всьому світу. Це забезпечує докладання розумних зусиль для перевірки точності, послідовності, відповідності інформації, розміщеної на вебсайті.
3. Турагент, роль якого полягає в організації та забезпеченні пакетного відпочинку, укладанні договорів із готелями, авіакомпаніями та наземним транспортом і друк рекламних брошур.
4. Системний / мережевий адміністратор – адміністрація системи, встановлення, підтримка серверів та інших комп'ютерних систем, а також планування та реагування на відключення сервісу та інші проблеми.
5. Бази даних – збереження конфіденційних даних, таких як адреса, ідентифікаційний номер, номер кредитної карти, електронні гроші, угода.
6. Безпека інформації – електронні документи, які повинні бути налаштовані та мати стандарт юридичної чинності (письмовий підпис).
7. Культурне різноманіття – можливість налаштування, яке поєднує індивідуальні та групові потреби. Різні країни по-різному ставляться до прав інтелектуальної власності, тому важливо забезпечити формування орієнтирів підходу щодо інтелектуальної власності.

Для ефективного електронного туризму слід забезпечити обробку даних і комунікацію для

організаційної вигоди. Електронний туризм охоплює весь спектр електронних інструментів, які сприяють оперативному та стратегічному управлінню організацією, дозволяючи їм керувати своїми інформаційними функціями та процесами, а також інтерактивно спілкуватися із зацікавленими сторонами для досягнення мети. Крім того, електронний туризм забезпечує місцеву торгівлю ресурсами для започаткування електронного маркетингу та електронного бізнесу. Він надає пряму підтримку та навчання інтеграції рішень електронного туризму як на рівні державного, так і приватного сектору, поєднуючи міжнародний і місцевий досвід [6, с. 712]. Для вибору методів і підходу до розробки корпоративного порталу було проведено аналіз існуючих систем управління взаємовідносинами із клієнтами (CRM).

Згідно інформації, поданої на сайті tagline.ru [1], результати популярності можна представити у вигляді таблиці (табл. 1). Всього було опитано 5 405 809 доменів. 59,8% респондентів відповіли протягом 30 секунд, а CMS виявлена на 20,9% доменів. Частка платних тиражних CMS становить приблизно 16,9% від загальної частки виявлених CMS, а частка вузькоспеціалізованих – 7,7%.

Таблиця 1
Повний загальний рейтинг CRM

Назва CMS	Загальна доля використання	Рік заснування
Бітрікс24	50%	2009
amoCRM	21%	2009
«Мегаплан»	10%	2008
Pipedrive	5%	2010
Highrise	4%	1999
Worksection	2%	2008
bpm'online	1%	2002
FreshOffice	1%	2012

Беручи до уваги результати дослідження, було визначено, що абсолютними лідерами популярності є Бітрікс24, amoCRM і «Мегаплан». Для подальшого вибору було проведено порівняльний аналіз трьох найпопулярніших CMS, для цього було використано best-crm.ru (табл. 2).

Беручи до уваги результати аналізу можливостей вибраних CMS і завдання, поставлені для досягнення мети роботи, було зроблено висновок, що платформа Бітрікс24 повністю задовольняє всі вимоги.

Таблиця 2

Порівняльний аналіз Бітрікс24, amoCRM і «Мегаплан»

Загальна інформація	Бітрікс24	amoCRM	«Мегаплан»
Ліцензія	Платна	Платна	Платна
База клієнтів	+	+	+
Call-центр і телефонія	+	+	-
Історія взаємодії з клієнтом	+	+	+
Системи лояльності	-	-	-
Моніторинг ефективності персоналу	+	-	-
Тайм-менеджмент	+	-	+
Управління підтримкою	+	-	+
Звіти	+	+	+
Інтеграція з поштою	+	+	+
Експорт / імпорт даних	+	+	+
Підключення реєстратора	-	-	-
API для інтеграції	+	+	+
Вебформи	+	+	+
Чат, дзвінки, відео-дзвінки	+	+	-
Інтеграція з 1С	+	+	+
Конвертація лідів	+	-	-
Експорт контактів	+	+	-
Бізнес процеси	+	+	-
Підключення метрик	+	+	-
Редагування прав доступу	+	-	-
Мобільний додаток	+	+	+

Бітрікс24 – це інформаційна платформа, на якій заявлені функціональні можливості соціальних мереж, проектів, завдань, управління персоналом і багато іншого, зокрема CRM. Аналіз сайту Бітрікс24 дозволяє зробити висновок, що на ньому оперують значним набором різних понять. Розгляд їх усіх не можливий у рамках окремої статті. Оскільки CRM Бітрікс24 є частиною загального

програмного продукту, то при виявленні ролі останньої для вирішення поставленого завдання слід торкнутися деяких інших частин загальної системи Бітрікс24, які не належать до CRM, але необхідні для розуміння її можливостей, особливостей і переваг. Нині безліч організацій почали впроваджувати системи управління якістю [7, с. 19]. Основними завданнями, які ставлять керівники організацій, є підвищення якості продукції, скорочення часу на процедури в управлінні компанією, скорочення загального часу, який підприємство витрачає на надання послуг, виконання робіт, виробництво продукції.

У рамках дослідження було розроблено технічне завдання, яке визначає вимоги та порядок створення інтернет-порталу компанії міжнародного туроператора. Його призначено для покращення взаємодії між замовником і постачальником послуг. Основним завданням інтернет-порталу є створення можливості вибору, замовлення та визначення умов турів за допомогою мережі Інтернет для користувача, а також автоматизація процесів для постачальника.

Технічні вимоги до виробу: три рівні доступу для користувачів інтернет порталу; автоматичний розрахунок вартості вибраних турів; система сповіщення адміністратора порталу про наявність нового замовлення; зручний інтерфейс користувача; головна сторінка сайту повинна містити графічну частину, навігаційне меню сайту, а також контенту область для того, щоб відвідувач сайту з першої сторінки міг отримати ввідну інформацію про компанію, швидкий доступ до панелі призначення замовлення; тематична область першої сторінки повинна бути поділеною на розділи (рекламний банер з актуальними новинами

порталу; коротка контактна інформація; у верхній частині сторінки відображаються полегшена навігаційна панель, яка забезпечує перехід до основних пунктів меню сайту).

Основні вимоги щодо розробки додаткових можливостей і функціоналу: реалізувати інтеграцію з AD і ЗУП; структура компанії і авторизація повинні підтягуватися з AD; графік відсутності, дошка пошани, історія станів і властивості користувача повинні підтягуватися із ЗУП. З огляду на те, що системою будуть користуватися відразу кілька департаментів із різних країн (Україна, Росія, Туреччина, Латвія, Литва, Естонія), було вирішено реалізувати перемикання багатомовності на різних сторінках і функціонал перемикання мов у «підвалі» порталу. В рамках цього завдання необхідно було розмежувати департаменти різних країн таким чином, щоб вони не могли потрапити в департамент іншої держави. Після авторизації користувача сайт автоматично відкриває сторінку «Живая лента» визначеного департаменту (рис. 2), на якій відображується актуальна інформація та оголошення для робітників і адміністраторів.

Для перевірки стану або створення нового завдання, заходу або іншого особливого дня у пункті меню «Календарь» розроблено можливість додавання нових заходів у датах та відображення загальної кількості заходів, які розсортовані суворо за датами календарного року. При переході у пункт меню «Задачи и проекты» користувачеві надається можливість ознайомлення з активними і завершеними проектами та задачами, виконавцем яких був чи є користувач. При натисканні на кнопку «Добавить задачу» користувач має змогу додати нові задачі. Окрім цього на сторінці можна змінити

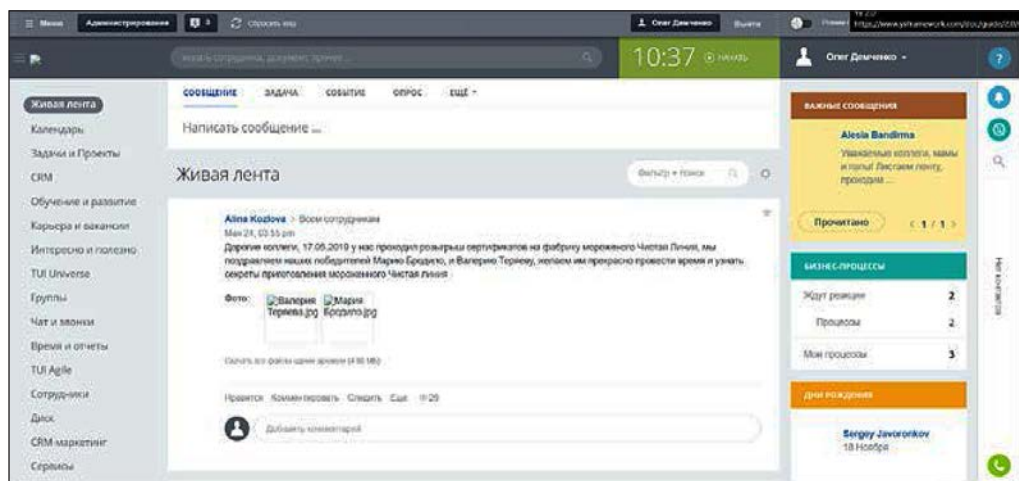


Рис. 2. Сторінка «Живая лента»

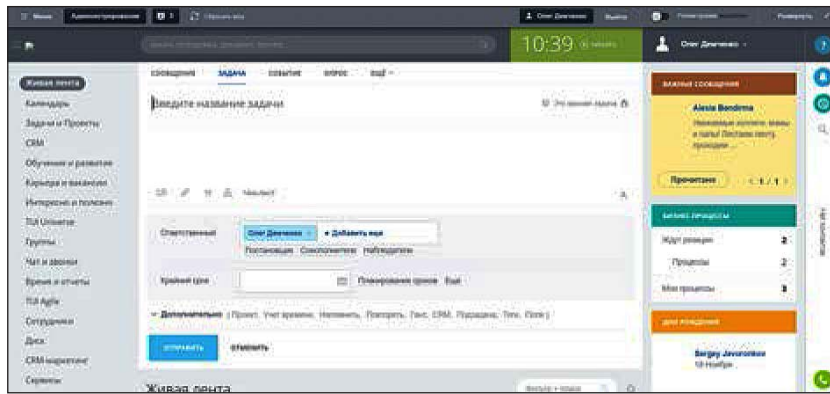


Рис. 3. Додавання задач на сторінці «Живая лента»

статус чи редагувати дані по відкритому проекту. Для розподілення груп користувачів розроблена сторінка «Группы и проекты», де адміністраторам надається змога додавати або редагувати склад груп користувачів, змінювати їх статус та додавати / видаляти їх до складів проектів за необхідності.

Одним із головних завдань інтернет ресурсу є забезпечення можливості комунікації між користувачами. Для цього розроблена сторінка «Чат», яка надає змогу зручного ведення діалогу між користувачами чи їх групами. Для внесення інформації про клієнтський сервіс, офіси компанії та інші реальні об'єкти розроблена сторінка «Клиентский сервис». Для відображення інформації про актуальні задачі на сторінці «Живая лента» розроблена можливість додавання задач із відображенням їх появи на головній сторінці для скорішого оповіщення членів команди робітників та адміністраторів (рис. 3).

Висновки. Впровадження інформаційних систем сприяє отриманню більш раціональних варіантів вирішення управлінських завдань за рахунок впровадження математичних методів та інтелектуальних систем; звільненню працівників

від рутинної роботи за рахунок її автоматизації; забезпеченню достовірності інформації; заміні паперових носіїв даних на магнітні та оптичні, що призводить до більш раціональної організації переробки інформації на комп'ютері і зниження обсягів паперових документів; зменшенню витрат на виробництво продуктів і послуг.

Під час роботи було вивчено літературу та особливості розробки онлайн-ресурсів. Після цього було проведено аналіз різновидів інтернет-ресурсів та існуючих аналогів інтернет-порталів. Обравши методи розробки та проектування, було зроблено висновок, що оптимальною мовою розробки інтернет порталу є PHP, тому що вона задовольняє усі вимоги технічного завдання та функціонального методу програмування, є простою у розробці та подальшому використанні програмного засобу. Засобом розробки було обрано автоматизовану CMS Бітрікс24. У подальшому планується доопрацювання та розвиток порталу з метою розширення його функціоналу та покращення процесів автоматизації, що має на меті покращення рівня сприйняття інформації і рівня якості користувацького інтерфейсу.

Список літератури:

1. Tilda Publishing. URL: <http://tilda.education/articles-how-to-choose-crm> (дата звернення: 24.11.2019).
2. Vesti UA. URL: <https://lite.vesti.ua/tourism/2265-preimuwestva-i-nedostatki-onlajn-bronirovanija-dlja-turistov> (дата звернення: 22.11.2019).
3. CNNIC (China National Network Information Centre). URL: <http://www.cnnic.net> (дата звернення: 23.11.2019).
4. Liu C. & Arnett K.P., Exploring The Factors Associated With Web Site Success In The Context of Electronic Commerce, Information & Management, 2000, 613 p.
5. Lorraine S., 2000 Outlook on The Online Travel Leisure Market, Outlook Of Travel, 2009, 196 p.
6. Teresa Garin-Munoz, Teodosio Perez-Amaral, "Internet Usage for Travel and Tourism. The Case of Spain", 21st European Regional ITS Conference, Copenhagen, 13–15 Sep, 2010, 1124 p.
7. Бауріна С.Б. Сучасний процес виробництва: поняття, різновиди, управління з позицій якості / С.Б. Бауріна // Наукові дослідження та розробки. Економіка фірми. 2015. № 4. С. 18–22.
8. Кудінов А. CRM: Практика ефективного бізнесу / А. Кудінов. М. : ІС-Паблішинг, 2015. 463 с.

Kruglyk V.S., Yeremiciev V.S., Prokofiev E.G., Serdiuk I.M., Trigub I.E. FEATURES OF CRM-SYSTEM DEVELOPMENT FOR INTERNATIONAL TOUR OPERATOR

The necessity of development of the Internet portal (CRM-system) for the international tour operator is actualized. The work contains in-depth analysis of theoretical information about the peculiarities of development of Internet resources of tourist destinations. The developers offer their concept of architecture of online e-tourism portal, they emphasize that this concept helps in the process of tourist service and is designed to increase the quality of service.

The authors reflect the characteristics of each of the existing CRMs, analyze their positive and negative aspects, draw conclusions about their feasibility and quality, pay particular attention to the identified authors, based on the conducted research, the most popular modern CRM-systems: Bitrix24, amoCRM and Megaplane. The authors disclose the comparative analysis of certain CRM-systems, and based on the analysis, determine Bitrix24 as the best CRM-system for the development of CRM-system of international tour operator.

The developers describe reflect the needs analysis that the tourism business imposes on computerized systems, identify the tasks to be performed by the development system and disclose the steps of developing a CRM system for an international tour operator. In their work, the authors determine that the implementation of the developed system helps to obtain more rational options for solving management problems through the implementation of mathematical methods and intellectual systems.

They emphasize that thanks to the developed system, conditions are created to save money by releasing employees from routine work by automating it and ensuring the reliability of information by replacing paper data with magnetic and optical ones, which leads to more rational organization of information processing computer and reducing paperwork.

Key words: *crm-system, ice, PMO, AD, webhooks, POST, portal.*

Кузьма К.Т.

Миколаївський національний університет імені В.О. Сухомлинського

Мельник О.В.

Миколаївський національний університет імені В.О. Сухомлинського

ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ ПЕРЕВІРКИ ВІДПОВІДЕЙ У СИСТЕМАХ ТЕСТУВАННЯ

Актуальність дослідження зумовлена бурхливим розвитком дистанційної освіти, інтелектуалізацією процесу перевірки відповідей у системах тестування. За результатами дослідження методів порівняння рядків визначено можливість їх застосування в системах тестування для встановлення рівня відповідності короткої текстової відповіді еталону (правильній відповіді).

Запропоновано обчислювальну технологію (ОТ) перевірки короткої відповіді в системах тестування, наданої у вигляді тексту. ОТ містить чотири базових етапи: нормалізація відповіді та еталону (приведення в нижній регістр, видалення всіх символів, відмінних від літер, цифр і пробілу); виділення слів (із речень видаляються прийменники, сполучники); ітеративне порівняння слів відповіді та еталону шляхом обчислення найбільшої загальної підпоследовності (LCS), використовуючи модифікацію методу динамічного програмування, алгоритм Хешберга; знаходження показника збігу для всього речення шляхом додавання LCS окремих слів. Коефіцієнт збігу відповіді з еталонною визначається під час тестування алгоритму. Такий підхід передбачає, що чим більшою є довжина найбільшої загальної підпоследовності, тим більшою є відповідність правильній відповіді.

Методи динамічного програмування використано для зіставлення коротких відповідей, які містять неточності формулювання із правильною відповіддю, що дозволило вирішити задачу перевірки відповіді, поданої природною мовою.

Розроблено обчислювальну технологію перевірки відповіді, поданої у довільній текстовій формі, для автоматизації процесу тестування в системах типу «запитання – коротка відкрита відповідь». Подальші дослідження будуть зосереджені на алгоритмах «приблизного» порівняння рядків, які належать до задач рядкового «нечіткого» пошуку.

Ключові слова: задача «нечіткого» пошуку, алгоритм Хешберга, методи порівняння рядків, системи тестування, методи динамічного програмування, найбільша загальна підпоследовність.

Постановка проблеми. В існуючих системах автоматизованої перевірки знань обмежено функціональність застосування неформалізованого підходу побудови тестових завдань. Додатки, які використовуються для перевірки рівня знань та умінь здобувачів вищої освіти (Moodle, OpenTEST), підтримують побудову тестових запитань певних типів, наприклад «оноваріанти: одне запитання – один вірний варіант відповіді», «множинного вибору: одне запитання – дві та більше вірних відповіді», «зіставлення визначень і відповідей», «визначення правильної последовності дій, етапів, процесів» тощо. При цьому питання типу «запитання – коротка відповідь» вимагають повного збігу відповіді з еталоном/еталонами, який/які зберігаються в базі даних. Таким чином, для підвищення ефективності процесу автоматизованої перевірки відповіді, поданої природною мовою, актуальними є дослідження технології застосування методів, алгоритмів «нечіткого»

порівняння рядків в автоматизованих системах тестування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Механізми застосування природної мови, її формалізації в автоматизованих системах тестування, перевірки рівня знань набувають актуальності у зв'язку із розвитком дистанційної освіти, цифровізації та інтелектуалізації навчального процесу.

Розглядаючи алгоритми порівняння рядків, було здійснено їх класифікацію на два основних види: «точного» порівняння із зразком (паттерном), «приблизного, нечіткого» порівняння з «паттерном». При цьому шаблон (паттерн) пошуку може бути одиночним або множинним [1–2].

Алгоритми «нечіткого» пошуку характеризуються метрикою – функцією відстані між двома словами, яка дозволяє оцінити ступінь їх подібності. Найбільш відомі метрики: відстань Хеммінга, Левенштейна та Дамерау-Левенштейна. При цьому відстань Хеммінга є метрикою тільки

на безлічі слів однакової довжини, що обмежує область її застосування.

Моделі та методи «нечіткого» пошуку досліджувалися науковцями О.М. Лесько, О.І. Комарницькою, О.В. Палагіним, І.С. Катеринчук, А.Ю. Гулою, А.П. Ігнатенком, А.В. Чадюком та іншими [3–9]. Наведені в роботах [3–7] методи в основному базуються на модифікації метрики Левенштейна, коли є мінімальна кількість операцій (вставки, видалення або заміни символу), необхідних для перетворення одного рядка в інший (редакційна відстань).

Іншим підходом до визначення подібності рядків є застосування фонетичного кодування. Фонетичні алгоритми співставляють двом словам зі схожою вимовою однакових кодів, що дозволяє здійснювати порівняння та індексацію безлічі таких слів на основі їх фонетичної подібності: Soundex, Daitch-Mokotoff Soundex, NYSIIS, Metaphone, Double Metaphone, Caverphone [10]. Такі алгоритми зручно використовувати при пошуку в базах за списками людей, у програмах перевірки орфографії. Найчастіше вони використовуються спільно з алгоритмами «нечіткого» пошуку, надаючи користувачам зручний пошук за іменами та прізвищами в різних базах даних. Більшість фонетичних алгоритмів є мовнозалежними. Як правило, вибір рішення в кожному конкретному випадку залежить від особливостей предметної області та постановки завдання.

Постановка завдання. Мета роботи – розробка обчислювальної технології зіставлення відповідей, поданих у довільній текстовій формі, з правильними відповідями, які зберігаються в базі даних, для автоматизації процесу тестування в системах типу «запитання – коротка відкрита відповідь».

Виклад основного матеріалу дослідження. Формалізація природної мови в автоматизованих інформаційних системах базується на математичних методах: теорія графів, комбінаториці, нечітких множинах; теорії ймовірності та математичної статистики, методах штучного інтелекту.

Запропонована обчислювальна технологія призначена для порівняння тестових відповідей на запитання в системах тестування з правильними відповідями, заданими невеликими реченнями (до 10 слів), шляхом обчислення міри, яку називають найбільшою загальною підпоследовністю двох слів (LCS – Longest Common Subsequence).

Найбільшою загальною підпоследовністю (longest common subsequence, LCS) слів x та y буде слово найбільшої довжини, яке одночасно

є підпоследовністю x і y . Довжина LCS тісно пов'язана з редакційною відстанню. Вона є зворотною відстані Левенштейна: чим більше збігається підпоследовність, тим менше операцій необхідно для перетворення.

Обчислення довжини найбільшої загальної підпоследовності двох слів здійснено з використанням алгоритму Хешберга [11; 12, с. 287]. Алгоритм є рекурсійним, на кожній ітерації обчислюються значення довжин найбільших спільних підпоследовностей слів, які записуються до масиву L . Автори позначають їх як $L[i, j]$:

$$L[i, j] = |LCS(x[1..i], y[1..j])|.$$

Функція $LCS(x, y)$ визначає найбільшу загальну підпоследовність слів x та y , де x – слово із наданої відповіді, y – слово із правильної відповіді, яка зберігається в базі даних. Оскільки довжина LCS будь-якого слова зі словом, яке не містить жодного символу, дорівнює нулю, значення границь масиву L встановлюються як $L[i, 0] = L[0, j] = 0$. Елементи масиву L із індексами $[i, j]$ визначаються в процесі порівняння елементів $x[1, i]$ та $y[1, j]$ за такими правилами:

1) якщо $x_i = y_j$, додаємо одиницю до поточного значення $L[i, j]$ префіксів $x[1, i-1]$ та $y[1, j-1]$. Таким чином $L[i, j] = L(i-1, j-1) + 1$;

2) якщо $x_i \neq y_j$, значення $L[i, j]$ обчислюється як максимум із попередніх сусідніх значень: $L[i, j] = \max\{L[i-1, j], L[i, j-1]\}$:

$$L[i, j] = \begin{cases} L[i, 0] = 0, 0 \leq i \leq n; \\ L[0, j] = 0, 0 \leq j \leq m; \\ L(i-1, j-1) + 1, \text{ якщо } x_i = y_j; \\ \max\{L[i-1, j], L[i, j-1]\}, \text{ в іншому випадку} / \end{cases}$$

Значення довжини LCS слів x та y буде максимальним значенням масиву L , яке знаходиться в комірці $L[n, m]$. Витрати алгоритму щодо пам'яті та часу обчислення складають $O(n \times m)$, де n і m – довжини рядків, які порівнюються.

Одним із варіантів спрощення алгоритму, який дозволяє зменшити вимоги до необхідного об'єму пам'яті до величини $O(\min\{n, m\})$, є введення додаткової змінної q , за допомогою якої здійснюється переадресація між двома одовимірними масивами розмірністю $\min(n, m)$. Для цього необхідно задати масив $Ls[0..1, 0..m]$ розмірністю $2 \times m$, у якому зберігався б поточний $-i$ та попередній $-i-1$ рядки масиву L . З використанням змінної q ($q \in 0..1$) здійснюється доступ до

елемента $Ls[q, j]$ поточного рядка, тоді як значення $1 - q$ визначають елементи $Ls[1 - q, j]$ попереднього. Спрощений алгоритм повертає останній рядок $L[n, 0..m]$ масиву L , максимальне значення в якому визначає LCS. Лістинг коду методу для визначення LCS на мові C#:

```
static int FindLS (string x, string y);
    {int n = x. length;
    int m = y. length;
    int i, j;
    int [,] Ls = new int [2, m + 1];
    for (j = 0; j <= m; j ++);
        Ls [1, j] = 0;
    For (i = 1; i <= n; i ++);
    {for (j = 0; j <= m; j ++);
        Ls [0, j] = Ls [1, j];
    For (j = 1; j <= m; j ++);
        {if (x [i-1] = y [j-1]);
            Ls [1, j] = Ls [0, j-1] + 1;
        Else
            Ls [1, j] = max (Ls [1, j-1], Ls [0, j]); // max () –
            функція // визначення максимального з двох
            чисел
        };
    }return Ls [1, m];
    }.
```

Запропонована обчислювальна технологія перевірки відповіді в системах тестування, поданої у текстовій формі, передбачає виконання таких етапів:

1) Нормалізація наданої відповіді та еталону. Рядки переводяться в нижній регістр, видаляються всі символи, відмінні від букв, цифр і пробілу.

2) Виділення слів. Словами вважаються всі послідовності символів без пробілів, які мають довжину ≥ 3 . Цим самим видаляються майже всі прийменники, сполучники тощо.

3) Порівняння слів шляхом обчислення LCS, використовуючи алгоритм динамічного програмування.

4) Знаходження загального показника подібності для всього речення шляхом додавання LCS усіх слів.

Такий підхід передбачає, що чим більшою є довжина LCS, тим більшою є відповідність правильній відповіді. Показник подібності відповіді, наданої природною мовою з еталоном, підбирається під час тестування алгоритму (від 50%). Використання алгоритму направлено на відповіді, представлені в короткій формі (до 10 слів) із можливими орфографічними помилками.

Висновки. Запропоновано обчислювальну технологію, яка передбачає, що зразок правильної відповіді, яка зберігається в базі даних та надана під час процедури опитування, розбиваються на окремі слова. Після цього проводиться пошук збігів за словами між еталоном та відповіддю, для чого застосовується модифікація методу динамічного програмування – алгоритм Хешберга. Далі відбувається знаходження загального показника подібності для всього речення шляхом додавання LCS усіх слів.

Подальші дослідження будуть спрямовані на тестування та удосконалення обчислювальної технології, застосування різних модифікацій алгоритмів динамічного програмування з метою підвищення ефективності обчислення LCS.

Список літератури:

1. Кузьма К.Т. Аналіз методів перевірки відповіді в системах тестування, поданої в текстовій формі. *Науковий журнал «Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки»*. 2018. Том 29(68) № 1. Частина 1. С. 163–167.
2. Кузьма К.Т. Алгоритм перевірки відповіді в системах тестування, поданої у текстовій формі / К.Т. Кузьма. *Геометричне моделювання та інформаційні технології : науковий журнал*. № 2(6), жовтень 2018. Миколаїв: МНУ імені В.О. Сухомлинського, 2018. С. 30–33.
3. Лесько О.М., Рогушина Ю.В. Использование онтологий для анализа семантики естественно-языковых текстов. *Проблеми програмування*. 2009. № 3. С. 59–65.
4. Комарницька О.І., Ваколюк Т.В. Алгоритм нечіткого семантичного порівняння текстової інформації. *Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім. Т. Шевченка*. Київ, 2013. № 39. С. 163–168.
5. Палагин А.В., Петренко Н.Г. К проектированию онтологоуправляемой информационной системы с обработкой естественно-языковых объектов. *Математичні машини і системи*. 2008. № 2. С. 14–23.
6. Катеринчук І.С., Рачок Р.В., Кравчук В.В., Кулик В.М. Інтелектуальна система автоматизованого контролю знань студентів вищих навчальних закладів. *Інформаційні технології в освіті : збірник наукових праць*. 2009. Вип. 4. Херсон : Вид-во ХДУ. С. 139–147.
7. Гула А.Ю., Игнатенко А.П., Чадюк А.В. Задачи идентификации физических и юридических лиц в хранилищах данных. Матеріали Шостої міжнародної науково-практичної конференції з програмування

УкрПРОГ 2008, 27-29 травня 2008 р. Київ. URL: http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/1464/%e2%84%962-3_2008_Ignatenko.pdf?sequence=1 (дата звернення: 30.12.2019).

8. Stephen Graham A. String Searching Algorithms. Lecture Notes Series On Computing. Vol. 3. London : World Scientific. 1994. 256 p.

9. Navarro G. A guided tour to approximate string matching. *ACM Computing Surveys*. 2001. 33(1): 31–88. P. 31–88. URL: <https://www.dcc.uchile.cl/~gnavarro/ps/acmcs01.1.pdf> (дата звернення: 30.12.2019).

10. Soundex. URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/Soundex> (дата звернення: 30.12.2019).

11. Hirschberg D.S. A linear space algorithm for computing maximal common subsequences. *Communications of the ACM*. 1975. № 18(6). Pp. 341–343.

12. Смит Б. Методы и алгоритмы вычислений на строках: пер. с англ. Москва : ООО «И.Д. Вильямс», 2006. 496 с.

Kuzma K.T., Melnik O.V. COMPUTING TECHNOLOGY FOR CHECKING ANSWERS IN TESTING SYSTEMS

Actuality of the research is due to the rapid development of distance education, intellectualization of the process of testing answers in testing systems. According to the results of research of string comparison methods, the possibility of their application in testing systems to establish the level of correspondence of a short text answer with a standard (correct answer) has been determined.

Computing technology (CT) for verifying the short answer in testing systems submitted in the form of text was proposed. CT contains four basic stages: normalization of response and correct answer (make in lower case, all characters other than letters, numbers and space are deleted); words highlighting word selection (pronouns, adjectives are removed from sentences); comparing words of the response and correct answer by calculating the longest common subsequence, using a modification of the dynamic programming method, the Hirschberg's algorithm; finding a match for the entire sentence by adding individual word's LCS. The state of the similarity of the response with the reference is selected during the testing of the algorithm. This approach assumes that the greater the longest common subsequence, the greater the relevance of the correct answer.

By the use of dynamic programming methods, short answers that contain inaccuracies in the formulation are compared with the correct answer, which allowed us to solve the problem of verifying the answer presented in natural language.

Computational technology for validation of the answer, submitted in an arbitrary text form, has been developed for automation of the process of testing in systems of type "question – short open answer". It was determined that the algorithms of "approximate" string comparison which are related to the tasks of "fuzzy" string search are required further research.

Key words: "fuzzy" search task, Hirschberg's algorithm, string comparison methods, testing systems, dynamic programming methods, longest common subsequence.

Кукунін С.В.

Spotlight Media Labs, Inc

ВИЗНАЧЕННЯ БАЗОВИХ ПІДХОДІВ ПРИ ПОБУДОВІ СИСТЕМИ ДОМАШНЬОЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ НА ОСНОВІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Система типу «Розумний дім» (smart home, SH) на сьогоднішній день розглядається як загальна концепція автоматизації та організації ефективних пристроїв, які використовуються у будинку: системи опалення, вентиляція та кондиціювання повітря (heating, ventilation and air conditioning, HVAC).

У статті розглянуто принципи роботи системи типу «розумний дім», що складається з програмно-апаратної платформи домашньої автоматизації та методики її автоматичного налаштування шляхом впровадження алгоритмів навчання та прогнозування. Основою задачею нейромережових алгоритмів у рамках підготовки підсистем домашньої автоматизації є завдання розпізнавання шаблонів, тобто класифікації вхідних даних у найбільш ймовірні вихідні значення на базі навчального набору залежно від статистичної варіації. На сьогоднішній день найбільш актуальними підходами є моделі глибинного аналізу даних.

Запропонована модель домашньої автоматизації включає у себе такі функціональні елементи, як контролери, датчики та актуатори. На рівні математичного апарату завдання оптимізації роботи «розумного дому» було зведено до задачі пошуку шаблонів роботи актуаторів, які формуються на основі даних, отриманих від датчиків. Були розглянуті такі методи розпізнавання шаблонів: моделі глибинного аналізу даних, алгоритми на базі чіткої логіки та імовірісно-часові моделі, зокрема наївна баєсівська модель, прихована марковська модель і модель умовного випадкового поля.

Розроблена схема автоматизованої роботи системи автоматичного опалення, вентиляції та кондиціювання повітря «розумного дому» на базі прихованої марковської моделі. Показано, що на базовому рівні зазначена система складається з програмно-апаратної платформи домашньої автоматизації та методики її автоматичного налаштування шляхом впровадження алгоритмів навчання та прогнозування. Була запропонована модель домашньої автоматизації, яка включає у себе такі функціональні елементи, як контролери, датчики та актуатори.

Ключові слова: домашня автоматизація, «розумний дім», імовірісно-часова модель, наївна баєсівська модель, прихована марковська модель, система автоматичного опалення, вентиляція та кондиціювання повітря.

Постановка проблеми. Система типу «Розумний дім» (smart home, SH) на сьогоднішній день розглядається як загальна концепція автоматизації та організації ефективних пристроїв, яка використовуються у будинку: системи опалення, вентиляція та кондиціювання повітря (heating, ventilation and air conditioning, HVAC). Впровадження систем SH зумовлює розробку алгоритмів на базі штучного інтелекту (artificial intelligence, AI) та може бути класифіковане як окремий випадок впровадження парадигми «Інтернету речей» (Internet of things, IoT), що вказує на актуальність проведення дослідження в рамках зазначеної теми.

Аналіз наукових публікацій у фахових виданнях і статистичних результатів експериментальних досліджень, які були проведені згідно загальної теми домашньої автоматизації, пріоритет у цій області у таких засобів математичного

моделювання як моделі глибинного аналізу даних (Data mining, DM) [1; 2], алгоритми на базі чіткої логіки (logic-based program, LBP) [3; 4] та імовірісно-часові моделі [5-10], зокрема наївна баєсівська модель [5; 6], прихована марковська модель [7; 8] і модель умовного випадкового поля [9; 10]. Також було розглянуто базові підходи, які включають у себе зазначені математичні моделі при оптимізації систем опалення, вентиляції та кондиціювання повітря (heating, ventilation, and air conditioning, HVAC) на рівні IoT [11–17]. Можна вказати на відсутність комплексної методології, яка може бути використана для широкого класу задач, пов'язаних із домашньою автоматизацією, що є **невирішеною частиною загальної проблеми.**

Метою дослідження є побудова методологічної бази для використання наївної баєсівської моделі,

прихованої марковської моделі та моделі умовного випадкового поля для оптимізації систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря.

Виклад основного матеріалу дослідження.

1. Принципи застосування AI в системах домашньої автоматизації

У загальному вигляді система SH включає у себе такі компоненти, як датчики, контролери та актуатори, які здійснюють функції керування освітленням, охорону будинку і спостереження, клімат-контроль та інші залежно від персональних налаштувань (рис. 1). При цьому датчики отримують статистичну інформацію, на основі якої приймаються рішення, актуатори виконують команди, а контролери здійснюють зв'язок між датчиками, актуаторами та системою прийняття рішень на базі AI.

Конкретизація окремих складників домашньої автоматизації безпосередньо впливає з її функціоналу. Так, впровадження функції освітлення зумовлює інтеграцію до системи датчиків освітлення, руху і присутності, а також актуаторів керування жалюзі і смарт-вимикачів (зокрема відповідних світлорегуляторів). Аналогічним чином функції охорони будинку і спостереження виконують датчики руху і вібрації, комплекс відеоспостереження та актуатори електронних замків, автоматичного відкриття дверей і вікон, а також комплекс сповіщення мешканців і групи швидкого реагування про потенційну загрозу.

Найбільш складною з точки зору оптимізації є система автоматичного клімат-контролю. Це пов'язано з тим, що параметри, які аналізуються зазначеною системою, безпосередньо пов'язані між собою, тому задача оптимізації їх регулювання є нетривіальною. Система автоматизації клімат-контролю включає у себе датчики вологості і температури повітря у приміщенні, газові датчики, електронні терморегулятори керування пристроями опалення, термостати тонкого регу-

лювання температури, гігростати, комплекси кондиціонування та очистки повітря тощо.

Особливість автоматизації клімат-контролю також полягає у необхідності аналізу та прогнозування зовнішніх умов, які змінюються залежно від пори року, часу доби, погоди та наявності у приміщенні мешканців. Вирішення задачі пошуку оптимального рішення при цьому дозволить налаштувати максимально придатні для роботи і відпочинку людини умови, значно скоротити комунальні витрати.

Одним із рішень поставленої задачі оптимізації складників підсистем SH є побудова системи прийняття рішень на базі AI. У рамках дослідження AI розглядається як програмно-апаратний комплекс, що за допомогою нейромережевих алгоритмів (artificial neural networks, ANN) і ймовірнісного підходу виконує процедури пошуку і прийняття рішення. Застосування AI у при організації домашньої автоматизації суттєво розширює функціональні можливості системи SH та дозволяє знайти універсальне рішення задачі оптимізації.

2. Застосування розрізняювальних ймовірнісно-часових моделей при побудові нейромережевих алгоритмів домашньої автоматизації

Основою задачею нейромережевих алгоритмів у рамках підготовки підсистем домашньої автоматизації є задача розпізнавання шаблонів, тобто класифікації вхідних даних у найбільш ймовірні вихідні значення на базі навчального набору залежно від статистичної варіації. На сьогоднішній день найбільш актуальними підходами є моделі глибинного аналізу даних [1; 2], алгоритми на базі чіткої логіки [3; 4] та ймовірнісно-часові моделі [5–10].

Проведений аналіз показав, що моделі глибинного аналізу даних не надають оцінку ефективності та адекватності виявлення шаблонів, а алгоритми на базі чіткої логіки не здатні приймати ефективні рішення за умов невизначеності.

Тому перевага була надана ймовірнісно-часовим моделям, які беруть за вхідні значення послідовність сигналів від датчиків системи, а на виході створюють послідовність прихованих станів, які за умов адекватної роботи системи мають відповідати виконаним діям. У цьому дослідженні розглядаються розрізняювальні ймовірнісно-часові моделі, які більш ефективні при обчисленні умовної ймовірності подій [5; 10].



Рис. 1. Базова схема функціонування системи типу «розумний дім»

Зокрема, пропонується побудувати математичний апарат на базі найвної баєсівської моделі (naïve Bayes classifier, NBC), прихованої марковської моделі (hidden Markov model, HMM) та моделі умовного випадкового поля (conditional random fields, CRF).

Нейромережеві алгоритми на базі NBC можна описати математично після введення таких позначень:

- номер датчика $k \in \{1; K\}$, де K – загальна кількість датчиків;
- вихідне значення датчика $a(i_n)$, де $i_n \in \{1; I_N\}$;
- вектор результатів спостереження \bar{x}_i .

У такому разі ймовірність \bar{x}_i за умов y_i складає:

$$p(\bar{x}_i | y_i = a(i_n)) = \prod_{k=1}^K (p(x_i^k | y_i = a(i_n)) \cdot p(y_i)). \quad (1)$$

При такому підході сигнал від кожного датчика розглядається окремо, і завдяки цьому зменшується навантаження на обчислювальні ресурси апаратно-програмної платформи.

Аналогічним чином функція спільного розподілу ймовірності нейромережевих алгоритмів на базі HMM формується як:

$$p(\hat{y}_{\{1;T\}}; \hat{x}_{\{1;T\}}) = \prod_{t=1}^T p(\hat{x}_t | y_t) \cdot p(y_t | y_{t-1}), \quad (2)$$

де $p(y_i | y_0) \approx p(y_i)$. Відповідно функція спільного розподілу ймовірності передбачає вірогідність зміни стану.

Нейромережеві алгоритми на базі CRF описують через функцію умовної ймовірності. Для її опису додатково вводяться такі позначення:

- набір вагових параметрів α_n , де $n \in \{1; N\}$;
- величина N – кількість функцій, які використовуються для параметризації розподілу;
- функція ознак $f_n(y_t, y_{t-1}, \hat{x}_t)$, що дорівнює нулю для всіх значень, крім того, що відповідає відгуку;
- терм нормалізації $Z(\hat{x}_{\{1;T\}})$, що нормалізує сумарну ймовірність відповідно до рівня 100%.

Функція умовної ймовірності складає:

$$p(\hat{y}_{\{1;T\}}; \hat{x}_{\{1;T\}}) = \frac{\prod_{t=1}^T \exp(\sum_{n=1}^N (\alpha_n \cdot f_n(y_t, y_{t-1}, \hat{x}_t)))}{Z(\hat{x}_{\{1;T\}})}. \quad (3)$$

Системи, що підлягали математичному моделюванню, відрізняються ресурсоемістю та точністю виявлення шаблонів. При розробці нейромережевих алгоритмів домашньої автоматизації необхідно враховувати особливості поставленого завдання.

3. Математична модель автоматичного контролю температури і вологості повітря у приміщенні

У попередньому розділі було вказано, що найбільш складною з точки зору оптимізації є система автоматичного клімат-контролю. Це пов'язано як із тим, що параметри, які аналізуються зазначеною системою, безпосередньо пов'язані між собою, так і з тим, що необхідно аналізувати та прогнозувати зміни в зовнішніх умовах.

Математична модель системи клімат-контролю була побудована на основі моделі ідеального циклу Карно і розширена шляхом врахування взаємного впливу процесів охолодження і осушення повітря. У зв'язку з цим необхідно провести аналіз усіх джерел тепла і вологості, а також їх взаємного розташування. Модель включає у себе повний набір потенційних джерел тепла (heat source, HS) $j \in [1; J]$, яким відповідає одновимірний масив значень температур $T_{HS}(j)$. Аргументами цільових функцій системи клімат-контролю є значення різниці цього набору температур зі значеннями для зовнішнього повітря (outdoor air, OA) та повітря у приміщенні (indoor air, IA): $\{T_{HS}(j) - T_{OA}\}$ і $\{T_{HS}(j) - T_{IA}\}$. Цей підхід дає можливість розрахувати оптимальний режим роботи системи HVAC таким чином, щоб зовнішнє середовище використовувалося для нагріву чи охолодження джерела тепла, а джерело тепла враховувалося при нагріванні приміщення.

Відповідно теплове навантаження на систему HVAC визначається як:

$$Q_{\Sigma}^T = \sum_{j=1}^J (Q_j^T \cdot \mu(T_{HS}(j), T_{OA})). \quad (4)$$

де $\mu(T_{HS}(j), T_{OA}) = \{0; 1\}$, причому $\mu(T_{HS}(j), T_{OA}) = 0$ при $T_{HS}(j) \geq T_{OA}$ і $\mu(T_{HS}(j), T_{OA}) = 1$ при $T_{HS}(j) < T_{OA}$.

На основі рівняння (4) може будуть отримані вирази для потужності, які використовується системою клімат-контролю залежно від джерел тепла та їх розташування, а також ККД зазначеної системи:

$$W_{\Sigma}^T = \sum_{j=1}^J \left(\frac{Q_j^T \cdot \mu(T_{HS}(j), T_{OA}) \cdot (T_{OA} - T_{HS}(j))}{T_{HS}(j)} \right), \quad (5)$$

$$\eta_j = \frac{T_{HS}(j)}{T_{OA} - T_{HS}(j)}. \quad (6)$$

Якщо взяти за цільову функцію оптимізації системи HVAC значення ККД, то максимум цільової функції може бути розраховано як:

$$\eta_{max}^T = \frac{Q_{\Sigma}^T}{W_{\Sigma}^T} \rightarrow \eta_{max}^T = \frac{\sum_{j=1}^J (Q_j^T)}{\sum_{j=1}^J \left(\frac{Q_j^T \cdot \mu(T_{HS}(j), T_{OA})}{\eta_j} \right)} \quad (7)$$

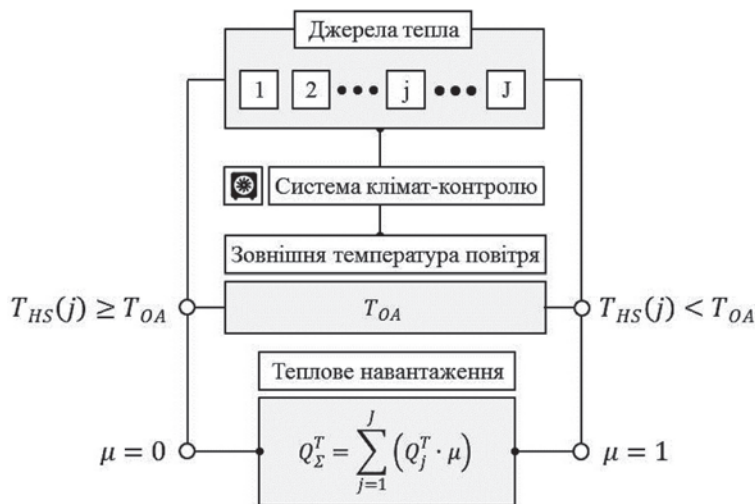


Рис. 2. Алгоритм розрахунку теплового навантаження на систему HVAC

Після розрахунку аналогічним чином потужності і ККД системи клімат-контролю відповідно до кількості і розташування джерел вологи (moisture, M) загальна цільова функція визначається як:

$$\eta_{max}^{T+M} = \frac{Q_{\Sigma}^T + Q_{\Sigma}^M}{W_{\Sigma}^T + W_{\Sigma}^M} \rightarrow \eta_{max}^{T+M} = \left(\frac{Q_{\Sigma}^T}{\eta_{max}^T \cdot (Q_{\Sigma}^T + Q_{\Sigma}^M)} + \frac{Q_{\Sigma}^M}{\eta_{max}^M \cdot (Q_{\Sigma}^T + Q_{\Sigma}^M)} \right) \quad (8)$$

На основі розробленого математичного апарату та нейромережкових алгоритмів, які базуються на розрізнявальних імовірно-часових моделях,

можна побудувати прогностичні системи контролю SH.

Висновки. В результаті проведеного дослідження було розглянуто принципи роботи системи типу «розумний дім». Показано, що на базовому рівні зазначена система складається з програмно-апаратної платформи домашньої автоматизації та методики її автоматичного налаштування шляхом впровадження алгоритмів навчання та прогнозування. Була запропонована модель домашньої автоматизації, яка включає у себе такі функціональні елементи як контролери, датчики та актуатори.

На рівні математичного апарату завдання оптимізації роботи «розумного дому» було зведено до задачі пошуку шаблонів роботи актуаторів, які формуються на основі даних, що отримують від датчиків. Були розглянуті такі методи розпізнавання шаблонів: моделі глибинного аналізу даних, алгоритми на базі чіткої логіки та ймовірно-часові моделі, зокрема наївна басівська модель, прихована марковська модель і модель умовного випадкового поля.

На основі розробленого математичного апарату та нейромережкових алгоритмів можна побудувати прогностичні системи контролю «розумного дому».

Список літератури:

1. Yates D.J. & Xu J. (2010). Sensor Field Resource Management for Sensor Network Data Mining. *Intelligent Techniques for Warehousing and Mining Sensor Network Data*, 280–304. doi: 10.4018/978-1-60566-328-9.ch013.
2. Bhaduri K., & Stolpe M. (2012). Distributed Data Mining in Sensor Networks. *Managing and Mining Sensor Data*, 211–236. doi: 10.1007/978-1-4614-6309-2_8.
3. Autexier S., & Hutter D. (2015). SHIP – A Logic-Based Language and Tool to Program Smart Environments. *Logic-Based Program Synthesis and Transformation Lecture Notes in Computer Science*, p. 313–328.
4. Wu Y., & Rowe A. (2011). Logic-Based Programming for Wireless Sensor-Activator Networks. 2011 *IEEE/ACM Second International Conference on Cyber-Physical Systems*. doi: 10.1109/iccps.2011.31.
5. Jing C., & Jingqi F. (2012). Fire Alarm System Based on Multi-Sensor Bayes Network. *Procedia Engineering*, 29, p. 2551–2555.
6. Ahmadi H., & Bouallegue R. (2015). Comparative study of learning-based localization algorithms for Wireless Sensor Networks: Support Vector regression, Neural Network and Naïve Bayes. 2015 *International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)*. doi: 10.1109/iwcmc.2015.7289314.
7. Zhang C., & Zhang L. (2013). Activity Recognition in Smart Homes Based on Second-Order Hidden Markov Model. *International Journal of Smart Home*, 7(6), p. 237–244. doi:10.14257/ijsh.2013.7.6.23.
8. Qihua W., Ge G., Lijie C. & Xufeng X. (2015). Scheduling strategy for Hidden Markov Model in wireless sensor network. 2015 *34th Chinese Control Conference (CCC)*. doi: 10.1109/chicc.2015.7260879.
9. Junejo I. (2010). Learning Self-Similarities for Action Recognition Using Conditional Random Fields. *Bayesian Network*. doi: 10.5772/46965.
10. Luo R., Min H. & Lin S. (2011). Joint Conditional Random Fields for Multi-object Tracking with a Mobile Robot. *Robot*, 33(3), p. 279–286. doi: 10.3724/sp.j.1218.2011.00279.
11. Liu X., Jiang Y. & Zhang T. (2016). *Temperature and Humidity Independent Control (Thic) of Air-conditioning System*. Berlin: Springer Berlin.

12. Bruno F. (2010). Testing of an Evaporative Cooling System That Supplies Air Near the Dew Point Temperature. Proceedings of the EuroSun 2010 Conference. doi: 10.18086/eurosun.2010.10.09.
13. Dean J., Herrmann L., Kozubal E., Geiger J., Eastment M. & Slayzak S. (2012). Dew Point Evaporative Comfort Cooling: Report and Summary Report. doi: 10.2172/1060597.
14. Kareem B. (2018). Experimental and Theoretical Study of Dew Point Evaporative Cooling System Suitable for Erbil Climate. Polytechnic Journal, 8(2), p. 102–118. doi: 10.25156/ptj.2018.8.2.205.
15. Simic D., Kral C. & Pirker F. (2005). Simulation of the cooling circuit with an electrically operated water pump. 2005 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference. doi: 10.1109/vppc.2005.1554567.
16. Domb M. (2019). Smart Home Systems Based on Internet of Things. *IoT and Smart Home Automation [Working Title]*. doi: 10.5772/intechopen.84894.
17. Balasubramanian K. & Cellatoglu A. (2010). Selected Home Automation and Home Security Realizations: An Improved Architecture. *Smart Home Systems*. doi: 10.5772/8408.
18. Papadopoulos H., Andreou A.S., Iliadis L. & Maglogiannis I. (2016). Artificial Intelligence Applications and Innovations 9th IFIP WG 12.5 International Conference, AIAI 2013, Paphos, Cyprus, September 30–October 2, 2013, Proceedings. Berlin : Springer Berlin.

Kukunin S.V. ESTIMATION OF BASIC APPROACHES FOR HOME AUTOMATION SYSTEM BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE DEVELOPMENT

The smart home (SH) system is now regarded as a general concept of automation and organization of efficient devices used at home, including heating, ventilation and air conditioning (HVAC) systems. The main task of neural network algorithms in the preparation of home automation subsystems is the task of pattern recognition, that is, the classification of input data into the most probable output values based on the training set, depending on the statistical variation. Today, the most topical approaches are in-depth data analysis models.

The principles of smart home system processing, consisting of a software and hardware platform for home automation and methods for its automatic configuration through the implementation of training and forecasting algorithms, are considered. The proposed model of home automation includes such functional elements as controllers, sensors and actuators. At the level of the mathematical apparatus development, the task of optimizing the smart home processing was reduced to the task of searching for patterns of actuators operation, which are formed on the basis of data received from sensors. Such methods of pattern recognition as models of deep data analysis, logic-based program and probabilistic-temporal models, in particular, the naive Bayesian model, the hidden Markov model and the conditional random field model, were considered.

The scheme of automated operation of the automatic heating system, ventilation and air conditioning of a smart home based on a hidden Markov model was developed. It is shown that at the basic level the mentioned system consists of the home automation hardware and software platform and the method of its automatic tuning through the implementation of training and forecasting algorithms. A home automation model was proposed that includes such functional elements as controllers, sensors and actuators.

Key words: home automation, smart home, probability-time model, naive Bayes model, hidden Markov model, automatic heating, ventilation and air conditioning system.

Ліннік І.С.

Одеський національний політехнічний університет

НАЛАШТУВАННЯ РЕГУЛЯТОРА У СИСТЕМІ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕПЛООВОГО ПУНКТУ ТА ПОРІВНЯННЯ ЯКОСТІ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ РІЗНИХ МЕТОДІВ НАЛАДКИ

Робота присвячена дослідженню якості перехідного процесу регулювання у тепловому пункті. Основним призначенням системи регулювання теплового пункту є підтримка температури теплоносія на заданому рівні. У процесі експлуатації теплового пункту на регульований параметр діють збурення, які надходять із навколишнього середовища та міської котельні. Для усунення невідповідності між заданою та фактичною температурами, використовується одноконтурна система регулювання з пропорційно-інтегральним (ПІ) регулятором, який керує клапаном на магістральному трубопроводі. Алгоритм налаштування такого регулятора не є складним, однак важливо підібрати оптимальні коефіцієнти для отримання задовільної якості перехідного процесу регулювання.

Серед спеціалістів з автоматизації популярним є метод затухаючих коливань Зіглера-Нікольса. У якості альтернативи розглядається метод, розроблений засновником кафедри автоматизації Одеського національного політехнічного університету Л.Й. Коном. Критеріями якості перехідного процесу регулювання будуть величина максимального відхилення, міра згасання коливань, час регулювання, його динамічний коефіцієнт, коефіцієнт коливальності. Особлива увага приділяється останньому коефіцієнту через значний негативний вплив коливального перехідного процесу на знос регулюючих органів і теплофікаційного обладнання.

Другим важливим критерієм якості перехідного процесу є час регулювання, оскільки теплові пункти використовуються переважно для потреб теплопостачання у житлових будинках. У результаті порівняльного аналізу зроблено висновок щодо ефективності системи регулювання теплового пункту при налаштуванні розглянутими методами з урахуванням складності налаштування системи.

Ключові слова: автоматична система регулювання, тепловий пункт, теплообмінник, метод Л.Й. Кона, метод Зіглера-Нікольса.

Постановка проблеми. Тепловий пункт (ТП) – найважливіший складник систем теплопостачання будівель. Від його характеристик багато в чому залежить регулювання систем опалення та гаряче водопостачання, а також ефективність використання теплової енергії. У кожному будинку є тепловий пункт, який відіграє важливу роль у підтриманні температури на заданому рівні. Тому тепловим пунктам приділяється особлива увага у процесі термомодернізації будівель. При установці ТП загальне зниження споживання тепла становить від 15% до 73%. Чим більші тепловтрати будівлі, тим більше тепла потрібно на її обігрів. Кожний тепловий пункт потребує індивідуального налаштування, тому його ефективність роботи напряму залежить від обраного методу налаштування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Багато виробників-контролерів розміщують інструкцію з налаштування методом Зіглера-Нікольса [1; 2], але застосування цього методу вимагає занадто багато часу через інерційність

об'єктів у тепловій енергетиці. У той же час існує альтернативний метод налаштування, застосування якого описано в [3]. Метод був розроблений засновником кафедри автоматизації в ОНПУ Л.Й. Коном. Такі налаштування знаходяться в області, близькій до оптимальних значень, внаслідок чого потрібно або лише незначне додаткове коригування параметрів, або воно не потрібне взагалі.

Постановка завдання. Завданням цієї роботи є порівняння методів розрахунку параметрів ПІ регулятора за якістю перехідного процесу регулювання в автоматичній системі регулювання теплового пункту. Метод Кона передбачає попереднє визначення властивостей об'єкта шляхом аналізу кривої розгону об'єкта. При порівнянні враховується також складність налаштування обраним методом.

Виклад основного матеріалу дослідження. Тепловий пункт – комплекс пристроїв, розташований у відокремленому приміщенні, яке складається з елементів теплових енергоустановок, що забезпечують їх приєднання до теплової мережі,

працездатність, управління режимами теплоспоживання, перетворення, регулювання параметрів теплоносія і розподіл теплоносія за видами споживачів.

Теплообмінник – технічний пристрій, в якому здійснюється теплообмін між двома середовищами, які мають різні температури. За принципом дії теплообмінники поділяються на рекуператори і регенератори. У рекуператорах рухомі теплоносії розділені стінкою. До цього типу належить більшість теплообмінників різних конструкцій. У регенеративних теплообмінниках гарячий і холодний теплоносії контактують з однією і тією ж поверхнею по черзі. Теплота накопичується в стінці при контакті з гарячим теплоносієм і віддається при контакті з холодним, як у кауперах доменних печей.

У контурі, призначеному для нагрівача, може бути використана не тільки гаряча вода, але й антифриз, масло або інша гаряча, не шкідлива для частин приладу рідина. Пластинчастий теплообмінник встановлюється в систему опалення і розділяє її на дві частини: систему опалення від постачальника до клієнта і таку ж систему споживача. На рисунку 1 зображена схема технологічної ділянки.

Ділянка регулювання може бути представлена у вигляді такої математичної моделі, змодельованої у середовищі Simulink (рисунк 2).

Для визначення властивостей об'єкта необхідно зняти криві розгону по каналах регулю-

вання. Обробка кривих розгону здійснюється за допомогою методики Л.Й. Кона (рисунк 3), результатами якої є час повного запізнення, час емпічного запізнення, час чистого запізнення, коефіцієнт передачі, час розгону. Отримані дані використовуються для вибору структури автоматичної системи регулювання та налаштування регулятора.

Число інерційних ланок першого порядку q обирається відповідно до співвідношення між емпічним запізненням об'єкта τ_e і часом розгону T_a . У розрахунковій моделі відношення її емпічного запізнення τ_e не може бути довільним і визначається числом інерційних ланок q . Обчислені аналітично за рівнянням дотичної в точці перегику $h_y(t)$ значення коефіцієнтів $r = \tau / T_a$ і $g = T / \tau_e$, наведені у [3].

Керований канал технологічного об'єкта можна представити у вигляді інерційної ланки другого порядку. У зв'язку з тим, що такий об'єкт малоінерційний, застосування складного алгоритму управління не є оптимальним. Виходячи з цього, доцільно вибрати одноконтурну АСР із ПІ регулятором з огляду на відносну простоту її налаштування і задовільну якість процесу регулювання (схема зображена на рисунку 4).

Розрахунок налаштувань виконується за формулами з методики Л.Й. Кона, використовуючи характеристики об'єкта. Для цього необхідно попередньо визначити коефіцієнти K і C [4].

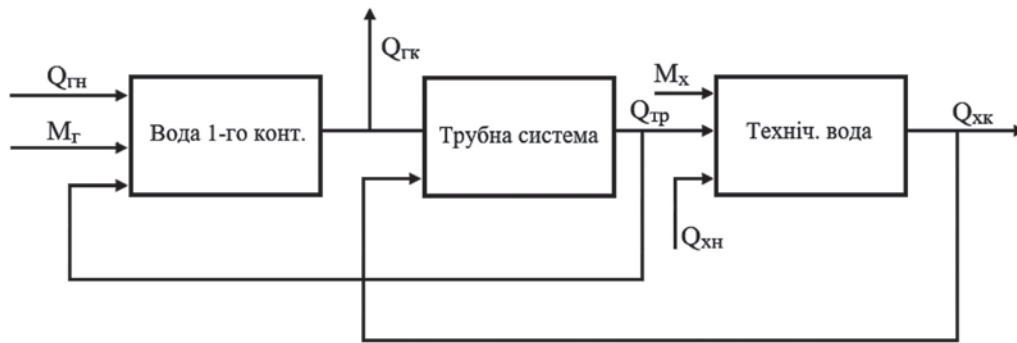


Рис. 1. Принципова схема технологічної ділянки

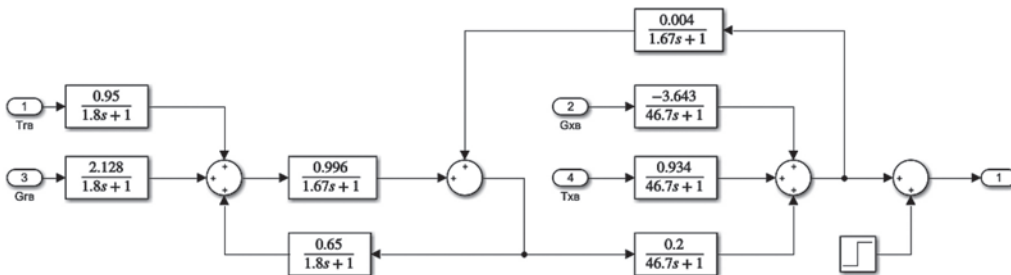


Рис. 2. Математична модель об'єкта

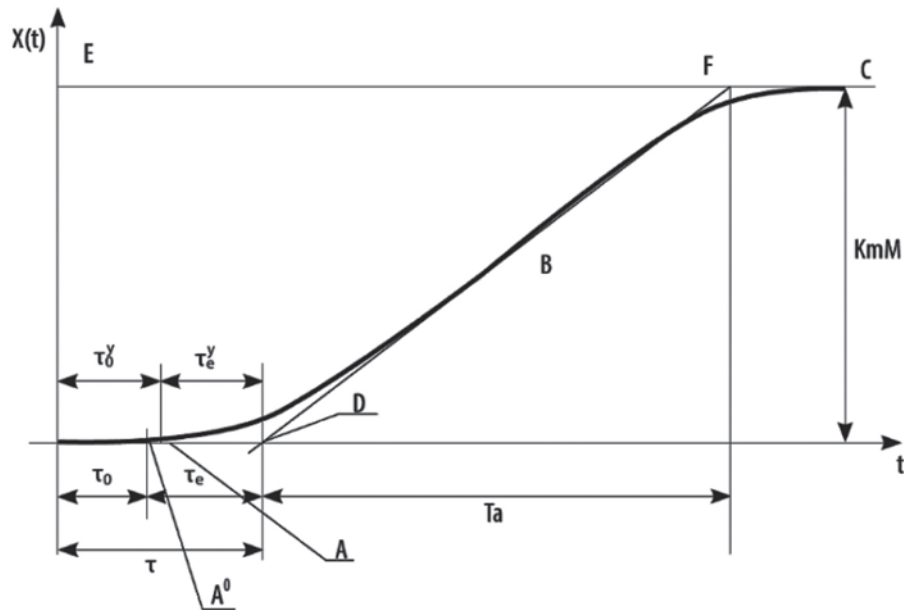


Рис. 3. Графічна обробка кривої розгону

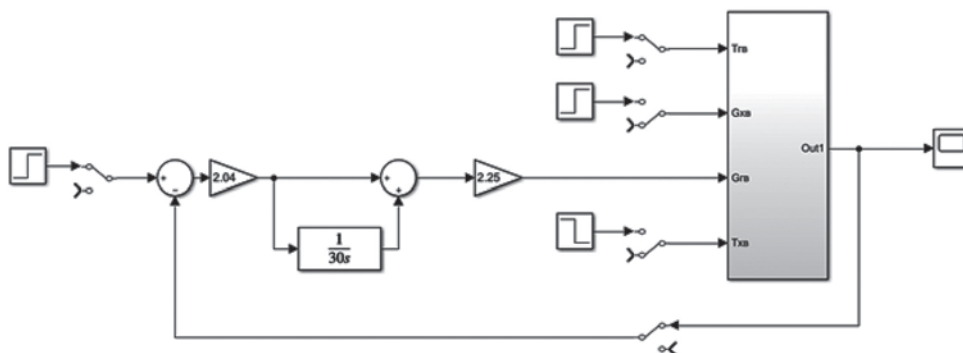


Рис. 4. Схема автоматичної системи регулювання

Для інерційних об'єктів час відносного запізнення визначається за формулою 1:

$$a = \frac{te}{Ta} \quad (1)$$

Для цього коефіцієнта обираємо табличні К, С

$$Kp = \frac{K}{Km}, \frac{\%x PO}{^\circ C} \quad (2)$$

$$Tu = Tu = C \times te, c \quad (3)$$

У діючій системі вимикаються інтегральний і диференціальний складники регулятора ($T_i = \infty$, $T_d = 0$), тобто система переводиться в закон регулювання Р. Шляхом послідовного збільшення $K_{кр}$ з одночасною подачею невеликого стрибкоподібного сигналу завдання зумовлюють виникнення в системі неза-

тухаючих коливань при $K_p = K_{кр}$ із періодом $T_{кр}$. При цьому система знаходиться на межі коливальної стійкості (рисунок 5), фіксуються значення $K_{кр}$ і $T_{кр}$. При появі критичних коливань жодна змінна системи не повинна виходити на рівень обмеження.

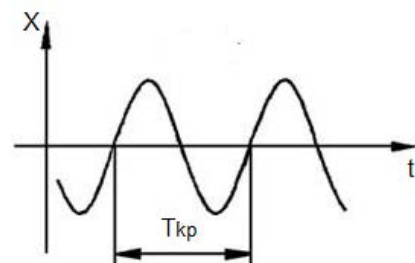


Рис. 5. Графік незатухаючих коливань при $K_p = K_{кр}$ із періодом $T_{кр}$

За значеннями $T_{кр}$ і $K_{кр}$ розраховуються параметри налаштування регулятора:

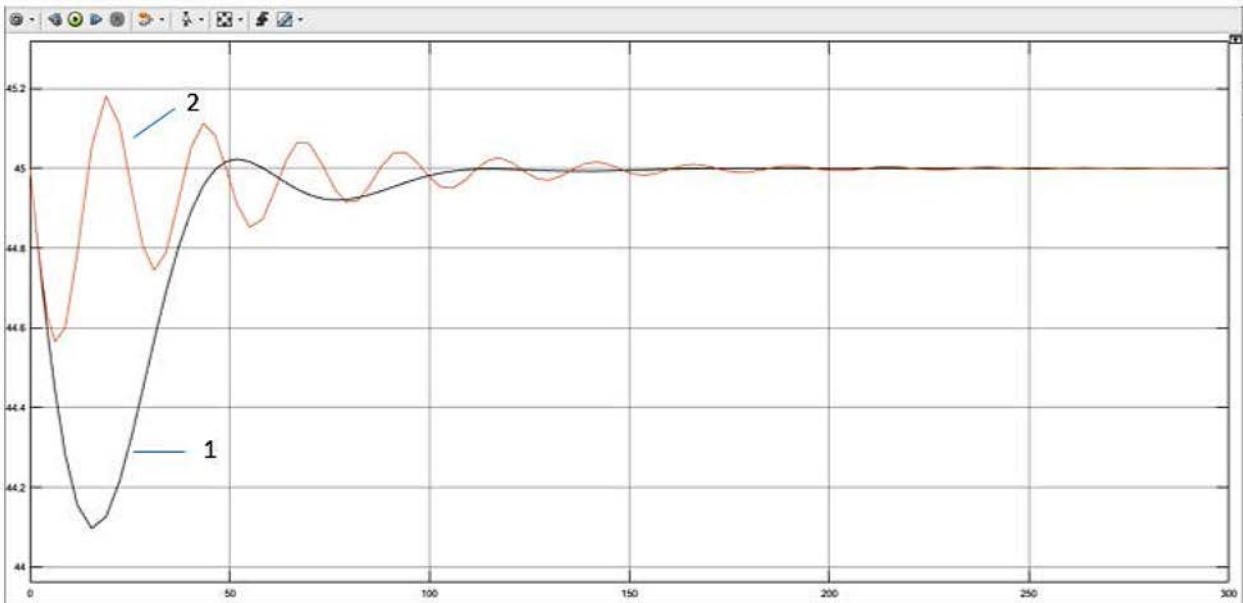


Рис. 6. Порівняння Метода Кона та Зіглера-Нікольса: 1 – метод Кона, 2 – метод Зіглера-Нікольса

P-регулятор: $K_p = 0,55 K_{кр}$;
 PI-регулятор: $K_p = 0,45 K_{кр}$; $T_i = T_{кр}/1,2$;
 PID-регулятор: $K_p = 0,6 K_{кр}$; $T_i = T_{кр} / 2$;
 $T_d = T_{кр}/8$.

На рисунку 6 зображений результат налаштування обома методами.

Показниками якості ППР рівня є:

1. Максимальне відхилення регульованої величини A_1 .
2. Час регулювання t_p .
3. Міра згасання коливаний перехідного процесу:

$$\psi = \frac{A_1 - A_3}{A_1} \quad (4)$$

де A_3 – третє максимальне відхилення регульованої величини.

4. Величина динамічного коефіцієнта регулювання:

$$R_d = \frac{A_1}{A_0} \times 100\%$$

5. Коефіцієнт коливальності:

$$\sigma = \frac{A_2}{A_1} \times 100\%$$

Висновки. Обидва методи, які використовувалися у статті, працюють і можуть використовуватися для налаштування контролерів, але у процесі порівняння були виявлені переваги та недоліки цих методів. Метод Зіглера-Нікольса відносно простий, у той час як метод Кона вимагає зняття кривої розгону, її обробки і більш складного розрахунку з використанням спеціальних таблиць.

З причини інерційності об'єктів налаштування методом Зіглера-Нікольса може займати багато часу, у другому ж методі такі параметри відразу знаходяться в області, близькій до оптимальних значень. Внаслідок цього потрібно або лише незначне додаткове коригування параметрів, або воно не потрібно взагалі, що скорочує час, витрачений на знаходження параметрів. Коливальність і час регулювання у ньому значно менші, що зменшує зношеність регулюючих органів.

Таблиця 1

Таблиця порівняння двох методів

Метод Кона	Метод Зіглера-Нікольса
$A_1 = 0,9$	$A_1 = 0,44$
$t_p = 110$ с	$t_p = 230$ с
$\psi = 0,91$	$\psi = 0,41$
$R_d = 19,2\%$	$R_d = 9,4\%$
$\ddot{A} = 2,2\%$	$\ddot{A} = 40,9\%$

Список літератури:

1. Налаштування ПІД регулятора. URL: <http://www.controlplast.ru/site/index.php?/rinforms/kdocuments/nastrojkapid>.
2. Особенности П, ПИ и ПИД регулирования. URL: <https://www.ao-tera.com.ua/list/ru/technology/0/246.html>.
3. Харабет А.Н. Вивчення класичної теорії автоматичного управління за допомогою сучасного персонального комп'ютера : учебное пособие. О. : Бахва, 2014. 188 с.

4. Кон Л.Й. Методичні вказівки й таблиці для вибору налаштувань ПІ і П регуляторів в одноконтурних системах регулювання теплових об'єктів із запізненням. Одеса : ОНПУ, 2003. 127 с.
5. Ключев А.С., Лебедєв А.Т. Налаштування автоматичних систем і пристроїв управління технологічними процесами. М. : Енергія, 1977. 399 с.
6. Тепловий пункт. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Тепловий_пункт.

Linnik I.S. REGULATOR SETTING IN THE HEATING POINT REGULATION SYSTEM AND COMPARISON OF THE TRANSITION PROCESS QUALITY WHEN USING DIFFERENT ADJUSTMENT METHODS

The work is devoted to the study of the quality of the transient process of regulation in the heat station. The main purpose of the thermal control system is to maintain the coolant temperature at the reference level. During the operation of the heat station, perturbations coming from the environment and the city boiler house are subject to an adjustable parameter. To eliminate the discrepancy between the set temperature and the actual one, a single-circuit control system with a proportional-integral (PI) controller is used to control the valve on the main pipeline.

The algorithm for tuning such a controller is not complicated, however, it is important to find the optimal coefficients to obtain the satisfactory quality of the transient adjustment process. Among the specialists in automation, the Ziegler-Nichols damping method is popular. As an alternative, the method developed by the founder of the Department of Automation at the Odessa National Polytechnic University L.Y. Con. The quality criteria of the transient adjustment process will be the value of the maximum deviation, the degree of damping of oscillations, the time of regulation, the dynamic coefficient of adjustment, the coefficient of oscillation. Particular attention is paid to the coefficient of oscillation, due to the significant negative influence of the oscillatory transition process on the wear of the regulators and the heat equipment.

Another important criterion for the quality of the transition process is the timing of regulation, as heat points are used mainly for the needs of heat in residential buildings. As a result of comparative analysis, it was concluded that the efficiency of the system of regulation of the heat point, when tuning the considered methods, taking into account the complexity of the system setup.

Key words: automatic control system, heat point, heat exchanger, Kon method, Ziegler-Nichols method.

Левкін Д.А.

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

ПРИКЛАДНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ СИСТЕМ

У статті розглянуті деякі аспекти питань розрахунку та оптимізації параметрів багатошарових систем, які знаходяться під впливом зосереджених рухомих джерел теплового навантаження. У якості досліджуваного об'єкта виступає багатошаровий сферичний мікробіологічний матеріал під дією зосереджених сканованих джерел лазерного випромінювання. Сформульовані основна оптимізаційна задача пошуку раціональних параметрів лазерної дії на багатошарові мікробіологічні системи з урахуванням обмежень на температурні поля та технічні параметри випромінювачів, а також вимоги до кінцевого результату, а саме, до значень шуканих параметрів лазера задля забезпечення життєздатності сегментів матеріалу з метою підвищення якості біотехнологічного процесу сегментації.

Виходячи з постановки основної оптимізаційної задачі в статті наведені декілька прикладних оптимізаційних математичних моделей. Здійснена формалізація і систематизація прикладних задач оптимізації, які є частковими випадками основної оптимізаційної задачі. Досліджені характерні особливості їх математичних моделей, що дозволило обґрунтовано здійснити вибір методів їх чисельної реалізації. Запропонована модифікація пошукового метода оптимізації, який базується на композиції чисельних методів, що створюють обчислювальну структуру. В роботі наведена крайова задача системи неоднорідних диференціальних рівнянь теплопровідності, що лежить в основі розрахункової математичної моделі процесу теплового впливу та намічені кроки для реалізації процесу оптимізації з застосуванням чисельних методів. Слід зазначити, що результати досліджень мають універсальний характер і можуть бути застосовані для оптимізації процесів ділення штучної і натуральної шкіри при лікуванні великих опіків; зварювання біоматеріалу; використання в практиці мікрохірургії, офтальмології, косметології та інших галузях.

Ключові слова: оптимізація, математичні моделі, пошуковий метод оптимізації, крайова задача, чисельні методи.

Постановка проблеми. Питанням математичного моделювання та оптимізації багатошарових систем приділяється недостатньо уваги. Це перш за все пов'язане з тим, що стан досліджуваних об'єктів описується за допомогою нестационарних, неоднорідних диференціальних рівнянь у часткових похідних. Для отримання значень цільової функції необхідне розв'язання систем диференціальних рівнянь, а це зумовлює використання чисельних методів або залучення програмно-апаратних засобів. Тому виникають ризики зниження точності отриманого розв'язку, додаткові витрати часу і машинної пам'яті на кожній ітерації. Для уникнення означених складнощів багато авторів йдуть шляхом усереднення параметрів розглянутих систем, досить грубих оцінок параметрів та одержання усереднених значень цільової функції. Використання таких даних зумовлює неконтрольовані додаткові витрати матеріалу та витрати технічних ресурсів систем.

Ще одним засобом вибору і завдання керуючих параметрів систем є побудова і реалізація математичних моделей під певну задачу. Однак, на думку

автора, куди більш доцільніше запропонувати підхід до розрахунку і оптимізації цілого ряду об'єктів систем. Це дозволить, змінюючи набір чисельних методів, досягти оптимізації довільних систем, які містять джерела термовпливу.

У статті наведені математична модель основної оптимізаційної задачі пошуку раціональних значень параметрів точкового лазерного впливу на багатошаровий мікробіологічний матеріал та прикладні оптимізаційні математичні моделі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Актуальність питань дослідження привертала увагу провідних вітчизняних і закордонних вчених [1–4]. В роботах [1, 2] наведено аналіз наукових публікацій, які стосуються питань розрахунку та оптимізації теплофізичних, електротехнічних, гідродинамічних та інших систем під впливом джерел фізичних полів. Важливим у цих роботах є підхід до здійснення оптимізації довільних складних систем. Незважаючи на те, що в роботі [3] розглянуті питання технічного забезпечення електронно-промислового впливу та його застосування для різних технологічних процесів, дослідження не торкаються

питань оптимізації та завдання технічних параметрів лазерного впливу на багат шаровий мікробіологічний матеріал. Розглянутий у роботі процес суттєво відрізняється постановкою та реалізацією розрахункових і прикладних оптимізаційних математичних моделей. Авторами роботи [4] наведена електронно-променева дія на ембріон для 3-х певних режимів лазерного впливу. Однак не наведений розрахунок і оптимізація параметрів цільової функції.

Постановка завдання. Розробка математичних моделей та удосконалення існуючих чисельних методів реалізації прикладних оптимізаційних математичних моделей дозволить запропонувати універсальний підхід для реалізації одразу декількох прикладних оптимізаційних математичних моделей довільних теплофізичних систем для підвищення якості біотехнологічних процесів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Математична модель основної оптимізаційної задачі полягає в тому, що необхідно знайти

$$\underset{\substack{(x,y,z) \in \Omega^* \\ t \in [t_0, t^*] \\ z^* \in Z}}{extr} T(x, y, z, t, z^*), \quad (1)$$

де $T(x, y, z, t, z^*)$ – температурне поле області точок $(x, y, z) \in \Omega^*$ багат шарового мікробіологічного матеріалу $|$;

t_0 і t^* – початковий і кінцевий моменти часу t ;
 $z^* = (x, y, z, t, u, E, s(t), v(t), Q(x, y, z, t), S)$ – вектор параметрів лазерної дії;

- u – інтенсивність джерела;
- E – енергія дії;
- $s(t)$ – траєкторія руху джерела;
- $v(t)$ – швидкість руху джерела;
- $Q(x, y, z, t)$ – густина теплової дії;
- S – діаметр джерела.

Тобто, необхідно знайти такі параметри вектора z^* , які б забезпечували виконання екстремуму (1) в області точок $|^*$ при заданій системі обмежень на температурне поле і на компоненти вектора z^* .

Обмеження на розмір області багат шарового мікробіологічного матеріалу $|$:

$$\begin{cases} x_{\min} \leq x \leq x_{\max}; \\ y_{\min} \leq y \leq y_{\max}; \\ z_{\min} \leq z \leq z_{\max}. \end{cases}$$

Обмеження на тривалість дії лазерного променя:

$$t_{\min} \leq t \leq t_{\max}.$$

Обмеження на інтенсивність джерела:

$$u_{\min} \leq u \leq u_{\max}.$$

Обмеження на енергію дії:

$$E_{\min} \leq E \leq E_{\max}.$$

Обмеження на траєкторію:

$$s(t) \in M^*,$$

де M^* – множина всіх можливих траєкторій руху лазерного джерела по поверхні багат шарового мікробіологічного матеріалу.

Обмеження на швидкість руху джерела:

$$v_{\min} \leq |\dot{s}(t)| \leq v_{\max}.$$

Обмеження на густину теплового впливу:

$$Q_{\min} \leq Q(x, y, z, t) \leq Q_{\max}.$$

Обмеження на діаметр лазерного джерела у вигляді п'ятна:

$$S_{\min} \leq S \leq S_{\max}.$$

Обмеження на результуюче температурне поле:

$$T(x, y, z, t, z^*) \in T^*,$$

де T^* – допустимі значення температурного поля.

В залежності від мети оптимізації з математичної моделі основної оптимізаційної задачі випливають прикладні оптимізаційні моделі. Розглянемо найбільш типові з них.

Математична модель 1. Необхідно мінімізувати за параметрами теплової дії максимальне значення температурного поля в області точок $|^*$ багат шарового мікробіологічного матеріалу:

$$\min_{z^* \in Z} \max_{\substack{(x,y,z) \in \Omega^* \\ t \in [t_0, t^*]}} T(x, y, z, t, z^*), \quad (2)$$

Математична модель 2. Необхідно мінімізувати різницю між значеннями температурного поля T_i в заданих точках $(x_i, y_i, z_i) \in \Omega_i \in \Omega^*, i = 1, \dots, N$ багат шарової системи $|$ і наперед заданими допустимими значеннями температурного поля T^* , тобто знайти:

$$\min_{z^* \in Z} \max_{\substack{(x_i, y_i, z_i) \in \Omega_i \\ i=1, N \\ t \in [t_0, t^*]}} |T_i(x_i, y_i, z_i, t, z^*) - T^*|, \quad (3)$$

У формулі (3) t_0 – початковий момент часу t , t^* – кінцевий момент часу t , z^* – вектор параметрів теплової дії на багат шаровий мікробіологічний матеріал, T^* – допустимі значення температурного поля.

Математична модель 3. Автор розглядає задачу контролю характеру між шарового розподілу температурного поля. У цьому випадку потрібен

пошук таких параметрів теплового впливу z^* , щоб мінімізувати різницю між максимальними значеннями температурного поля в контрольованих шарах, тобто знайти:

$$\min_{z^* \in Z} \left| \max_{\substack{(x,y,z) \in N_1 \\ t \in [t_0; t^*]}} T(x,y,z,t,z^*) - \max_{\substack{(x,y,z) \in N_2 \\ t \in [t_0; t^*]}} T(x,y,z,t,z^*) \right|, \quad (4)$$

де N_1, N_2 – області, які займають контрольовані шари.

У свою чергу, $T(x,y,z,t,z^*)$ – температурне поле, t_0 та t^* – початковий і кінцевий моменти часу t , а z^* – вектор параметрів дії лазерного променя.

Математична модель 4. Диференціальний критерій, що полягає в максимізації числа життєздатних зародків, наприклад, при лазерному діленні ембріонів:

$$\sum_{i=1}^N T_i(x_i, y_i, z_i, t, z^*) \rightarrow \max_{\substack{(x_i, y_i, z_i) \in \Omega^* \\ t \in [t_0; t^*] \\ z^* \in Z \\ i=1, N}}, \quad (5)$$

$$\text{де } T_i = \begin{cases} 0, & \text{якщо } T_i > T^*, \\ 1, & \text{якщо } T_i \leq T^*, \end{cases}$$

T^* – допустима температура в точках зародків.

Слід зазначити найбільш характерні особливості математичної моделі основної оптимізаційної задачі та прикладних математичних моделей: велика розмірність шуканих параметрів; система обмежень є нелінійною; область допустимих розв’язків у загальному випадку є багатозв’язною; цільові функції є нестационарними, нелінійними, багатовимірними; задачі оптимізації – багатоекстремальні; пошук і напрямлений перебір локальних екстремумів пов’язаний із необхідністю розв’язання серії нелінійних, нестационарних крайових задач; потрібні значні часові витрати на розв’язання останніх; пошук рекордного значення цільової функції пов’язаний зі значними часовими витратами. Наведені особливості впливають на вибір та обґрунтування чисельних методів реалізації прикладних оптимізаційних математичних моделей. Деякі аспекти процесу математичного моделювання та оптимізації багатопарових систем, які містять дискретні джерела термонавантажень, розглянуті в роботах [5–7].

В основі розрахункової математичної моделі процесу дії лазерного променя на 3-х шаровий кулястий мікробіологічний матеріал із неоднорідними включеннями лежить крайова задача:

$$\begin{cases} \rho_1 c_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} - \lambda_1 \left(\frac{\partial^2 T_1}{\partial r^2} + \frac{2}{r_1} \frac{\partial T_1}{\partial r} \right) + q_1 = 0 & \text{при } r \in [0; r_1], t \in [0; t_1]; \\ \rho_2 c_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} - \lambda_2 \left(\frac{\partial^2 T_2}{\partial r^2} + \frac{2}{r_2} \frac{\partial T_2}{\partial r} \right) + q_2 = 0 & \text{при } r \in [r_1; r_2], t \in [t_1; t_2]; \\ \rho_3 c_3 \frac{\partial T_3}{\partial t} - \lambda_3 \left(\frac{\partial^2 T_3}{\partial r^2} + \frac{2}{r_3} \frac{\partial T_3}{\partial r} \right) + q_3 = 0 & \text{при } r \in [r_2; r_3], t \in [t_2; t_3], \end{cases} \quad (6)$$

де ρ_e – коефіцієнт густини e -го шару;

c_e – коефіцієнт теплоємності;

$T_e = T_e(r, t)$ – температурне поле;

r – просторова змінна;

t – час дії лазерного променя;

r_e – відстань від центру джерела теплового впливу у вигляді п’ятна до точки в e -му шарі мікробіологічного матеріалу, у якій визначається значення температурного поля;

λ_e – коефіцієнт теплопровідності e -го шару;

q_e – питома щільність потужності теплових навантажень.

Граничні умови Діріхле:

$$\begin{cases} T(r_0, t_0) = T_n; \\ T(r_5, t_5) = T_k, \end{cases} \quad (7)$$

де T_n – температура мікробіологічного матеріалу на початку дії лазерного променя;

T_k – температура наприкінці дії лазерного променя.

Гранична умова теплового обміну між зовнішнім шаром мікробіологічного матеріалу та навколишнім середовищем:

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r}(0, t) = qS, \quad 0 \leq t \leq h, \quad (8)$$

де q – питомий тепловий потік;

S – діаметр джерела теплової дії, тобто п’ятна;

h – тривалість дії джерела.

Розв’язок диференціального рівняння теплопровідності системи (6) запишемо у вигляді:

$$T(r, t) = T_{3,0}(r, t) + T_{ч.н.}(r, t), \quad (9)$$

де $T_{3,0}(r, t)$ – загальний однорідний розв’язок;

$T_{ч.н.}(r, t)$ – частковий неоднорідний розв’язок.

Загальний неоднорідний розв’язок рівняння теплопровідності шукатимемо у вигляді:

$$T(r, t) = u(r)v(t), \quad (10)$$

Отримаємо:

$$v'(t)u(r) - a(v(t)u''(r) + \frac{2}{r}v(t)u'(r)) = 0, \quad (11)$$

де $a = \frac{\lambda}{\rho c}$ – коефіцієнт теплопровідності.

Провівши ряд алгебраїчних перетворень [8], автор знайшов два розв'язки:

$$u_1(r) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{c^k r^{2k-1}}{a^k ((2k)!!)^2} \quad \text{і} \quad u_2(r) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{c^k r^{2k}}{a^k ((2k+1)!!)^2}$$

Підставивши їх у диференціальне рівняння (11), було отримано аналітичний вираз для цільової функції:

$$T(r, t) = T(0, 0)e^{cr} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{c^k r^{2k}}{a^k ((2k+1)!!)^2} - \frac{q_e}{6a} r^2 g(t)$$

Процес оптимізації параметрів автор здійснював таким чином. Було проведено редукцію розмірності вектора параметрів лазерної дії, відокремивши параметри, які буде оптимізовано, інші залишимо без змін. Сформовано рівномірну сіткову модель дискретизації оптимізованих параметрів. Розв'язано крайову задачу системи диференціальних рівнянь теплопровідності для кожного вузла сіткової моделі.

Згідно з диференціальним критерієм (математична модель 4) розраховано травмованість мікробіологічного матеріалу у вузлових точках крупної рівномірної сітки. Напрявлений пошук локального екстремуму здійснювався кроковим методом по вузлах сітки. Методом напрямленого перебору автор рухався вузлами сіткової моделі від вузла, в якому досягалося найбільше значення травмованості мікробіологічного матеріалу (5) до вузла з меншою травмованістю.

Для знаходження технічних параметрів, завдання яких дозволило б здійснити процес лазерної сегментації та зменшити травмованість мікробіологічного матеріалу, автором проведено

подрібнення кроків сіткової моделі. Після цього процес повторився, покроковий аналіз травмованості мікробіологічного матеріалу у вузлових точках продовжився.

Критеріями припинення пошуку локальних екстремумів слугуватиме закінчення часу, відведеного для оптимізації; досягнення необхідної точності розв'язання крайових задач; отримання досить малої величини неузгодженості значень контрольованого диференціального критерію (5) у вузлових точках сітки.

Висновки. У статті розглянутий процес математичного моделювання та пошуку оптимальних параметрів багат шарових біотехнологічних систем під дією дискретних джерел термічного навантаження. Автором запропоновані деякі прикладні оптимізаційні математичні моделі, які впливають із постановки основної оптимізаційної задачі пошуку раціональних параметрів систем. Значну увагу в роботі приділено питанням чисельної реалізації прикладних оптимізаційних математичних моделей.

Незважаючи на наведений у роботі алгоритм для чисельної реалізації лише двох прикладних оптимізаційних математичних моделей, використання запропонованого автором підходу дозволить реалізувати процес оптимізації більшого числа параметрів цільової функції, дасть змогу досягти зниження витрат досліджуваного матеріалу та технічних ресурсів.

Практичне застосування отриманих у роботі результатів дозволить оптимізувати процеси лазерного ділення ембріонів з метою їх подальшої трансплантації, ділення штучної і натуральної шкіри при лікуванні значних опіків і в інших галузях.

Список літератури:

1. Стоян Ю.Г., Путятин В.П. Оптимизация технических систем с источниками физических полей. К. : Наук. думка, 1988. С. 44–48.
2. Стоян Ю.Г., Путятин В.П. Размещение источников физических полей. К. : Наук. думка, 1981. С. 59–87.
3. Чубаров Е.П. Управление системами с подвижными источниками воздействия. М. : Энергоатомиздат, 1985. 288 с.
4. Douglas-Hamilton D.H., Conia J. Thermal effects in laser-assisted pre-embryo zona drilling. *Journal of Biomedical Optics*. 2001. Vol. 6, Issue 2. P. 205. DOI: 10.1117/1.1353796.
5. Мегель Ю.Е., Путятин В.П., Левкин Д.А., Левкин А.В. Математическое моделирование и оптимизация параметров действия лазерного луча на многослойные биоматериалы. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ» : Збірник наукових праць. Серія «Механіко-технологічні системи та комплекси»*. Х. : НТУ «ХПІ», 2017. № 20(1242). С. 60–64.
6. Левкин Д.А. Математичні моделі оптимізації параметрів дії лазерного променя на багат шарові біосистеми. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ» : Збірник наукових праць. Серія «Механіко-технологічні системи та комплекси»*. Х. : НТУ «ХПІ», 2014. № 60(1102). С. 77–84.
7. Levkin A., Levkina R., Petrenko A., Chaliy I. Economic Security as a Result of Modern Biotechnology Implementation: 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology (PIC S & T 2019) (8-11 October 2019 Kyiv). Kyiv, 2019. P. 139–142.
8. Левкин Д.А. Математическое моделирование и оптимизация многослойных систем. *Енергетика і автоматика*. Київ : НУБіП України, 2019. № 1(41). С. 45–56. DOI: 10.31548/energiya2019.01.045.

Levkin D.A. APPLIED MODELS AND METHODS OF SYSTEM OPTIMIZATION

The article deals with some aspects of calculation and optimization of multilayer systems parameters, which are influenced by concentrated moving sources of heat load. The object under study is multilayer spherical microbial material under the influence of concentrated scanned laser sources. The main optimization problem of the search for rational parameters of laser action on multilayered microbiological systems is formulated, taking into account the restrictions on the temperature fields and technical parameters of the emitters, as well as the requirements for the end result, namely, to the values of the required parameters of the laser in order to ensure the viability of the material process material segmentation.

Based on the main optimization problem formulation, the article presents several applied optimization mathematical models. Formalization and systematization of applied optimization problems, which are partial cases of the main optimization problem, are carried out. The characteristic features of their mathematical models were investigated, which made it possible to reasonably make a choice of methods for their numerical realization. A modification of a search engine optimization method based on the compositions of numerical methods that create a computational structure is proposed. The paper presents a boundary value problem of a system of non-uniform differential equations of thermal conductivity, which underlies the calculated mathematical model of the process of thermal influence, and outlines steps for the implementation of the optimization process using numerical methods. It should be noted that the results of the studies are universal in nature and can be applied to optimize the processes of division of artificial and genuine skin in the treatment of major burns; welding of biomaterial; use in the practice of microsurgery, ophthalmology, cosmetology and other fields.

Key words: *optimization, mathematical models, search engine optimization method, boundary value problem, numerical methods.*

Мищенко І.Л.

Одеський національний політехнічний університет

ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ПІДЖИВЛЮВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ТЕПЛОВОЇ МЕРЕЖІ

У статті проводиться порівняльний аналіз ефективності автоматичної системи регулювання підживлювальної установки теплової мережі для різних варіантів структури системи регулювання. Основним завданням регулювання підживлювальної установки є поповнення втрат у тепловій мережі, підтримка температури води в зворотному трубопроводі, рівня в резервному баку та тиску в трубній системі. Поповнення втрат здійснюється за допомогою підкачки холодної води у систему, що призводить до зниження температури води, яка надходить до котлоагрегату. Це зменшує коефіцієнт корисної дії теплоелектроцентралі.

Оптимізація структури виконується для системи регулювання температури, оскільки вона є найскладнішою в установці, підвищення якості її роботи дає найбільший системний ефект. Крім того, об'єкт регулювання має тенденцію до зміни властивостей у процесі експлуатації внаслідок утворення накипу на внутрішніх стінках теплообмінників і трубопроводів, що негативно впливає на якість перехідного процесу регулювання та знос теплофікаційного обладнання.

У роботі буде розглянуто класичну одноконтурну систему регулювання та альтернативний варіант у вигляді інваріантної системи. Їх порівняння здійснюється за допомогою основних критеріїв якості перехідного процесу регулювання, також враховується складність синтезу та налаштування системи. Як результат автор планує визначити доцільність переходу з класичної на альтернативну структуру системи регулювання. Для визначення параметрів регуляторів використовується методика налаштування одноконтурних систем регулювання для об'єктів із запізненням, розроблена засновником кафедри автоматизації в ОНПУ Л.Й. Коном.

Ключові слова: підживлювальна установка теплової мережі, автоматична система регулювання (АСР), інваріантна АСР, критерій якості, перехідний процес регулювання, ємнісне запізнення.

Постановка проблеми. Протяжність теплових мереж у містах, особливо в мегаполісах, досягає кількох сотень кілометрів. До теплових мереж приєднані тисячі споживачів, тому втрати теплоносія неминучі. Втрати тепла в системах теплопостачання є зовнішніми, характерними саме для теплоелектроцентралей, іноді вони сягають кількох сотень тонн на годину. Тому на теплоелектроцентралі (далі – ТЕЦ) ці втрати повинні поповнюватися за допомогою підживлювальної установки, яка слугує ще й для підігріву теплоносія. З огляду на значну інерційність температури, ємнісне запізнення по каналу регулювання може досягати десятків секунд. Через це знижується якість регулювання, або налагодження регулятора взагалі не можливе. Тому постає питання про вдосконалення структури автоматичної системи регулювання з метою покращення показників якості перехідного процесу регулювання (далі – ППР).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як у часи розвитку теорії автоматичного управління [1], так і у наш час [2] для автоматизації

підживлювальних установок використовуються переважно ПІ – регулятори, які показують високу якість регулювання. Під час експлуатації теплофікаційне обладнання має тенденцію змінювати свої характеристики через утворення накипу на внутрішніх стінках, що зменшує його теплопровідність і підвищує інерційність температури. Цікавий метод вирішення подібної проблеми є в [3], де для подолання інерційності на великій ділянці пароперегрівача використовують швидкісний сигнал із проміжної точки. По суті цей сигнал є величиною збурення, а досліджуваний об'єкт дозволяє його виміряти. В результаті шляхом незначної зміни структури системи регулювання теоретично можна покращити не тільки показники якості у процесі тривалої експлуатації, а й на момент старту кампанії.

Постановка завдання. Для досягнення мети роботи, а саме покращення показників якості перехідного процесу регулювання, необхідно виконати ряд задач: обрати можливі варіанти структури АСР для підживлювальної установки

теплової мережі, визначити показники для порівняння якості, налаштувати системи, провести аналіз перехідних процесів регулювання.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Технологічну ділянку можна зобразити у вигляді такої моделі, де регульованими параметрами є температура води та рівень у резервному баку, основні збурення – витрата на підживлення та витрата у зворотному трубопроводі, керуючі параметри – витрата гарячої та холодної води. Детальна схема з перехресними зв'язками між параметрами наведена на рисунку 2.

Для цієї ділянки класичною стала одноконтурна система регулювання з ПІ-регулятором [4]. Її реалізація зображена на рисунку 3.

Як альтернативу їй можна розглянути інваріантну АСР, яка відрізняється введенням до регу-

лятора додаткового сигналу за збуренням. Через неможливість технічної реалізації ідеального пристрою зв'язку [4] сигнал проходить через реальний диференціатор. Для об'єктивності результатів експерименту обидві системи регулювання налагоджуються за методикою Л.І. Кона з коефіцієнтом коливальності $m = 0,22$ [5].

Налаштування такої системи завжди викликає труднощі, адже вона має чотири взаємозалежні параметри, тому при необхідності варіювання одного з них доводиться перераховувати інші. Порівняння перехідних процесів регулювання при однаковому збуренні наведено на рисунку 5.

Критеріями якості ППР температури будуть:

1. Максимальне відхилення регульованої величини A_1 .
2. Час регулювання t_p .

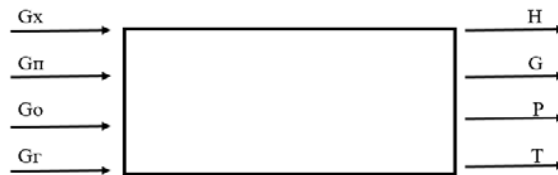


Рисунок 1. Параметрична схема моделі технологічної ділянки: G_x – витрата холодної води, $G_п$ – витрата води на підживлення, G_o – витрата води в зворотному трубопроводі, G_r – витрата гарячої води, H – рівень води, G – витрата води, P – тиск у магістралі, T – температура води

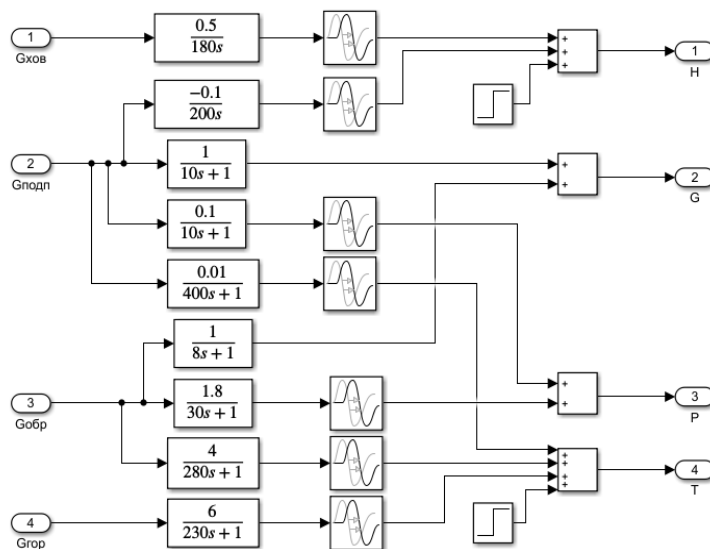


Рисунок 2. Імітаційна модель об'єкта в середовищі Simulink. Входи: 1 – канал регулювання рівня, 2 – збурення рівня, 3 – основне збурення температури, 4 – канал регулювання температури. Виходи: 1 – рівень, 2 – витрата, 3 – тиск, 4 – температура

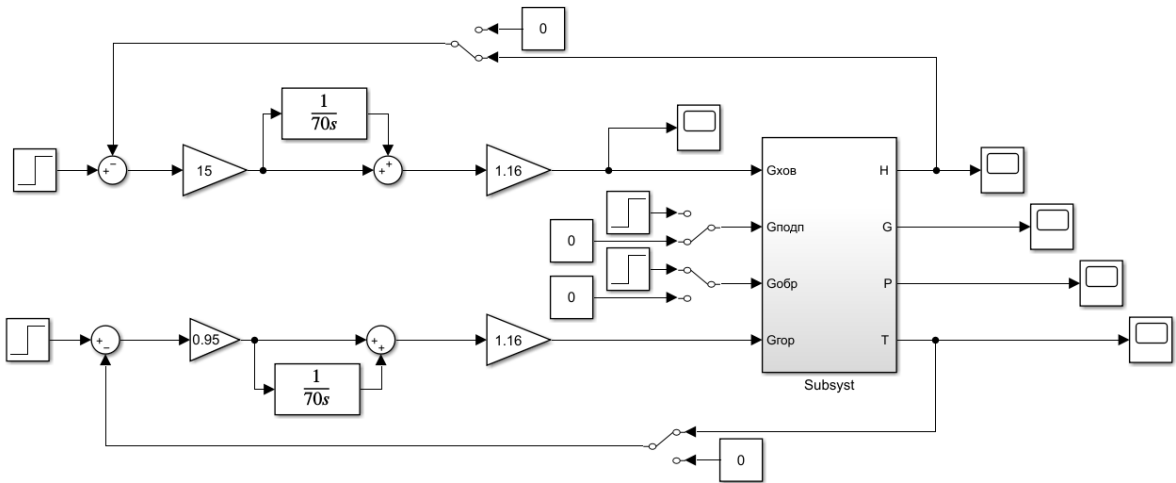


Рисунок 3. Схема одноконтурної АСР

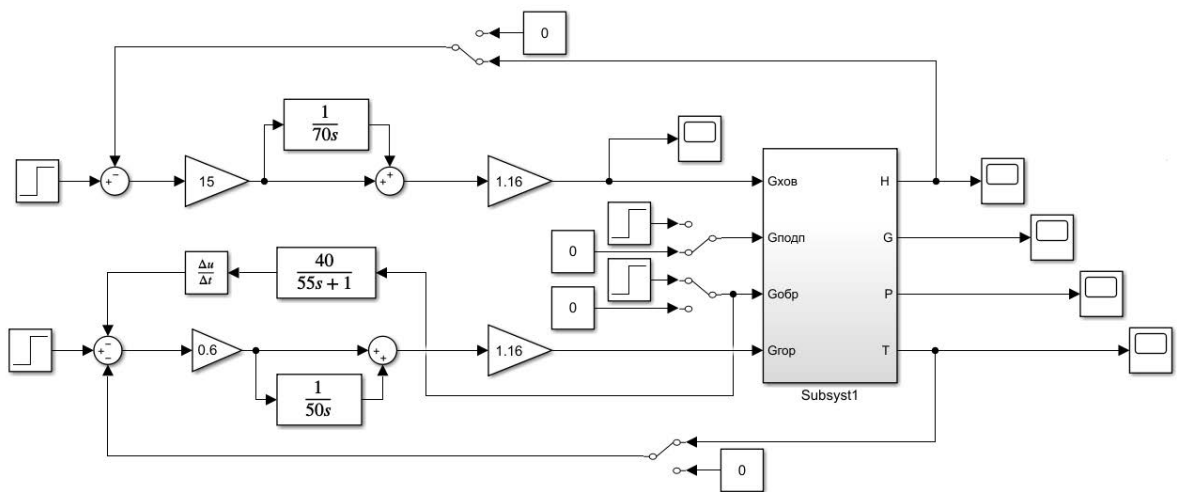


Рисунок 4. Схема інваріантної АСР

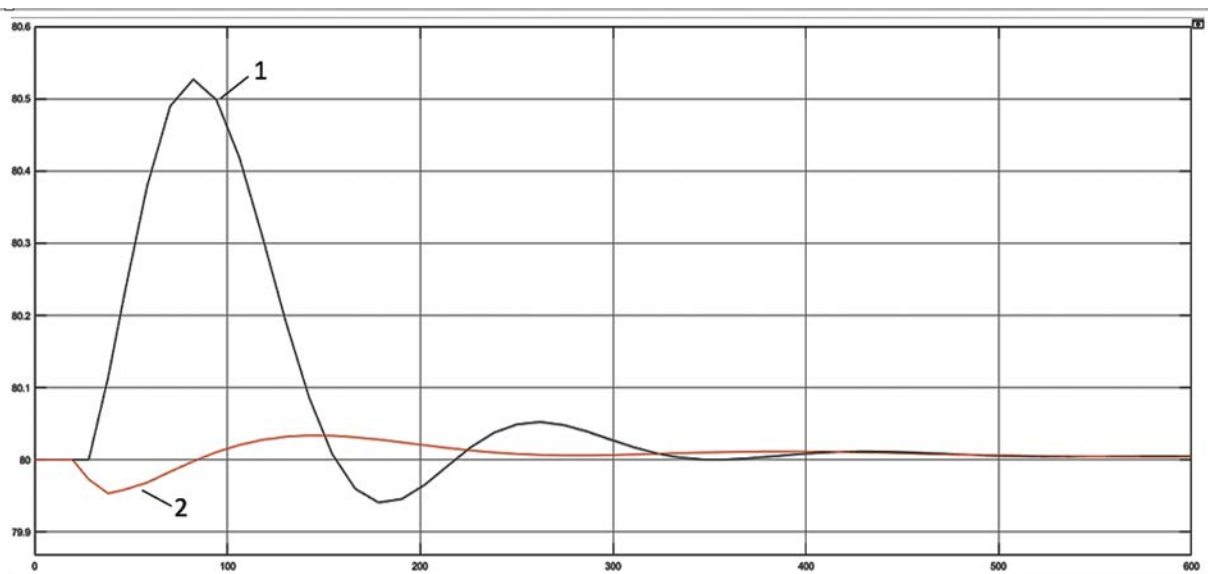


Рисунок 5. Порівняння ППР: 1 – одноконтурна АСР, 2 – інваріантна АСР

3. Динамічний коефіцієнт регулювання:

$$R_d = \frac{A_1}{A_0} \cdot 100\% \quad (1)$$

де A_0 – відхилення регульованої величини при вимкненні регулятора

4. Міра згасання коливань перехідного процесу:

$$\psi = \frac{A_1 - A_3}{A_1} \quad (2)$$

де A_3 – відхилення при третьому коливанні

5. Коефіцієнт коливальності:

$$\sigma = \frac{A_2}{A_1} \cdot 100\% \quad (3)$$

де A_2 – відхилення при другому коливанні

Висновки. Використання більш складної структури системи регулювання має очевидні переваги, а саме майже повну відсутність відхилення регульованої величини за рахунок регулювання на випередження. Враховуючи це, можна знехтувати значним часом регулювання.

Список літератури:

1. Ключев А.С., Лебедєв А.Т. Настройка автоматических систем и устройств управления технологическими процессами. Москва : Энергия, 1977. 351 с.
2. Попов Н.А. Автоматизация систем теплогазопостачання та вентиляції: навчальний посібник. Новосибірськ : НГАСУ (Сибстрин), 2008. 59 с.
3. Давидов Н.І., Тюпіна Т.Г. Дослідження системи регулювання температури пари з двома випереджаючими швидкісними сигналами. Теплоенергетика. 2002. № 10. С. 17–21.
4. Харабет А.Н. Вивчення класичної теорії автоматичного управління за допомогою сучасного персонального комп'ютера : навчальний посібник. Одеса : Бахва, 2014. 188 с.
5. Кон Л.Й. Методичні вказівки й таблиці для вибору налаштувань ПІ та П регуляторів в одноконтурних системах регулювання теплових об'єктів із запізненням. Одеса, 1975. 85 с.

Mishchenko I.L. SELECTION THE OPTIMAL STRUCTURE OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF THE SUPPLYING HEATING NETWORK

The article provides a comparative analysis of the efficiency of the automatic control system of the feeder of the thermal network for different variants of the structure of the control system. The main task of regulating the feeder is to replenish losses in the heat network, to maintain the water temperature in the return pipeline, the level in the backup tank and the pressure in the pipe system. Replacement of losses is carried out by pumping cold water into the system, which leads to a decrease in the temperature of the water entering the boiler, which in turn reduces the efficiency of the thermal power plant.

The optimization of the structure is performed for the temperature control system, as it is the most difficult to install, improving the quality of its operation gives the greatest systemic effect. In addition, the control object tends to change properties during operation as a result of scale formation on the inner walls of heat exchangers and pipelines, which negatively affects the quality of the transient control process and the wear of the heating equipment. The paper will consider a classic single-circuit control system and an alternative variant in the form of an invariant system. Their comparison with each other is carried out using the basic quality criteria of the transient adjustment process, and also takes into account the complexity of the synthesis and tuning of the system.

As a result, it is planned to determine the feasibility of transitioning from the classical to the alternative structure of the regulatory system. As a result, it is planned to determine the feasibility of transitioning from the classical to the alternative structure of the regulatory system. The regulators adjustment technique, that used, developed by the founder of automation department L. Y. Kon.

Key words: feeder, automatic control system (ACS), invariant ACS, quality criterion, capacitive delay.

Критерії якості перехідного процесу регулювання

	Інваріантна	Одноконтурна
Максимальне відхилення A_1	0,05°C	0,53°C
Час регулювання t_p	900 с	330 с
Динамічний коефіцієнт регулювання R_d	1,175%	12,92%
Міра згасання коливань ψ	0,87	
Коефіцієнт коливальності σ	35%	11,3%

Класична система має в декілька разів більше початкове відхилення, тим не менш воно не виходить за межі норми. Покращення показників якості нівелюється складністю налаштування інваріантної АСР, тому доцільним є подальше використання саме класичної схеми регулювання. Інваріантну структуру рекомендовано використовувати на об'єктах, де мають місце значні збурення, через її здатність тримати регульований параметр у допустимих межах.

Орлов О.І.

Одеський національний політехнічний університет

МОДЕЛЮВАННЯ ЗМІНИ РІВНЯ ВОДИ В ГІДРАВЛІЧНІЙ ЄМНОСТІ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РІВНЯ ВОДИ З РОЗРОБЛЕННЯМ НАУКОВОГО СТЕНДУ Й АПАРАТНИХ ПРИСТРОЇВ

У статті досліджена модель автоматичної системи регулювання зміни рівня води в гідравлічній ємності з можливістю зміни завдання рівня і ступеня відкриття заслінок зливу і збурення витоку, математична модель зміни рівня води в гідравлічній ємності, розроблений програмний код для управління кутом повороту заслінок, включення і виключення насоса через реле напруги з використанням різних бібліотек, датчиків і модулів. Все це має вигляд навчального лабораторного стенду.

Технічна і програмна реалізація заснована на використанні сучасного мікропроцесорного комплексу Arduino Uno, який має широкий спектр прилеглих до нього можливостей налаштувань, бібліотек і евайсів, що робить його універсальним для багатьох об'єктів регулювання. Навчально-лабораторний стенд має замкнутий контур із відсутністю необхідності додавання рідини і можливості заповнення системи, витоку.

Науково-лабораторний стенд був зібраний на основі лабораторного столу, що дозволило розмістити досить об'ємні агрегати, не займаючи багато корисної площі. Габарити стенду і розміри ємностей дозволяють ефективно досліджувати перехідні процеси регулювання і вживати всіх необхідних заходів для управління об'єктом. Стенд оснащений широким екраном для візуалізації перехідних процесів регульованої величини і відображення положення заслінки, клавіатурою для завдання керуючого впливу і переміщення по меню управління стендом у реальному часі, пультом управління зміни завдання рівня.

Враховано можливість підключення до мікропроцесора Arduino для перепрограмування контролера, додані місця для можливості удосконалення стенду різними модулями і датчиками. Модернізація лабораторної бази для підготовки фахівців з автоматизації передбачає створення нових навчальних лабораторій для дослідження комп'ютерно-інтегрованих систем управління рівня рідини. Навчання студентів із використанням цієї лабораторної установки дозволить сформуванню необхідних практичних навичок і виробити необхідні компетенції для їх майбутньої професійної діяльності.

Ключові слова: автоматична система регулювання, зміна рівня води, гідравлічна ємність, математична модель, навчальний стенд.

Постановка проблеми. У багатьох галузях сучасної промисловості економічна і безпечна робота з високою продуктивністю технологічних процесів вимагає використання сучасних методів і приладів вимірювання, які стежать за станом обладнання і ходом процесів. Одним із таких завдань є контроль за рівнем і витратою рідини. В енергетичному, хімічному, нафтохімічному та нафтопереробному виробництвах, у харчовій промисловості, виробництві будівельних матеріалів, у системах екологічного моніторингу та в багатьох інших галузях вимірювання рівня рідин – один із ключових моментів, оскільки перелив або спустошення ємності може призвести до серйозних негативних наслідків.

Для контролювання зміни рівня використовують спеціальні датчики. Вони бувають декількох видів:

1. Поплавкові.
2. Електроодні.
3. Гідростатичні.
4. Радарні.
5. Ємнісні.

Перші три можна віднести до приборів контактного типу, оскільки вони безпосередньо взаємодіють із робочим середовищем (рідиною), четвертий та п'ятий – безконтактні.

Постановка завдання. Основною метою статті є розробка автоматизованої системи регулювання зміни рівня води в гідравлічній ємності з використанням сучасних засобів автоматизації, а саме мікропроцесорний комплекс Arduino Uno; розроблення інтерфейсу для ручного та автоматичного керування процесом; розроблення аспр та монтажу у вигляді навчального стенду.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Принципова схема розробленого стенду зображена на рис. 1. Установка складається з трьох ємностей, виконаних із оргскла, наповнених дистильованою водою. Загальна кількість дистильованої води – 10 л. Циркуляція рідини відбувається за допомогою насоса 5, знятого з пральної машини, потужністю 30 ватт. Регулювання рівня проходить у центральній ємності 2 розміром 10x10x35. Щоб уникнути переливання рідини в першій та другій ємностях, на їх краях встановлені запобіжні датчики 13 і 14, а об'єм ємності 3 вміщає в себе рідину з усього стенду. Надходження рідини з першої ємності в другу відбувається самопливом та обмежується заслінкою 11 зі сервоприводом 8. Між першою ємністю та насосом встановлений зворотній клапан 6, щоб запобігти потраплянню повітря в систему. У другій ємності встановлена силіконова трубка, яка слугує чутливим органом для датчика 9 тиску MPXV5050GP. Злив рідини з другої ємності також відбувається самопливом за допомогою заслінки 10 зі сервоприводом 7. Для збурення системи використовується клапан ручної дії 15. За регулювання всієї системи відповідає блок «Регулятор» 4, який складається із:

- основного блоку живлення 12В;
- реле вкл. /викл. насосу;
- дисплея для відображення інформації;
- джойстика управління меню на дисплеї;
- мікропроцесора Arduino Uno.

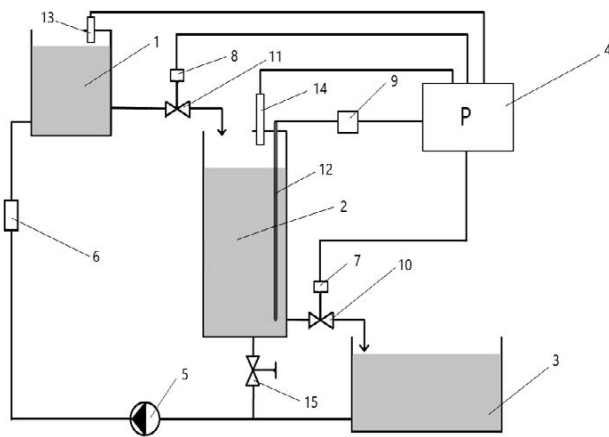


Рис. 1. Принципова схема установки:

- 1 – ємність для подачі рідини;
- 2 – ємність з регулюванням рівня; 3 – збиральна ємність; 4 – блок-регулятор Arduino Uno;
- 5 – насос; 6 – зворотній клапан; 7 – сервопривід на заслінці зливу; 8 – сервопривід на заслінці подачі; 9 – датчик тиску MPXV5050GP;
- 10 – заслінка зливу; 11 – заслінка подачі;
- 12 – чутливий орган датчика; 13, 14 – запобіжні датчики переливу; 15 – заслінка збурення

Стенд має два режими роботи – авто та ручний, які вмикаються в меню управління. При автоматичному режимі регулятор координує градус відкриття / закриття заслінок, а при ручному режимі – можна задати цей градус самостійно. Обидві заслінки відкриваються або закриваються за допомогою сервоприводів з інвертним регулюванням. Сервоприводи Towerpro MG996R мають живлення від 4,8 до 7,2 В та пусковий момент 10 кг*см, який дає змогу легко повертати заслінку на 90 градусів. Циркуляційний насос живиться від 220 В та включається через кожні 50 с за допомогою реле SRD-05VDC-SL-C AC250V 10A, щоб наповнити ємність 1 до відсічки кінцевим датчиком 13.

Для вимірювання рівня був використаний п'єзрезистивний перетворювач MPXV5050GP – сучасний датчик тиску для широкого спектра застосувань, який добре працює з мікроконтролерами або мікропроцесорами з А / Ц входами. Весь процес був реалізований на базі Arduino Uno. Arduino Uno побудовано на мікроконтролері ATmega328 – це остання версія базової плати Arduino, а також перша за популярністю. Серія Un, яка відрізняється від попередніх плат тим, що не використовує мікросхему FTDI USB-to-serial перетворювача.

Мікроконтролер ATmega328 має 32 кБ флеш пам'яті, з яких 0,5 кБ використовується для зберігання завантажувача, а також 2 кБ ОЗУ (SRAM) і 1 Кб EEPROM. Основна інформація виводиться на дисплей ARDUINO LCD. Перше, що радує, – низька ціна, друге – наявність готових бібліотек під Arduino, але для підключення цього дисплея потрібен модуль ІС, І2С, TWI SPI, який використовується для роботи з 1602 ЖК-дисплеєм через інтерфейс ІС. Оскільки ресурсу контактів після підключення ряду модулів на контролері Arduino часто стає недостатньо, виникає необхідність у їх економії, наприклад за допомогою цього модуля. Вже на підключеному дисплеї бачимо кілька розділів меню:

- вибір режиму керування;
- положення сервоприводів;
- налаштування регулятора ПІД;
- меню задачі рівня.

За допомогою такого стенду отримані експериментальні криві розгону (рис. 2) по каналу управління (а) та каналу збурення (б).

Розроблений стенд функціонує згідно такого алгоритму: Так на початку роботи зі стендом вмикається реле пуску насосу та наповнюється перша ємність до відсічки. Після наповнення

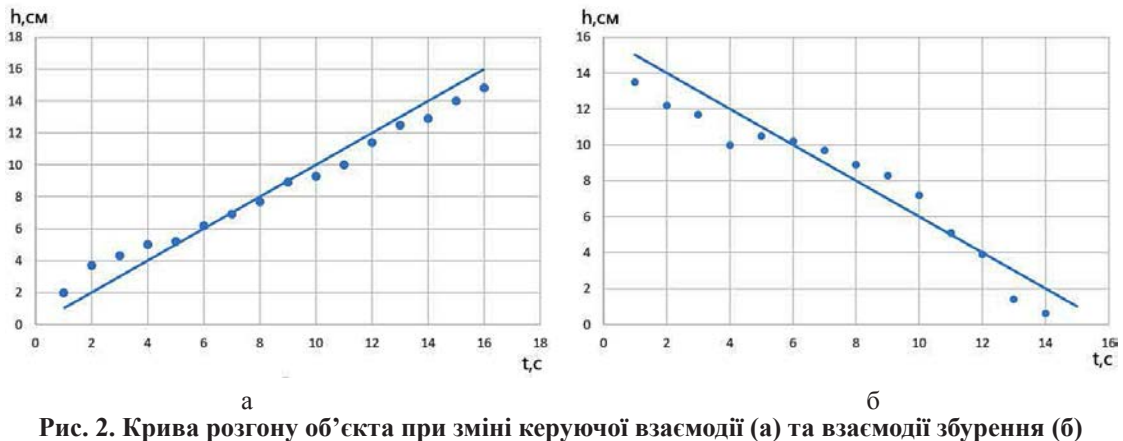


Рис. 2. Крива розгону об'єкта при зміні керуючої взаємодії (а) та взаємодії збурення (б)

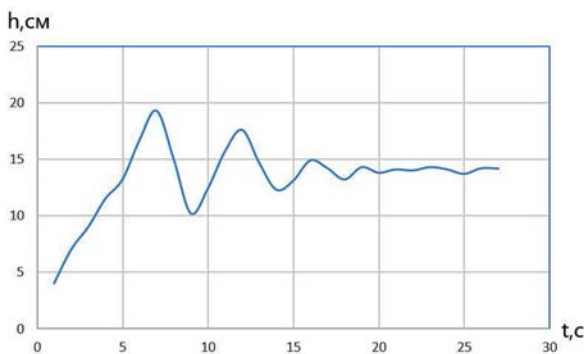


Рис. 3. Перехідний процес регулювання рівня при зміні завдання

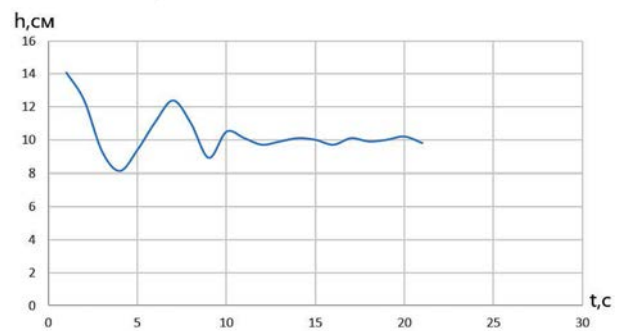


Рис. 4. Перехідний процес регулювання рівня при дії збурення

відкривається заслінка 11 на 100%, тобто 90 градусів, заслінка 10 закривається на 100%. Система реагує на показники датчика та передає інформацію на сервоприводи через контролер.

Розроблений стенд дозволяє отримувати дані, за якими можна побудувати графіки перехідних процесів регулювання, демонструє відмінну дію ПД закону регулювання [1, с. 174–175] у складі асп рівня (рис. 3, 4). Коли рівень досягає заданого значення (14 см), як це показано на рис. 3, сервопривід починає закривати подачу в другу ємність та відкривати злив у третю ємність.

При відкритті заслінки збурення, імітуючи відтік рідини з ємності та зміну заданого рівня, система реагує на зниження рівня – починає закривати заслінку зливу, відкривати заслінку подачі.

Через інвертне управління система реагує та виходить у задані значення в рази швидше, що показано на рис. 4.

Висновки. Такий стенд дає змогу використовувати його для проведення лабораторних робіт для студентів. Автор підтвердив, що використання платформи Arduino та допоміжних модулів розкриває великий спектр дій у галузі автоматизації, відкриває можливість створення лабораторних установок з іншими технологічними процесами.

На базі цього стенду був розглянутий технологічний процес регулювання зміни рівня води в гідравлічній ємності з розробкою програмного забезпечення та можливістю відображення й зміни даних для регулювання рівня води.

Список літератури:

1. Ложечников В.Ф., Михайленко В.С. Методи побудови адаптивних систем управління / Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. 2009. С. 174–179.
2. Беркович В.М., Горохов В.Ф., Татарніков В.П. Про можливість регулювання потужності енергосистеми за допомогою атомних електростанцій. Теплоенергетика. Вип. 6. 19 с.
3. Давыдов В.О., Крылов В.Н., Максимов М.В. Автоматизированная система распознавания / Искусственный интеллект. 2002. С. 462–469.

4. Тодорцев Ю.К., Бундюк А.М., Ларіонова О.С. Математична модель контуру теплопостачання когенераційної енергетичної установки / Автоматика, автоматизація, електротехнічні комплекси та системи. 2009. С. 8–11.

Orlov O.I. MODELING THE CHANGE IN WATER LEVEL IN A HYDRAULIC CAPACITY AND RESEARCHING A COMPUTER-INTEGRATED WATER LEVEL CONTROL SYSTEM, WITH THE DEVELOPMENT OF A SCIENTIFIC STAND AND HARDWARE DEVICES

This article explores a model of an automatic control system for changing the water level in a hydraulic tank with the possibility of changing the level and degree of opening of the drain valves and disturbances simulating a leak, a mathematical model of changing the water level in a hydraulic tank, a program code is developed to control the angle of rotation of the valves, the on time and shutting down the pump through a voltage relay using various libraries, sensors and modules. All of the above has the appearance of an educational laboratory stand.

The technical and software implementation is based on the use of the modern Arduino Uno microprocessor complex, which has a wide range of settings, libraries and devices adjacent to it, which makes it universal for many regulatory objects. The training laboratory bench has a closed circuit with no need to add fluid and the possibility of airing the system, and the possibility of leakage. The scientific and laboratory stand was assembled on the basis of a laboratory table, which made it possible to place rather voluminous units without occupying much useful area.

The dimensions of the stand and the dimensions of the tanks allow you to effectively explore the transient processes of regulation and take all necessary actions to manage the facility. This stand is equipped with a wide screen for visualizing transients of adjustable magnitude and displaying the position of the shutter; a keyboard for setting the control action and moving through the stand control menu in real time, and a control panel for changing the level setting.

The possibility of connecting to the Arduino microprocessor for reprogramming the controller has been taken into account, places have been added for the possibility of improving this stand with various modules and sensors. The modernization of the laboratory base for the training of automation specialists involves the creation of new educational laboratories for the study of computer-integrated fluid level control systems. Teaching students using this laboratory setup will allow you to create the necessary practical skills and develop the required competencies for the future professional activities of students.

Key words: *automatic control system, water level change, hydraulic capacity, mathematical model, training stand.*

UDC 004.021

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.1-1/21>

Paulin O.M.

Odessa National Polytechnic University

Komleva N.O.

Odessa National Polytechnic University

Sinegub M.I.

Odessa National Polytechnic University

Sarafaniuk D.E.

Odessa National Polytechnic University

ABOUT MODIFICATION THE COVERAGE ALGORITHM USING THE “MINIMUM COLUMN – MAXIMUM ROW” METHOD

The paper considers the search algorithm for coverage by the method of “minimum column – maximum row”. Unlike exact algorithms based on the methods of “full search”, “boundary search”, “using the properties of the coverage table”, this algorithm is approximate – there is no guarantee of obtaining the shortest coverage. However, instead of some deterioration in the quality of the computational process (CP) of the search for coverage, its significant acceleration is achieved.

In order to further accelerate the search coverage CP, we propose to use an additional data structure, namely: an integer characteristic vector. The characteristic vector is intended for the initial preparation of data on the coverage table (CT) in the form of the sum of the individual elements of the columns/rows of the CT and the reflection of the current state of the CT when simulating its simplification (in reality, the CT does not change). This approach takes the solution of the coverage problem to a higher level of generalization.

For additional acceleration, a mask (binary vector) is introduced, obtained from the row vector by replacing the integer values of its elements with “1” values. Using the mask in the minimum column, those elements that have a value “0” in the converted row vector are zeroed, which reduces the number of rows to be searched when finding the maximum row.

From the CP of finding the coverage macrooperations that are additional to those obtained in previous works are distinguished. New macrooperations are associated with characteristic vector.

An experiment to determine the time for solving the problem for standard and modified algorithms for finding coverage is conducted. To clarify the factors due to which a decrease in the processing time of CT is achieved, the number of iterations and assignments in the computing process is calculated. A comparison of data on time and operations shows that the gain in time is determined by a decrease in the number of operations.

*Based on the results of the experiment, graphs are constructed from which the advantage of those proposed for solving the problem of finding the coverage of the entered data structures follows. The gain in time and complexity is greater, the larger the dimension l of the coverage table, determined by the product of the number of columns n by the number of rows m , $l = m * n$. From the same data, an estimate of the complexity of an algorithm of the form $O(l)$ follows.*

Key words: *coverage table, algorithm, computational process, minimum column, maximum row, characteristic vector, binary vector, mask, macro operation, experiment, problem solving time, number of operations, algorithm complexity rating.*

Problem statement. The coverage problem is very common. For example, in the manufacture of a complex product, you may need some parts from various suppliers with different sets of parts and with different prices. Moreover, the manufacturer, solving the problem of coverage, can minimize either the total price of supplies (minimum coverage) or the number of suppliers (shortest coverage). In the general case,

the coverage problem is considered as a variant of the search problem in some finite set of defined subsets with given properties.

There are [1] various methods and algorithms for solving the coverage problem, which are distinguished by the accuracy and complexity of the computing process. The following exact algorithms for finding coverages were considered in [2, p. 385, 3, p. 333]:

– method and algorithm for exhaustive search. Here, in a special way, enumeration of subsets of many rows of the coverage table is organized;

– concave set boundary-value algorithm. The algorithm is based on the method of generating subsets and their targeted selection;

– algorithm for processing a table of coverages based on its properties. The table of coverages may possess (not possess) the following properties: a row is nuclear or anti-nuclear, a column is absorbing, a row is absorbed. The method consists in sequentially considering the listed properties and, if available, in reducing the coverage table by deleting certain rows and/or columns.

Here, from the computational processes (CPs) under consideration, macrooperations were identified (MOs are functionally complete elementary CPs) and a consolidated list of MOs for the listed problems of finding coverage was compiled.

In [4, p. 260], the importance and relevance of constructing a high-quality CP, which is understood as the absence of various errors and proximity to the optimum, is noted. For this purpose, it was proposed to extract elementary processes from the CP and to put them in correspondence with the MOs, to compose their models in the form of *fragments* of the Petri net, and to conduct modeling of these fragments. If successful, MOs and their models are placed in the library. Then, from the fragments of the Petri net, a *complete* Petri net is compiled and its modeling is carried out; if successful, the CP and the corresponding Petri net are also placed in the library. In case of failure, the initial CP is corrected.

In this paper, we continue to consider the next method and algorithm for the allocation of MOs from the CP that implements this method. This time, an approximate method and an algorithm called “minimum column – maximum row” are considered. However, the simplest analysis showed that in this CP, although it is accelerated relative to other CPs of finding coverages by reducing the requirements for its optimality, not all reserves for acceleration used.

Latest research and publications analysis. The range of applications of coverage algorithms has been and remains quite wide. Consider some of these areas and show the features of applying coverage algorithms in them.

One area of application of coverage algorithms is software testing. As shown in [5, p. 27], functional testing provides for complete (most often the shortest) coverage with test cases of software functions. Testing by the “white box” method is carried out according to standard methods and consists in fully

covering with tests all the structural elements of the program [6, p. 5]. Another current area of application for coverage algorithms is the use of heterogeneous communication technologies for smart cities and smaller infrastructures that allow them to communicate with each other through a network connection. At the same time, special techniques are being developed for data collection and providing an ubiquitous communication network, including, in addition to standard coverage algorithms, system scenarios for real-time operation [7, p. 785]. A number of works are devoted to the study of the efficiency and increase the speed of coverage algorithms in tasks requiring large computational resources. So, in [8, p. 166], an approach based on parallelizing the processing of initial data is presented. In this case, the global goal is divided into subgoals, which are achieved by different parallel processes, with the subsequent receipt of an integrated result. In [9, p. 236; 10, p. 4455], it was proposed to reduce the complexity of algorithmic problems, including coverage problems, by redistributing processing processes with the use of intelligent data processing tools.

As you can see, coverage algorithms are embedded as a component in a variety of data processing processes. However, their classic implementation has not been modified to optimize them either in speed or in complexity.

The **aim** of the work is to accelerate the coverage in the well-known method “minimum column – maximum row” by selecting suitable data structures.

To achieve the goal, the **task** of developing a method and algorithm for the accelerated coverage search is being solved. Along the way, the **task** of separating the MO from the computational process that implements the modified method “minimum column – maximum row” is being solved.

Basic material

Consider the basic definitions.

A *covering* is a subset A_i of a set A such that their union includes all elements b_j of the supporting set B , $b_j \in B$.

The optimal coverage is the shortest (the minimum number of subsets A_i) or the minimum coverage (the cost of coverage $C = \sum c_i$ is the minimum).

The *coverage table* (CT) is the matrix T of the membership relation of the subsets A_i to the supporting set B ; rows are mapped to A_i elements, and columns are mapped to b_j elements.

In this paper, we consider an approximate algorithm for constructing a coverage close to the shortest one, based on the method of “minimum column – maximum row”.

The method consists in repeating the following operations:

- search for minimum CT column;
- search for maximum CT row;
- simplification of CT by deleting the maximum row with its memorization, as well as columns covering it.

Operations are repeated until all columns are removed from CT.

The algorithm is based on this method, its idea is to reuse the procedure that implements the method.

The algorithm uses the following data structures.

The coverage table itself is a rather complex data structure, since it contains not just a two-dimensional array of independent data, but data *related* to the subsets of the basic set A belonging to the subsets of the *reference* set B.

To speed up the process of finding the coverage, we introduce integer characteristic vectors VCOL and VROW, containing initially the sum of digits “1” for all columns and rows, respectively, thereby preparing a description of the *initial state* of the CT. In the process of processing CT, these vectors reflect the *current state* of CT, despite the fact that CT itself *does not change*.

In fig. 1 shows a diagram of the interaction of the introduced vectors and CT. Here $x = \{0, 1\}$ – are the values of the membership function of the elements of the string to the elements of the reference set, i.e. column names; $y = \sum x$ – values of the sums of elements of columns, $z = \sum x$ – values of the sums of elements of rows, $y, z = \{0, 1, 2, \dots\}$. Next to the vector image in Fig. 1 item numbers are affixed.

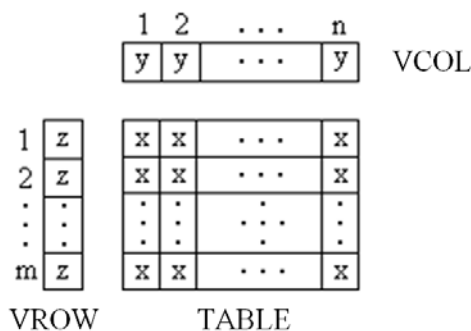


Fig. 1. Illustration of using of the vectors VCOL and VROW

To reduce the enumeration of the elements of the minimum CT column, we introduce a mask, for which we use a modified row vector VROW', MASKA[i]=VROW'[i]; the modification is that we replace the integer nonzero elements of the row vector VROW[i] with marks “1” (Fig. 2a).

Consider the example of the work of mask (Fig. 2b). The resulting vector is determined by the formula

$VREZ[i] = MASKA[i] \otimes TABLE[i,k]$, where \otimes – operation of elementwise multiplication of vectors, k – minimum column number.

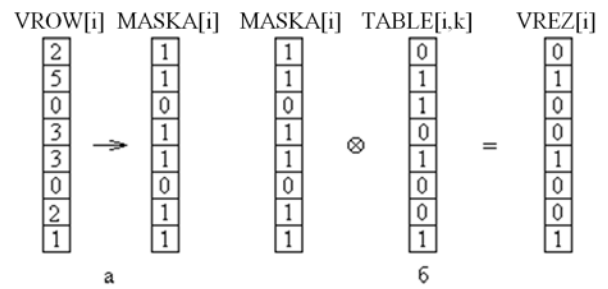


Fig. 2. The example of mask operation on the k-th column of the CT

Data Structures

TABLE – coverage table;

VCOL – integer characteristic vector of columns whose j -th element is the sum of the marks “1” of the j -th column;

VROW – integer characteristic vector of rows whose i -th element is the sum of the marks “1” of the i -th row;

MASKA – binary vector representing vector VROW, MASKA initially consists of the marks “1”;

VMIN – vector displaying the current minimum CT column;

VREZ – resulting vector obtained from VMIN in masking;

LNR – current row number list displaying VREZ;

LCOV – list of covering row numbers (coverage list);

counter – counter for counting the zero elements of a column vector;

k, l – variables indicating the minimum column number or the maximum row number respectively;

i, j – cycle parameters.

Verbal description of the algorithm

0. Entering the coverage table with dimension $m \times n$.

1. Initialization. All vectors, lists, and the counter of zero elements are reset to zero; the initial mask are formed with filling it “1”.

2. The VCOL vector is filled with column information. To do this, the columns are iterated over and nonzero elements for the selected column are summarized. If in this case the sum is 0, then it formed the message “There is not coverage” and it required to go to step 14.

3. The VROW vector is filled with row information. To do this, the CT rows are iterated over and the nonzero elements in the selected row are summarized.

4. The main loop is organized with the postcondition for ending: “the VCOL vector is zero”,

which imitates deleting all columns in the CT – see step 12.

5. The minimum element of the vector VCOL is determined with fixing its number k ; in the case of several identical minimal elements the first one encountered may be selected.

6. CT column k is introduced as a vector: $VMIN[i]:=TABLE[i,k]$, which is masked: $VREZ[i]:=MASKA[i]\otimes VMIN[i]$.

7. The current list of row numbers (LNR) is made to zero and it is formed a new list: those rows that contain “1” in VREZ[i] are written to it.

8. The maximum element in LNR is determined with fixing its number l ; in the case of several identical maximum elements, the first one encountered is selected.

9. The number l to the current list of coverages LCOV is written.

10. The elements with number l in VROW and in MASKA are made to zero. This simulates the removal of the row number l from the CT.

11. The loop j defined by the condition $TABLE[l, j] = 1$ are gone through, and the j -th elements of the vector VCOL are zeroed out. This simulates the removal of covered columns from CT. For each j , it requires to do the following:

1) adjust VROW: subtract “1” from the element VROW [i] if $TABLE [i, j] = 1$;

2) if VROW [i] becomes equal to 0, then adjust the mask: $MASKA [i] := 0$;

3) increase the counter value of the deleted columns by “1”: $counter := counter + 1$.

12. Checking whether the CT processing is ended by the condition “Counter < n?”. If so, it is necessary to go to step 4.

13. Displaying a list of coverages.

14. The end.

According to the verbal description, the scheme of the modified algorithm is compiled (Fig. 3). Here are indicated: mincol – minimum column; maxrow – maximum row.

Extract of MOs. In [2, 3], as a result of considering the computational processes of exhaustive and boundary search and finding coverage by using the CT properties, the MO lists for each algorithm were compiled, as well as a composite MO list for all three algorithms.

Below is an additional list that takes into account the specifics of operations on vectors and their filling.

1. Entering data into a vector (summation of single elements of a column/row of a table and assignment).

2. Searching for minimum/maximum element among elements of a vector with traversal of the zero element.

3. Converting vector element format from integer form to binary form.

4. Masking a vector (element-wise product of a vector by a mask).

5. Zeroing a vector element according to some feature.

From these MOs, a higher-level hierarchy MO can be composed – MO “Pass through the Search Algorithm”, the result of which is to add the next covering row to the coverage list and delete the covered columns, as well as the covering row itself.

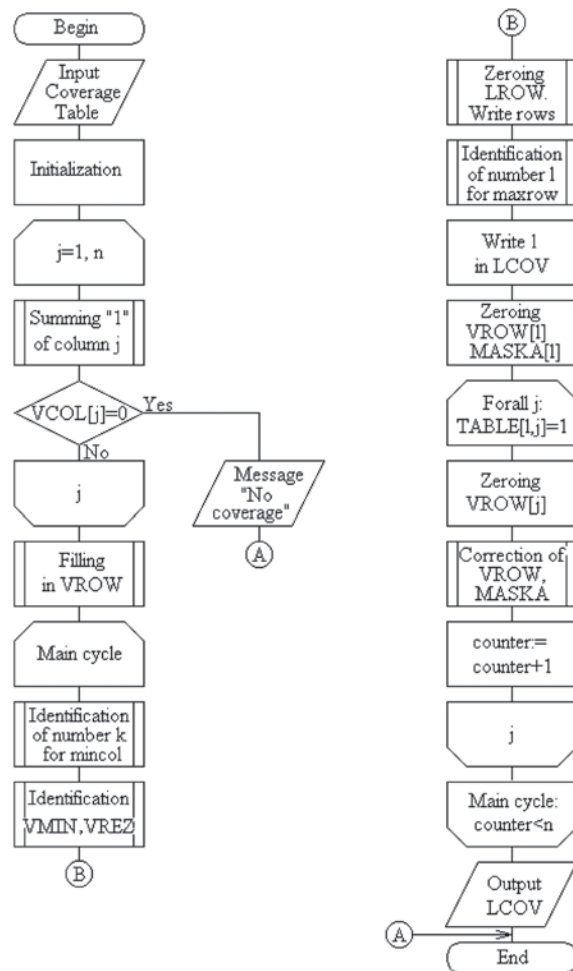


Fig. 3. Scheme of the modified algorithm “minimum column – maximum row”

Experimental part

The experiment is built to test the effectiveness of algorithms, standard and modified, on random matrices of various sizes: 8x8, 8x16, 16x16, 16x32, 16x64 (complexity scores are: 64, 128, 256, 512, 1024).

As a criterion of effectiveness, the *speed* and *number of operations* when solving the coverage problem are taken.

For each table of a certain dimension, 10 experiments are carried out.

The experiment is organized as follows.

1. CT of the selected dimension is filled with random binary values using the Random program, the output data stream of which is converted into a stream of two-digit decimal numbers using the operation mod100.

2. The resulting numbers for each digit are separately converted to binary decimal numbers encoded in 2421 (total – 1 byte, 2 tetrads).

3. All the rows of CT are looked through.

4. The received byte fits into the CT row from left to right, then the next byte is added to it, etc., until the row is exhausted.

5. If the constructed CT has a zero column, then the first 8 bits from the top are replaced with a new non-zero random byte.

At the same time, the time taken to enter the coverage table is excluded from the time of solving the problem for both algorithms.

In the experiment, a preliminary monitoring of the processing time of CT was carried out; average results on matrices of various sizes are summarized in Table. 1; according to the results of the experiment, graphs are built (Fig. 4). Note that the dimension l of the CT is determined by the product of the number of columns n by the number of rows m , $l = m*n$.

It is seen that the use of characteristic vectors accelerates the processing of CT.

For a more detailed analysis, counters of comparison and assignment operations were built into the compared algorithms. The experimental

results for determining the number of operations are shown in the same table. 1; graphs are plotted on them (Fig. 5). It can be seen that there is a correspondence between the results in terms of speed and the number of operations.

Table 1

The results of the experiment

CT size	CT processing time, c		Number of operations	
	Method with vectors	Method without vectors	Method with vectors	Method without vectors
64	1066	1193	253	342
128	1656	1964	472	671
256	2706	3628	752	1239
512	4735	6948	1313	2358
1024	8464	13193	2313	4385

In conclusion, the analysis of the dependence of the complexity of the algorithm Q on the dimension l CT was made; an estimate of the complexity of the algorithm can be described by the expression $T = O(l)$ for time complexity and $K = O(l)$ for operational complexity.

Conclusions

1. In order to speed up the procedure for finding a coverage that is close to the shortest, characteristic vectors have been introduced for tracking the state of CT, which do not change the table during its processing. This brought the problem of finding coverage to a higher level of generalization.

2. The introduction of specific data structures (vectors) was followed by many auxiliary operations with respect to the standard solution, however this is

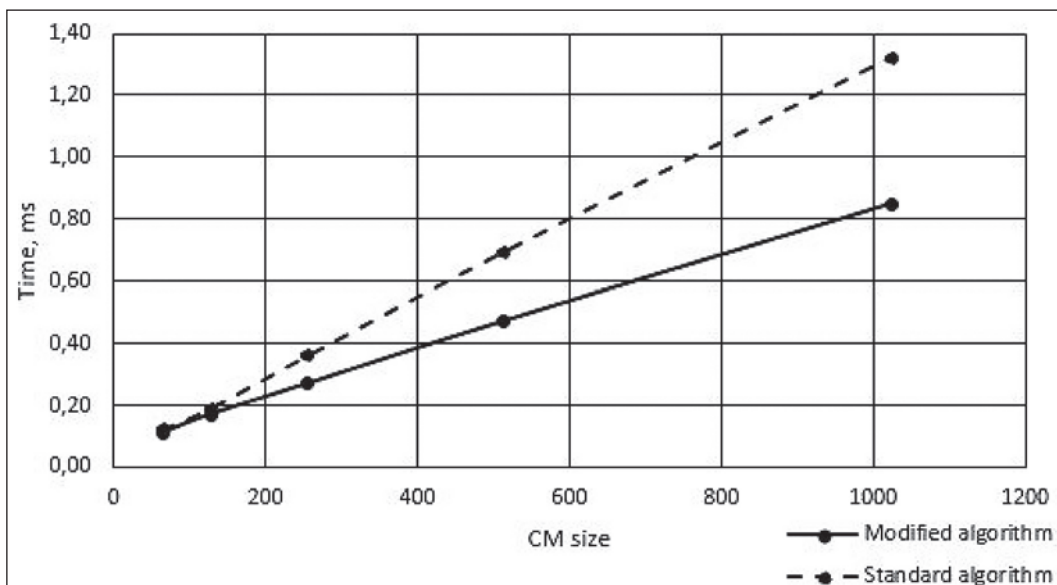


Fig. 4. Dependence of coverage matrix (CM) processing time on its size

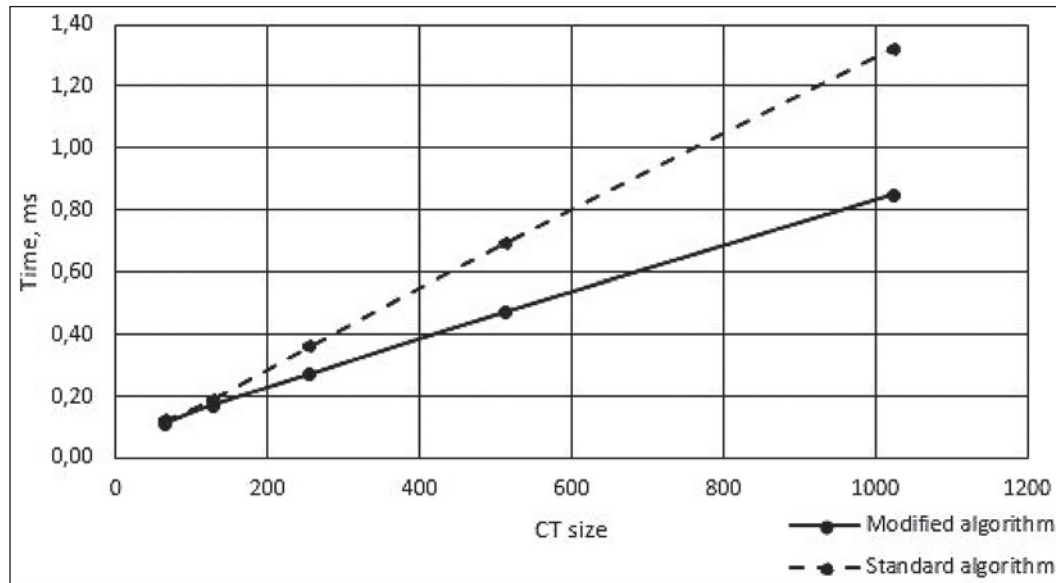


Fig. 5 Dependence of CT processing time on its size

fully compensated by the fact that the total number of comparison and assignment operations is significantly reduced.

3. The results of the experiments show a higher efficiency in terms of the time spent on the modified algorithm compared to the standard algorithm due to the introduction of more suitable data structures – characteristic vectors.

4. An increase in the efficiency of the algorithm is determined by a decrease in the number of comparison and assignment operations in the process of

processing CT compared to the standard algorithm, and this decrease is greater, the larger the dimension of the matrices.

5. The complexity assessment of both the standard and the modified algorithm on the array of the studied CT is determined by a linear expression relative to the dimension of the CT: $T = O(l)$ for time and $K = O(l)$ – for operations. The difference between these estimates is manifested in the coefficients of l , which are not taken into account in such a representation.

References:

1. Новоселов В.Г., Скاتков А.В. Прикладная математика для инженеров-системотехников. Дискретная математика в задачах и примерах : учеб. пособие. Киев : УМК ВО, 1992. 200 с.
2. Паулин О.Н. Вычислительные модели алгоритмов покрытия. *Информатика и математические методы в моделировании*. 2016. Т. 6, № 4. Одесса : ОНПУ. С. 385–396.
3. Паулин О.Н. Методы и алгоритмы покрытия (Часть 2). *Информатика и математические методы в моделировании*. 2017. Т. 7, № 4. С. 333–338.
4. Paulin O.N., Komleva N.O., Marulin S.U., Nikolenko A.O. Method for Constructing the Model of Computing Process Based on Petri Net. *Applied Aspects of Information Technology*. 2019. Vol. 2 No. 4. P. 260–270.
5. Mathur A.P. Foundations of software testing: fundamental algorithms and techniques. *New Delhi: Dorling Kindersley*. 2013. 324 p.
6. Mansoor A. Automated Software Test Data Optimization Using Artificial Intelligence. *Int. J. Inf. Commun. Technol. Trends*. 2013. V. 9. P. 5–19.
7. Ahuja K., Khosla A. A novel framework for data acquisition and ubiquitous communication provisioning in smart cities. *Future Generation Computer Systems – The International Journal Of Science*. 2019. V. 101. P. 785–803.
8. Sanchez-Gomez J. M., Vega-Rodríguez M. A., Pérez C. J. Parallelizing a multi-objective optimization approach for extractive multi-document text summarization. *Journal of Parallel and Distributed Computing*. 2019. V. 134. P. 166–179.
9. Zhanyang X., Xihua L., Gaoxing J., BOWEI T. A time-efficient data offloading method with privacy preservation for intelligent sensors in edge computing. *Eurasip Journal On Wireless Communications And Networking*. 2019. V. 1. P. 236–246.
10. Hui L., Haining L., Shu Z., Zhaoman Z., Jiang C. Intelligent learning system based on personalized recommendation technology. *Neural Computing & Applications*. 2019. V. 31. Is. 9. P. 4455–4462.

Паулін О.М., Комлева Н.О., Синегуб М.І., Сарафанюк Д.Е.
**ПРО МОДИФІКАЦІЮ АЛГОРИТМУ ПОКРИТТЯ ЗА МЕТОДОМ
«МІНІМАЛЬНИЙ СТОВПЕЦЬ – МАКСИМАЛЬНИЙ РЯДОК»**

У роботі розглядається алгоритм пошуку покриття за методом «мінімальний стовпець – максимальний рядок». На відміну від точних алгоритмів, заснованих на методах «повний перебір», «граничний перебір», «із використанням властивостей таблиці покриття», даний алгоритм є наближенням – тут відсутня гарантія отримання найкоротшого покриття. Однак замість деякого погіршення якості обчислювального процесу (ОП) пошуку покриття досягається його значне прискорення.

Із метою подальшого прискорення ОП пошуку покриття нами пропонується використовувати додаткову структуру даних, а саме цілочисельний характеристичний вектор. Характеристичний вектор призначається для початкової заготовки даних про таблиці покриття (ТП) у вигляді суми одиничних елементів стовпців/рядків ТП і відображення поточного стану ТП під час імітації її спрощення (насправді ТП не змінюється). Такий підхід виводить рішення задачі про покриття на більш високий рівень узагальнення.

Для додаткового прискорення вводиться маска (двійковий вектор), що отримується з вектора рядків заміною цілочисельних значень його елементів одиничними значеннями. За допомогою маски в мінімальному стовпці обнуляються ті елементи, які в перетвореному векторі рядків мають значення «0», що зменшує число рядків, які перебираються під час знаходження максимального рядку.

З ОП знаходження покриття виділяються макрооперації, додаткові до отриманих у попередніх роботах. Нові макрооперації пов'язані з характеристичним вектором.

У роботі проводиться експеримент із визначення часу рішення задачі для стандартного і модифікованого алгоритмів знаходження покриття. Для уточнення чинників, за рахунок яких досягнуто зниження часу оброблення ТП, підраховується кількість ітерацій і присвоювання в обчислювальному процесі. Зіставлення даних за часом і за операціями показує, що виграти за часом визначається зниженням числа операцій.

*За результатами експерименту побудовані графіки, з яких впливає перевага запропонованих для вирішення задачі знаходження покриття введених структур даних. Виграш за часом і складності тим більше, чим більше розмірність l таблиці покриття, що визначається добутком числа стовпців n на число рядків m , $l = m * n$. Із цих же даних слідує оцінка складності алгоритму виду $O(l)$.*

Ключові слова: таблиця покриття, алгоритм, обчислювальний процес, мінімальний стовпець, максимальний рядок, характеристичний вектор, двійковий вектор, маска, макрооперація, експеримент, час виконання завдання, кількість операцій, оцінка складності алгоритму.

Повхан І.Ф.

ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

ПИТАННЯ ОДНОЗНАЧНОГО ПОКРИТТЯ ЗОБРАЖЕНЬ ПРЯМОКУТНИКАМИ В ЗАДАЧАХ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ

Робота торкається важливого питання теорії розпізнавання образів – проблеми ефективного та економічного опису (прямокутними функціями) дискретних зображень. На сьогодні є цілий ряд підходів, методів та алгоритмів для виділення ознак на зображеннях і пакети інструментальних програм для їх реалізації, однак залишається проблема знаходження системи оптимальним ознак та їх наборів, тобто пошук таких властивостей зображень у просторі, класифікація яких була б можливою, не дуже складною та економічно вигідною задачею.

Існують сотні методів та алгоритмів виділення та оцінки якості атрибутів дискретних зображень. Причому для кожної практичної задачі класифікації зображень, системи ознак, що необхідні для розв'язку, як правило, різні, і їх потрібно заново визначати. Очевидним стає знаходження оптимальних систем ознак. Часто задачу знаходження оптимальних таких систем зводять до задачі мінімізації вихідного опису зображення. Проте це стосується лише випадку, коли оптимальна система ознак є серед множин ознак, які задають опис зображень, що здебільшого є тільки припущенням.

Важливою задачею опису дискретного зображення залишається питання його представлення за допомогою набору прямокутників і їх ефективні алгоритмічні схеми. Від ефективного розв'язку цього питання значно залежить оптимальність інформаційного опису дискретного зображення та складність результуючого правила класифікації.

У роботі автор пропонує метод мінімізації вихідного опису дискретних зображень, який дозволяє побудувати мінімальне зображення довільної структури на основі методу представлення дискретного об'єкту набором прямокутних функцій. Також піднімається питання однозначного покриття зображення прямокутниками та пропонується його ефективна алгоритмічна реалізація.

Ключові слова: розпізнавання дискретних зображень, прямокутна функція, навчальна вибірка.

Постановка проблеми. З літератури відомо, наскільки важливою є задача знаходження оптимальних (у певному сенсі) систем опису зображень. Часто задачу знаходження оптимальних систем ознак зводять до задачі мінімізації вихідного опису зображення. Проте це стосується лише випадку, коли оптимальна система ознак є серед множин ознак, які задають опис зображень, що переважно є тільки припущенням. Виникає принципове питання представлення або однозначного покриття (фіксованого опису) деякого дискретного зображення за допомогою набору прямокутних функцій (прямокутників). Ефективне її вирішення дозволить забезпечити простий і мінімальний опис зображення, що в свою чергу гарантує швидку та якісну фінальну процедуру розпізнавання.

Нехай маємо $H = H_1 \cup \dots \cup H_l$, де H_1, \dots, H_l – класи зображень. Відповідно $I(l) = \{w_1, \dots, w_m\}$ – деякі зображення з множини H , відносно яких відома приналежність до визначених класів, причому $\forall H_j, j = 1, \dots, l; \exists t, t = 1, \dots, m, w_t \in H_j$. Аналогічно $I(g) = \{w_1, \dots, w_g\}$ – множина зображень з H ,

відносно яких не відома належність до класів. Необхідно на основі цієї початкової інформації та деяких апріорних даних $U(I)$ побудувати алгоритм класифікації, який би довільне допустиме значення (об'єкт класифікації) $w_i \in H$ відніс до визначеного класу.

Автор вважає, що первинна інформація про зображення, яка доступна для обробки, задана у вигляді деякої фіксованої матриці. Якщо кожному зображенню $w_i \in H$ можна поставити у відповідність деякий вектор $I(w_j) = (a_1^j, \dots, a_n^j)$ за допомогою певних алгоритмів $A_i, i = 1, \dots, k$, то маємо класичну задачу розпізнавання образів, де алгоритми A_i виступають у якості інструменту синтезу ознак зображень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналізуючи проблематику задач класифікації та розпізнавання, можна побачити велику частку робіт, присвячених проблематиці оцінки якості ознак і мінімізації ознакового опису [1–3]. Це дослідження продовжує цикл робіт, які присвячені методам і підходам розпізнавання (систем класифікації) дискретних об'єктів [4–6]. У них

піднімаються важливі питання побудови, використання та оптимізації моделей систем класифікації дискретних зображень.

На відміну від існуючих методів, головною особливістю деревоподібних систем розпізнавання зображень є те, що важливість окремих ознак (групи ознак чи набору фіксованих алгоритмів) визначається відносно функції, яка задає розбиття об'єктів на класи [7]. Причому слід пам'ятати, що числова величина вказаної важливості характеризує помилку розподілу об'єктів на класи [8].

Відокремлення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Зважаючи на початковий аналіз поточної проблематики розпізнавання та класифікації дискретних зображень, можна виокремити актуальну задачу інформаційного представлення дискретного зображення та побудови ефективної схеми розпізнавання дискретних об'єктів (опису дискретного зображення за допомогою прямокутних функцій), можливість простої, ефективної та економічної роботи алгоритмічної схеми покриття дискретного зображення набором прямокутників (прямокутних функцій).

Мета роботи. Метою роботи є отримання ефективних алгоритмічних схем покриття дискретного зображення множиною прямокутних функцій і можливості використання цього підходу в задачах розпізнавання та класифікації зображень. Саме це дозволить забезпечити простий та ефективний процес розпізнавання образів, а отже отримати найбільш адекватну та економічну форму результуючої схеми розпізнавання, що дозволить економити процесорний час на її роботу та оперативну пам'ять для зберігання.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Питання представлення зображень за допомогою прямокутних функцій. Нехай на початковому етапі задане деяке бінарне зображення S на матриці $2^p \times 2^q, p, q \in \mathbb{N}$. Будемо вважати, що існує деякий оператор P , який однозначно покриває це зображення прямокутниками та видає цю інформацію у вигляді деякої фіксованої множини:

$$S = \{[x_1, y_1], [x^1, y^1]; \dots; [x_k, y_k], [x^k, y^k]\} \quad (1)$$

Автор зауважує, що тут $[x_i, y_i]$ – верхня ліва координата i – тового прямокутника, який покриває зображення S , а відповідно $[x^i, y^i]$ – нижня права координата i – тового прямокутника, який покриває зображення S , ($i = 1, \dots, k$), k – кількість прямокутників, які покривають початкове зображення S . Неважко перекоонатися, що S повністю характеризує початкове зображення S .

На наступному етапі за цією множиною S вже побудовано такі набори:

$$A_1 = (x_1 - y_1, x_2 - y_2, \dots, x_k - y_k);$$

$$A_2 = (x^1 - y^1, x^2 - y^2, \dots, x^k - y^k);$$

$$\overline{A}_1 = ((x_1 - y_1) - (x_2 - y_2), (x_2 - y_2) - (x_3 - y_3), \dots,$$

$$\dots, (x_{k-1} - y_{k-1}) - (x_k - y_k)) = (a_1, \dots, a_{k-1});$$

$$\overline{A}_2 = ((x^1 - y^1) - (x^2 - y^2), (x^2 - y^2) - (x^3 - y^3), \dots,$$

$$\dots, (x^{k-1} - y^{k-1}) - (x^k - y^k)) = (a^1, \dots, a^k).$$

Так, a_i та a^i можна обчислити за такими формулами:

$$a_i = (x_i - y_i) - (x_{i+1} - y_{i+1});$$

$$a^i = (x^i - y^i) - (x^{i+1} - y^{i+1}), (i = 1, \dots, k - 1);$$

$$\overline{D}_1 = (x_1 - x_2, x_2 - x_3, \dots, x_{k-1} - x_k) = (d_1, \dots, d_{k-1});$$

$$\overline{D}_2 = (x^1 - x^2, x^2 - x^3, \dots, x^{k-1} - x^k) = (d^1, \dots, d^{k-1});$$

Далі автор вводить позначення $A(S) = \{\overline{A}_1, \overline{A}_2, \overline{D}_1, \overline{D}_2\}$ та пропонує теорему.

Теорема 1 для деякого фіксованого зображення S , ознаки (x_i, y_i) , (x^i, y^i) та $A(S)$ дозволяють його однозначно визначити.

Доведення. Для доведення цієї теореми автор наводить (x_{i+1}, y_{i+1}) через (x_i, y_i) та (x^{i+1}, y^{i+1}) через (x^i, y^i) . Таким чином теорема буде доведена, оскільки на початку відомі (x_i, y_i) та (x^i, y^i) .

$$\begin{cases} a_i = (x_i - y_i) - (x_{i+1} - y_{i+1}) \\ d_i = x_i - x_{i+1} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_{i+1} = x_i - d_i \\ y_{i+1} = y_i + a_i - d_i \end{cases}$$

Аналогічно отримаємо:

$$\begin{cases} a^i = (x^i - y^i) - (x^{i+1} - y^{i+1}) \\ d^i = x^i - x^{i+1} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x^{i+1} = x^i - d^i \\ y^{i+1} = y^i + a^i - d^i \end{cases}$$

Звідси можна зробити висновок, що теорему доведено.

Питання однозначного покриття зображень прямокутниками. На наступному етапі дослідження автор пропонує просту алгоритмічну реалізацію загального алгоритму однозначного покриття дискретного зображення S набором прямокутників. Нехай зображення задано на матриці M розміром $P \times Q$, $P \in \mathbb{N}$, $Q \in \mathbb{N}$, \mathbb{N} – множина натуральних чисел. Задача оптимального покриття зображення прямокутниками не є простою, але існує досить багато відносно простих алгоритмів, які однозначно покривають зображення прямокутниками. При вирішенні практичних задач таке покриття буде близьке до оптимального. Автор наводить один із можливих алгоритмів. Нехай $PR[1, K]$ – масив для зберігання верхніх лівих точок, виділених i – тових прямокутників:

$$\begin{cases} X_I = PR[1, I] \\ Y_I = PR[1, I + 1] \end{cases}$$

Відповідно $PR[2, K]$ – масив для зберігання нижніх правих точок фіксованого прямокутника

$$\begin{cases} X^I = PR[2, I] \\ Y^I = PR[2, I + 1] \end{cases}$$

Вихідні дані: $M(*, *)$ – вихідне зображення, P, Q – розміри зображення (матиці зображення). Тоді загальна схема алгоритму буде такою:

Крок 1. Ввести зображення

$$M[i, j]; i = 1, 2, \dots, P; j = 1, 2, \dots, Q;$$

Крок 2. $i_0 = 0$;

Крок 3. $i = i_0$;

Крок 4. $i = i + 1; j = 0$;

Крок 5. $j = j + 1$;

Крок 6. Якщо $M[i, j] = 1$, то Крок 7, в іншому випадку Крок 25;

Крок 7. $i_1 = i; j_1 = j; K = -1; K = K + 2; PR[1, K] = i_1; PR[1, K + 1] = j_1$;

Крок 8. $i = i + 1; j = j + 1$;

Крок 9. Якщо $M[i, j] = 1$, то Крок 10, в іншому випадку Крок 13;

Крок 10. $K_1 = i_1 - 1; K_2 = j_1 - 1$;

Крок 11. $K_2 = K_2 + 1$;

Крок 12. Якщо $M[i, j] = 0$, то Крок 13, в іншому випадку Крок 29;

Крок 13. $i = i - 1$;

Крок 14. Якщо $M[i, j] = 1$, то Крок 15, в іншому випадку Крок 18;

Крок 15. $K_1 = i_1 - 1$;

Крок 16. $K_1 = K_1 + 1$;

Крок 17. Якщо $M[i, j] = 0$, то Крок 18, в іншому випадку Крок 33;

Крок 18. $i = i + 1; j = j - 1$;

Крок 19. Якщо $M[i, j] = 1$, то Крок 20, в іншому випадку Крок 23;

Крок 20. $K_2 = j_1 - 1$;

Крок 21. $K_2 = K_2 + 1$;

Крок 22. Якщо $M[i, j] = 0$, то Крок 23, в іншому випадку Крок 41;

Крок 23. $i = i - 1$;

Крок 24. $PR[2, K] = i; PR[2, K + 1] = j; i_0 = i - 1$;
Перейти на Крок 3;

Крок 25. Якщо $j < Q$, то Крок 5, в іншому випадку Крок 26;

Крок 26. Якщо $i < P$, то Крок 4, в іншому випадку Крок 27;

Крок 27. Вивід і візуалізація масиву PR ;

Крок 28. Програма завершена (END) – Крок 43.

Крок 29. Якщо $K_2 < j$, то Крок 11, в іншому випадку Крок 30;

Крок 30. $K_1 = K_1 + 1$;

Крок 31. Якщо $M[K_1, j] = 0$, то Крок 13, в іншому випадку Крок 32;

Крок 32. Якщо $K_1 < i$, то Крок 30, в іншому випадку Крок 8;

Крок 33. Якщо $K_1 < j$, то Крок 16, в іншому випадку Крок 34;

Крок 34. $j = j + 1$;

Крок 35. Якщо $M[i, j] = 0$, то Крок 36, в іншому випадку Крок 39;

Крок 36. $K_1 = i_1 - 1$;

Крок 37. $K_1 = K_1 + 1$;

Крок 38. Якщо $M[K_1, j] = 0$, то Крок 39, в іншому випадку Крок 40;

Крок 39. $j = j + 1$; Перейти на Крок 23;

Крок 40. Якщо $K_1 < j$, то Крок 37, в іншому випадку Крок 34;

Крок 41. Якщо $K_2 < j$, то Крок 21, в іншому випадку Крок 42;

Крок 42. $i = i + 1$; Перейти на Крок 19;

Крок 43. Очистити всі змінні та масиви, звільнити пам'ять.

Крок 44. Кінець роботи алгоритму (END).

Автор звертає увагу, що запропонована алгоритмічна реалізація відрізняється простотою, ефективністю. Вона знайшла свою реалізацію в бібліотеці автономних алгоритмів програмної системи «Оріон III» [3]. Для більшої деталізації роботи схеми цього алгоритму автор розглядає на конкретному прикладі його повну роботу. Нехай маємо матрицю зображення, задану такими параметрами: $P = 10, Q = 16$. Далі розглянемо деяке зображення, яке представлено у Таблиці 1.

На першому етапі подаємо на вхід представленому алгоритму опису прямокутниками таку матрицю зображення. На наступному етапі в Таблиці 2 представлено покриття такого зображення (початкового зображення (Таблиця 1) прямокутниками за допомогою описаного вище алгоритму.

На заключному етапі – масив PR після роботи цього алгоритму буде мати такі значення, які наведені в Таблиці 3.

Тобто будемо мати таку ситуацію:

$$A = \{((1,10), (7,11)); ((3,4), (4,7)); ((4,12), (7,12)); \dots; ((8,14), (9,15))\}.$$

Можна запропонувати ще ряд таких алгоритмічних реалізацій, які б однозначно покривали деяке дискретне зображення прямокутниками та враховували наперед задані правила або особливості поточної задачі розпізнавання.

Таблиця 1

Тестове зображення в матричній формі

$P \setminus Q$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1										1	1					
2										1	1					
3				1	1	1	1			1	1					
4				1	1	1	1			1	1	1				
5						1	1	1	1	1	1	1				
6						1	1	1	1	1	1	1	1			
7						1	1			1	1	1	1			
8						1	1			1			1	1	1	
9						1	1			1			1	1	1	
10																

Таблиця 2

Покриття зображення прямокутниками за допомогою описаного вище алгоритму

$P \setminus Q$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1										2	2					
2										2	2					
3				3	3	3	3			2	2					
4				3	3	3	3			2	2	4				
5						5	5	5	5	2	2	4				
6						5	5	5	5	2	2	4	6			
7						7	7			2	2	4	6			
8						7	7			8			6	9	9	
9						7	7			8			6	9	9	
10																

Таблиця 3

Вміст масиву PR в кінці роботи цього алгоритму

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1 10	3 4	4 12	5 6	6 13	7 6	8 10	8 14
2	7 11	4 7	7 12	6 9	9 13	9 7	9 10	9 15

Висновки. Так, можна навести такі підсумкові пункти:

1) Деякий оператор P , який однозначно покриває початкове дискретне зображення S набором прямокутників, генерує деяку фіксовану множину S загального вигляду (1).

2) Множина S буде повністю характеризувати (представляти, описувати) початкове зображення S .

3) Деяке фіксоване зображення S буде однозначно визначатися верхньою лівою координатою, нижньою правою координатою та множиною деякою $A(S)$.

4) Запропонований у роботі алгоритм однозначного покриття дозволяє забезпечити ефективний програмний механізм покриття зображення прямокутниками.

Список літератури:

- Zheng Z., Kohavi R., Mason L. (2001). Real world performance of association rule algorithms. Proceedings of the Seventh ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. Ed. by F. Provost, R. Srikant. P. 401–406.
- Василенко Ю.А., Василенко Е.Ю., Вашук Ф.Г., Повхан І.Ф. (2004). Концептуальна основа систем розпізнавання образів на основі методу розгалуженого вибору ознак. Науково-технічний журнал “European Journal of Enterprise Technologies”. № 7(1). С. 13–15.
- Василенко Ю.А., Василенко Е.Ю., Вашук Ф.Г., Повхан І.Ф. (2003). Метод розгалуженого вибору ознак у математичному конструюванні багаторівневих систем розпізнавання образів. Науково-технічний журнал «Штучний Інтелект». № 7. С. 246–249.

4. Василенко Ю.А., Василенко Е.Ю., Вашук Ф.Г., Повхан І.Ф. (2011). Проблема оцінки складності логічних дерев розпізнавання та загальний метод їх оптимізації. Науково-технічний журнал “European Journal of Enterprise Technologies”. 6/4(54). С. 24–28.
5. Повхан І.Ф., Вашук Ф.Г. (2012). Загальна оцінка мінімізації деревоподібних логічних структур. Науково-технічний журнал “European Journal of Enterprise Technologies”. 1/4(55). С. 29–33.
6. Quinlan J.R. (2008). Induction of Decision Trees. Machine Learning. № 1. P. 1–81.
7. Vtoghoff P.E. (2009). Incremental Induction of Decision Trees. Machine Learning. № 4. P. 161–186.
8. Повхан І.Ф. (2018). Проблема функціональної оцінки навчальної вибірки в задачах розпізнавання дискретних об'єктів. Вчені записки Таврійського національного університету. Серія: Технічні науки. Том 29(68) № 6(2018). С. 217–222.
9. Povhan I. (2019). General scheme for constructing the most complex logical tree of classification in pattern recognition discrete objects. Збірник наукових праць «Електроніка та інформаційні технології». Львів. 2019, Випуск 11, С. 112–117.
10. Povhan I. (2019). Generation of elementary signs in the general scheme of the recognition system based on the logical tree : Збірник наукових праць «Електроніка та інформаційні технології». Львів. 2019, Випуск 12, С. 20–29.

Povkhan I.F. THE QUESTION OF COVERING IMAGES WITH RECTANGLES IN IMAGE RECOGNITION PROBLEMS

The work raises an important question of the theory of pattern recognition-the problem of effective and economic description (rectangular functions) of discrete images. Today, there are a number of approaches, methods and algorithms for the selection of features in images and packages of tool programs for their implementation, but there is a problem of finding a system of such features and their sets, that is, the search for such properties of images in the space of classification of which would be possible and not very difficult and cost-effective task.

There are hundreds of methods and algorithms for selecting and evaluating the quality of discrete image attributes. Moreover, for each practical problem of image classification, the systems of features required for the solution are usually different and need to be re-defined. It becomes obvious to find the optimal feature systems. Often the problem of finding optimal feature systems is reduced to the problem of minimizing the original image description. However, this applies only to the case when the optimal system of features is among the sets of features that define the description of images, which is usually only an assumption.

An important task of describing a discrete image is its representation using a set of rectangles and their effective algorithmic schemes. The optimality of the information description of the discrete image and the complexity of the resulting classification rule largely depend on the effective solution of this problem.

The work proposes a method of minimizing the source of the description of discrete images, allowing you to build a minimum image of an arbitrary structure based on the method of representation of discrete object is a set of rectangular features are also raised the question clear coating image by rectangles, and we propose an efficient algorithmic implementation.

Key words: recognition of discrete images, rectangular function, characteristic training set.

Приходько С.Б.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Приходько Н.В.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Фаріонова Т.А.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Ворона М.В.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

ТРЬОХФАКТОРНА НЕЛІНІЙНА РЕГРЕСІЙНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ РОЗМІРУ PHP-ЗАСТОСУНКІВ ІЗ ВІДКРИТИМ КОДОМ

Метою роботи є створення множинної нелінійної регресійної моделі для оцінювання розміру PHP-застосунків із відкритим кодом на основі багатовимірного нормалізуючого перетворення за змінними, що визначаються за діаграмою класів. Трьохфакторну нелінійну регресійну модель для оцінювання розміру PHP-застосунків із відкритим кодом побудовано на основі нормалізації чотири-вимірного негаусівського набору даних: кількість строк коду (LOC); кількість класів (Classes); сума кількості класів, на які впливає даний клас (Afferent Coupling), і кількості класів, із яких даний клас отримує ефекти (Efferent Coupling), та кількість методів (Methods) із 44 застосунків, розташованих на сайті GitHub (<https://github.com>) за допомогою інструменту PhpMetrics (<https://phpmetrics.org/>). Нормалізація цього набору даних здійснена за допомогою і двох одновимірних перетворень: у вигляді десяткового логарифму та перетворення Джонсона для сімейства S_B . Використання чотири-вимірного перетворення в порівнянні з одновимірними дозволяє врахувати кореляцію між змінними, що призводить до покращення нормалізації даних, яка пов'язана з виконанням статистичної гіпотези щодо відповідності їх розподілу чотири-вимірному розподілу Гаусу, з подальшим підвищенням достовірності відповідного оцінювання. Виконано порівняння побудованої нелінійної моделі з лінійною регресійною моделлю і нелінійними регресійними моделями на основі десяткового логарифму і одновимірного перетворення Джонсона. Нелінійна модель, що побудована, в порівнянні з іншими регресійними моделями (як лінійними, так і нелінійними) має більше значення множинного коефіцієнту детермінації, менше значення середньої величини відносної похибки та менші ширини інтервалу передбачення нелінійної регресії. Цей результат може бути пояснений найкращою багатовимірною нормалізацією і тим, що немає підстав відкидати нульову гіпотезу про те, що чотири-вимірний розподіл для нормалізованих даних, який нормалізується за допомогою чотири-вимірного перетворення Джонсона для сімейства S_B , є таким самим, як і чотири-вимірний нормальний розподіл.

Ключові слова: нелінійна регресійна модель, інтервал передбачення, оцінювання розміру програми, PHP-застосунок, нормалізуюче перетворення, негаусівські дані.

Постановка проблеми. PHP – це популярна мова сценаріїв загального призначення з відкритим вихідним кодом, яка особливо добре підходить для розроблення веб-застосунків на стороні сервера. У наш час PHP використовується більш ніж у 80% всіх веб-сайтів, наприклад, таких як Tesla, Wikipedia, WordPress.com [1]. Хоча основне призначення цієї мови полягає в тому, щоб дозволити веб-розробникам швидко писати веб-сторінки, що генеруються динамічно, але за допомогою PHP

роблять набагато більше, в тому числі різноманітні фреймворки, конвертори та інші застосунки.

Задача оцінювання розміру PHP-застосунків із відкритим кодом, як і іншого програмного забезпечення (ПЗ) на ранній стадії розробки, є важливою, оскільки ця інформація використовується для прогнозування трудомісткості створення ПЗ за допомогою такої відомої моделі, як СОСОМО II [2]. Це потребує відповідних моделей для оцінювання розміру ПЗ, включаючи PHP-застосунки з відкритим кодом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для оцінювання кількості строк коду інформаційних РНР-систем із відкритим кодом відомо лінійне регресійне рівняння в залежності від трьох метрик концептуальної моделі даних у вигляді діаграми класів [3; 4]. Це рівняння побудовано на основі методів множинного лінійного регресійного аналізу. Але, як відомо, під час побудови лінійних регресійних моделей необхідно виконання певних умов, зокрема, залишки (residuals) повинні бути розподілені за нормальним законом, що має місце лише в поодиноких випадках. А це веде до необхідності побудови нелінійних регресійних моделей для оцінювання кількості строк ПЗ та застосування відповідних методів множинного нелінійного регресійного аналізу [5].

Тому для оцінювання розміру інформаційних РНР-систем із відкритим кодом в [6] було запропоновано рівняння нелінійної регресії, а в [5] – нелінійна регресійна модель. Запропоновані нелінійні регресійні рівняння та модель побудовано за допомогою множинного нелінійного регресійного аналізу із застосуванням чотиривимірного перетворення Джонсона сім'ї S_B на основі таких же трьох метрик діаграми класів, що і в [3; 4]: загальна кількість класів, загальна кількість зв'язків та середня кількість атрибутів на клас. Але для РНР-застосунків із відкритим кодом, що не є інформаційними системами, наприклад, таких як різноманітні фреймворки та конвертори, регресійні моделі можуть залежати в тому числі від інших метрик.

Зазвичай для побудови нелінійних регресійних рівнянь та моделей використовують одновимірні нормалізуючі перетворення [7–11]. Але їх застосування для побудови рівнянь і моделей нелінійної регресії не завжди призводить до задовільних результатів прогнозування, насамперед за такими стандартними оцінками, як середня величина відносної похибки, відсоток передбачення, ширина довірчого інтервалу та інтервалу передбачення [5; 6]. Це призводить до необхідності використання багатовимірних нормалізуючих перетворень.

Формулювання цілей статті. Метою статті є побудова трьохфакторної моделі нелінійної регресії та рівнянь нижньої і верхньої границь її інтервалів передбачення для оцінювання розміру РНР-застосунків із відкритим кодом в залежності від кількості класів (Classes); суми середньої кількості класів, на які впливає даний клас (Average Afferent Coupling) і середньої кількості класів, з яких даний клас отримує ефекти (Average Efferent Coupling), та середньої кількості методів (Average

Methods) на основі чотиривимірного нормалізуючого перетворення, що дозволить підвищити достовірність оцінювання залежної змінної нелінійної регресії в порівнянні з використанням одновимірних нормалізуючих перетворень.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для досягнення мети статті, що сформульована вище, ми скористалися методами наведеними в [5]. Згідно з [5] спочатку виконується нормалізація багатовимірних негаусових даних за багатовимірним нормалізуючим перетворенням. Для побудови нелінійної регресійної моделі для оцінювання розміру РНР-застосунків із відкритим кодом були зібрані дані з метрик 44 програм, розташованих на сайті GitHub (<https://github.com>): фактична кількість строк коду *LOC*; кількість класів *Classes*; сума кількості класів, на які впливає даний клас, і кількості класів, із яких даний клас отримує ефекти, *AEC* та кількість методів *Methods*. Ці дані були отримані за допомогою інструменту PhpMetrics (<https://phpmetrics.org/>) та наведені в табл. 1.

Дані, що наведені в табл. 1, мають негаусівський розподіл, оскільки для трьох застосунків (1, 2 та 43) значення квадрату відстані Махалано-біса MD^2 , які, відповідно, дорівнюють 33,67, 34,32 та 27,13, є більшими ніж величина квантіля розподілу χ^2 , що становить 14,86 для рівня значущості 0,005. Також про негаусівський розподіл чотиривимірних даних із табл. 1 свідчить оцінка багатовимірного ексцесу β_2 , яка визначалася за [12]. Відомо, що для m -вимірного нормального розподілу $\beta_2 = m(m+2)$. У нашому випадку $\beta_2 = 24$. Для чотиривимірних даних з табл. 1 оцінка β_2 дорівнює 83,11, що майже в 3,5 рази перевищує теоретичне значення.

Також майбутні фактори (*Classes*, *AEC* та *Methods*) були перевірені на наявність мультиколінеарності. Наявність мультиколінеарності свідчить про те, що в множинній регресійній моделі два або більше факторів пов'язані між собою або мають високий ступінь кореляції [13].

Наявність мультиколінеарності будемо визначати за коефіцієнтами впливу дисперсії (VIFs) серед майбутніх предикторів (факторів) у моделі множинної лінійної регресії. Для лінійної моделі множинної регресії з k -предикторами X_i , $i = 1, 2, \dots, k$, VIFs – це діагональні елементи оберненої коваріаційної матриці $k \times k$ k -предикторів [13]. Значення VIFs більше за 10 часто сприймаються як сигнал, що дані мають проблеми з мультиколінеарністю. У разі, якщо значення VIFs знаходяться в межах від 1 до 5, то мультиколінеарності немає.

Коваріаційна матриця для трьох факторів (*Classes*, *AEC* та *Methods*) за даними табл. 1 має вигляд

$$\begin{pmatrix} 1,00000 & 0,96669 & 0,91919 \\ 0,96669 & 1,00000 & 0,96698 \\ 0,91919 & 0,96698 & 1,00000 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

а обернена матриця до (1) така

$$\begin{pmatrix} 16,1865 & -19,4018 & 3,8827 \\ -19,4018 & 38,6533 & -19,5431 \\ 3,8827 & -19,5431 & 16,3289 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Елементи на головній діагоналі оберненої матриці (2) – значення VIFs, більше за 10. Це вказує на те, що дані мають проблеми з мультиколінеарністю. Для подолання проблеми мультиколінеарності дані з табл. 1 були перетворені в такі: фактичний розмір РНР-застосунків із відкритим кодом у тисячах рядків коду Y , загальна кількість класів X_1 , сума середньої кількості класів, на які впливає даний клас (Average Afferent Coupling), і середньої кількості класів, з яких даний клас отримує ефекти (Average Efferent Coupling), X_2 та середня кількість методів на клас X_3 . Ці дані наведені в табл. 2.

Коваріаційна матриця для факторів X_1 , X_2 та X_3 , за даними табл. 2, має такий вигляд:

$$\begin{pmatrix} 1,00000 & 0,12465 & -0,22070 \\ 0,12465 & 1,00000 & -0,00293 \\ -0,22070 & -0,00293 & 1,00000 \end{pmatrix}, \quad (3)$$

а обернена матриця до (3) така;

$$\begin{pmatrix} 1,068 & -0,133 & 0,235 \\ -0,133 & 1,016 & -0,026 \\ 0,235 & -0,026 & 1,052 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Елементи на головній діагоналі оберненої матриці (4) – значення VIFs, менше за 5. Це вказує на відсутність мультиколінеарності факторів X_1 , X_2 та X_3 .

Зазначимо, що розподіл даних із табл. 2 також є негаусівським тому, що для трьох застосунків (1, 2 та 5) значення MD^2 , які, відповідно, дорівнюють 32,57, 17,75 та 26,38, є більшими ніж величина квантіля розподілу χ^2 , що становить 14,86 для рівня значущості 0,005. Про негаусівський розподіл даних із табл. 2 свідчить оцінка багатовимірного ексцесу β_2 , що дорівнює 59,21. Це значення більш ніж удвічі перевищує теоретичне, що в нашому випадку дорівнює 24.

У подальшому чотиривимірні негаусові дані, що наведені в табл. 2, використовуються для побудови нелінійної регресійної моделі для оцінювання розміру РНР-застосунків із відкритим

Таблиця 1

Дані з метрик РНР-застосунків із відкритим кодом

№	LOC	Classes	AEC	Methods	№	LOC	Classes	AEC	Methods
1	174927	2075	13332	9979	23	10044	314	1332	699
2	112048	445	1359	1153	24	15477	280	1062	952
3	82551	411	2613	3229	25	15595	115	586	916
4	12022	132	667	767	26	2323	15	74	151
5	5347	5	12	163	27	7101	25	86	235
6	601	25	44	27	28	1431	22	57	75
7	1561	25	101	56	29	37081	278	1219	1637
8	33276	216	2182	1657	30	32826	235	1511	1925
9	36028	126	326	1367	31	12219	58	531	776
10	100245	448	2829	4287	32	59618	568	3570	3393
11	4458	73	381	325	33	24864	363	4165	2031
12	2988	18	126	173	34	2362	28	175	150
13	4047	31	166	196	35	381	8	22	25
14	6688	125	477	353	36	4308	52	256	339
15	1247	2	4	36	37	3412	52	398	173
16	5966	74	359	457	38	15785	126	528	1130
17	38996	269	1720	2067	39	535	3	10	28
18	3269	37	183	189	40	31676	76	568	1072
19	35548	335	3717	1949	41	13940	251	848	856
20	8910	117	437	543	42	3334	16	141	129
21	14019	209	1821	948	43	24298	794	1780	387
22	2920	19	109	155	44	42941	282	1104	810

кодом. Але спочатку для остаточного обґрунтування необхідності її побудови отримуємо лінійну регресійну модель для оцінювання розміру РНР-застосунків із відкритим кодом у вигляді

$$Y = \hat{b}_0 + \hat{b}_1 X_1 + \hat{b}_2 X_2 + \hat{b}_3 X_3 + \varepsilon, \quad (5)$$

де оцінки параметрів такі:

$$\hat{b}_0 = -3,1977, \quad \hat{b}_1 = 0,0886, \quad \hat{b}_2 = 0,7045, \quad \hat{b}_3 = 0,6840;$$

ε – випадкова величина з розподілом Гаусу, $\varepsilon \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$. Сума квадратів відхилень для моделі (5) склала 14465,3.

Перевірку нульової гіпотези про нормальність закону розподілу випадкової величини ε для моделі (5) здійснюємо за критерієм Пірсона. Для вибірки значень випадкової величини ε значення χ^2 , яке дорівнює 52,04, більше за $\chi_{кр}^2$, що становить 7,81 для 3 ступенів вільності та 0,05 рівня значущості. Тобто цю гіпотезу про нормальність розподілу випадкової величини ε потрібно відкинути. Це свідчить про відсутність теоретичного обґрунтування використання моделі лінійної регресії (5) і призводить до необхідності побудови нелінійної регресійної моделі для оцінювання розміру РНР-застосунків із відкритим кодом.

Спочатку для побудови нелінійної регресійної моделі для оцінювання розміру РНР-застосунків із відкритим кодом негаусівські дані з табл. 2 ми нормалізуємо за одновимірним перетворенням у формі десяткового логарифму. Далі для нормалізованих даних будемо лінійну регресійну модель [5]

$$Z_Y = \hat{Z}_Y + \varepsilon = \hat{b}_0 + \hat{b}_1 Z_1 + \hat{b}_2 Z_2 + \hat{b}_3 Z_3 + \varepsilon, \quad (6)$$

де параметри моделі (6) оцінювалися методом найменших квадратів, та їх оцінки є такими:

$$\hat{b}_0 = -1,5110, \quad \hat{b}_1 = 1,0610, \quad \hat{b}_2 = -0,4459, \quad \hat{b}_3 = 1,0151.$$

Сума квадратів відхилень для моделі (6) склала 14,867.

Після чого за (6) та перетворенням у вигляді десяткового логарифму будемо нелінійну регресійну модель для оцінювання розміру РНР-застосунків із відкритим кодом

$$Y = 10^{\varepsilon + \hat{b}_0} X_1^{\hat{b}_1} X_2^{\hat{b}_2} X_3^{\hat{b}_3}. \quad (7)$$

Побудована модель (7) була перевірена за множинним коефіцієнтом детермінації R^2 , середньою величиною відносної помилки MMRE і відсотком

Таблиця 2

Перетворені дані з метрик РНР-застосунків із відкритим кодом

№	Y	X ₁	X ₂	X ₃	№	Y	X ₁	X ₂	X ₃
1	174,927	2075	6,425	4,809	23	10,044	314	4,242	2,226
2	112,048	445	3,054	2,591	24	15,477	280	3,793	3,400
3	82,551	411	6,358	7,856	25	15,595	115	5,096	7,965
4	12,022	132	5,053	5,811	26	2,323	15	4,933	10,067
5	5,347	5	2,400	32,600	27	7,101	25	3,440	9,400
6	0,601	25	1,760	1,080	28	1,431	22	2,591	3,409
7	1,561	25	4,040	2,240	29	37,081	278	4,385	5,888
8	33,276	216	10,102	7,671	30	32,826	235	6,430	8,191
9	36,028	126	2,587	10,849	31	12,219	58	9,155	13,379
10	100,245	448	6,315	9,569	32	59,618	568	6,285	5,974
11	4,458	73	5,219	4,452	33	24,864	363	11,474	5,595
12	2,988	18	7,000	9,611	34	2,362	28	6,250	5,357
13	4,047	31	5,355	6,323	35	0,381	8	2,750	3,125
14	6,688	125	3,816	2,824	36	4,308	52	4,923	6,519
15	1,247	2	2,000	18,000	37	3,412	52	7,654	3,327
16	5,966	74	4,851	6,176	38	15,785	126	4,190	8,968
17	38,996	269	6,394	7,684	39	0,535	3	3,333	9,333
18	3,269	37	4,946	5,108	40	31,676	76	7,474	14,105
19	35,548	335	11,096	5,818	41	13,940	251	3,378	3,410
20	8,910	117	3,735	4,641	42	3,334	16	8,813	8,063
21	14,019	209	8,713	4,536	43	24,298	794	2,242	0,487
22	2,920	19	5,737	8,158	44	42,941	282	3,915	2,872

прогнозованих результатів, для яких величини відносної помилки MRE менші за 0,25, PRED(0,25). Ці показники зазвичай використовуються для оцінювання якості прогнозування за допомогою регресійних моделей і в інженерії програмного забезпечення [14; 15]. Допустимі значення MMRE і PRED (0,25) складають не більше 0,25 і не менше 0,75 відповідно. Допустиме значення R^2 приблизно таке ж, як для PRED(0,25).

Для моделі (7), що була побудована за даними з табл. 2, лише значення R^2 , яке дорівнює 0,802, є задовільним. Значення двох інших показників – MMRE і PRED(0,25), що дорівнюють 0,284 і 0,500 відповідно, вказують на незадовільну якість моделі (7) з оцінками параметрів, що були отримані за даними з табл. 2.

Зважаючи на це, в подальшому для побудови нелінійної регресійної моделі для оцінювання розміру РНР-застосунків із відкритим кодом було застосовано метод покращення нелінійних регресійних моделей на основі нормалізуючих перетворень із застосуванням квадрату відстані Махаланобіса та інтервалів передбачення [16]. Суть цього методу [16] полягає в такому. Спочатку на першому етапі, як це зазвичай робиться, початкові негаусівські дані перевіряються на наявність викидів і, якщо останні знайдено, то вони відкидаються. Для цього використовується квадрат відстані Махаланобіса для нормалізованих даних. На першому етапі рівень значущості дорівнює 0,005. Далі на другому етапі будується нелінійна регресійна модель із застосуванням відповідного методу на основі нормалізуючих перетворень [5]. Після цього на третьому етапі для рівня значущості, що дорівнює 0,05, визначаються границі інтервалу передбачення нелінійної регресії за методом, наведеним в [5]. І на завершення, на четвертому етапі перевіряють, чи є серед даних, за якими будувалася нелінійна регресійна модель, такі, що виходять за визначені границі інтервалу передбачення. Та якщо останні знайдено, вони відкидаються, і ми повторюємо знову всі етапи, починаючи з першого, для нових даних. Якщо таких викидів не було, то повторення етапів завершується, відповідна нелінійна регресійна модель побудована.

Для визначення нижньої і верхньої границь інтервалів передбачення нелінійних регресій побудовано відповідні рівняння за [5]

$$\hat{Y}_{PI} = \psi_Y^{-1} \left(\hat{Z}_Y \pm t_{\alpha/2, \nu} S_{Z_Y} \left\{ 1 + \frac{1}{N} + (\mathbf{z}_X^+)^T \left[(\mathbf{Z}_X^+)^T \mathbf{Z}_X^+ \right]^{-1} (\mathbf{z}_X^+) \right\}^{1/2} \right). \quad (8)$$

У (8) знаки мінус та плюс відповідають нижній та верхній границям інтервалів передбачення нелінійних регресій; ψ_Y – перша компонента нормалізуючого перетворення $\mathbf{T} = \psi(\mathbf{P})$ негаусівського випадкового вектору $\mathbf{P} = \{Y, X_1, X_2, \dots, X_k\}^T$ в гаусівський випадковий вектор $\mathbf{T} = \{Z_Y, Z_1, Z_2, \dots, Z_k\}^T$; $t_{\alpha/2, \nu}$ – квантіль t -розподілу Стюдента з кількістю ступенів вільності ν та рівнем значущості $\alpha/2$; \mathbf{Z}_X^+ – матриця центрованих регресорів, яка містить значення $Z_{1i} - \bar{Z}_1, Z_{2i} - \bar{Z}_2,$

$$Z_{3i} - \bar{Z}_3; \mathbf{z}_X^+ = \{Z_{1i} - \bar{Z}_1, Z_{2i} - \bar{Z}_2, Z_{3i} - \bar{Z}_3\}^T;$$

$$S_{Z_Y}^2 = \frac{1}{\nu} \sum_{i=1}^N (Z_{Yi} - \hat{Z}_{Yi})^2, \nu = N - k - 1; (\mathbf{z}_X^+)^T \mathbf{z}_X^+ = k \times k$$

матриця

$$(\mathbf{z}_X^+)^T \mathbf{z}_X^+ = \begin{pmatrix} S_{Z_1 Z_1} & S_{Z_1 Z_2} & \dots & S_{Z_1 Z_k} \\ S_{Z_2 Z_1} & S_{Z_2 Z_2} & \dots & S_{Z_2 Z_k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_{Z_k Z_1} & S_{Z_k Z_2} & \dots & S_{Z_k Z_k} \end{pmatrix},$$

де $S_{Z_q Z_r} = \sum_{i=1}^N [Z_{qi} - \bar{Z}_q][Z_{ri} - \bar{Z}_r]$, $q, r = 1, 2, \dots, k$. В нашому випадку, що розглядається, $k=3$, а $\psi = \{\lg Y, \lg X_1, \lg X_2, \lg X_3\}^T$.

Нижні і верхні границі інтервалів передбачення нелінійних регресій для моделі (7) наведені в табл. 3. Для моделі (7) з оцінками параметрів, що були отримані за даними з табл. 2, з 44 РНР-застосунків виявилось: значення Y для одного застосунку 2 виходить за визначені межі інтервалу передбачення, що визначалися за (8). У табл. 3 ліва границя (межа) інтервалу передбачення на першій ітерації позначена як LB₁, а права – як UB₁.

Усього було 4 таких ітерації, після яких залишилося 40 застосунків (1, 3-6, 8-42). На четвертій ітерації викидів не було, повторення етапів завершується, нелінійна регресійна модель остаточно побудована за даними з 40 застосунків. У табл. 3 ліва границя інтервалу передбачення на четвертій ітерації позначена як LB₄, а права – як UB₄. Остаточо на четвертій ітерації для даних із 40 застосунків оцінки параметрів такі:

$$\hat{b}_0 = -1,7565, \hat{b}_1 = 1,0009, \hat{b}_2 = -0,2121, \hat{b}_3 = 1,2170.$$

Сума квадратів відхилень для моделі (7) у цьому випадку склала 0,326, що майже у 3,5 рази менше за відповідну суму на першій ітерації. На четвертій ітерації для нормалізованих за перетворенням у вигляді десяткового логарифму даних з 40 застосунків матриця $(\mathbf{Z}_X^+)^T \mathbf{Z}_X^+$ для визначення нижньої і верхньої границь інтервалів передбачення нелінійної регресії за (8) є такою:

$$(\mathbf{Z}_X^+)^T \mathbf{Z}_X^+ = \begin{pmatrix} 17,116 & 2,419 & -1,954 \\ 2,419 & 1,539 & 0,267 \\ -1,954 & 0,267 & 2,655 \end{pmatrix}.$$

Після четвертої ітерації модель (7) виявилася кращою, ніж була після першої ітерації за трьома показниками: R^2 , MMRE і PRED(0,25), значення яких для моделі (7) після четвертої ітерації складають 0,972, 0,172 і 0,775 відповідно, що краще за ці показники після першої ітерації, відповідно, на 17,5%, 65,2% і 35,5%.

Спробуємо побудувати кращу за (7) нелінійну регресійну модель для оцінювання розміру РНР-застосунків із відкритим кодом. Для цього спочатку дані 40 застосунків (1, 3-6, 8-42) із табл. 2 ми нормалізуємо за чотиривимірним перетворенням Джонсона сімейства S_B із такими оцінками параметрів:

$$\begin{aligned} \hat{\gamma}_Y &= 3,22402, \quad \hat{\gamma}_1 = 3,0914, \quad \hat{\gamma}_2 = 0,741344, \quad \hat{\gamma}_3 = 18,3888, \\ \hat{\eta}_Y &= 0,673845, \quad \hat{\eta}_1 = 0,652695, \quad \hat{\eta}_2 = 0,880739, \quad \hat{\eta}_3 = 2,0838 \\ \hat{\phi}_Y &= 0,054249, \quad \hat{\phi}_1 = -0,023277, \quad \hat{\phi}_2 = 1,52687, \quad \hat{\phi}_3 = -1,25874, \\ \hat{\lambda}_Y &= 1057,484, \quad \hat{\lambda}_1 = 8737,832, \quad \hat{\lambda}_2 = 11,7836 \quad \hat{\lambda}_3 = 52797,72. \end{aligned}$$

Далі для нормалізованих даних будемо лінійну модель (6) із такими оцінками параметрів:

$$\hat{b}_0 = 0, \quad \hat{b}_1 = 1,05746, \quad \hat{b}_2 = -0,0428158, \quad \hat{b}_3 = 0,504146.$$

У цьому разі сума квадратів відхилень для модель (6) склала 0,7258.

Потім будемо нелінійну регресійну модель [5]

$$Y = \hat{\phi}_Y + \hat{\lambda}_Y \left[1 + e^{-(\hat{z}_Y + \epsilon - \hat{\gamma}_Y) / \hat{\eta}_Y} \right]^{-1}, \quad (9)$$

де $Z_j = \gamma_j + \eta_j \ln \frac{X_j - \phi_j}{\phi_j + \lambda_j - X_j}$, $\phi_j < X_j < \phi_j + \lambda_j$, $j = 1, 2, 3$.

Зазначимо, що перед побудовою моделі (9) дані 40 застосунків (1, 3-6, 8-42) із табл. 2 було перевірено на наявність викидів за допомогою методу на основі багатовимірних нормалізуючих перетворень і квадрату відстані Махаланобіса MD^2 [17]. З'ясовано, що немає викидів у цих даних для рівня значущості 0,005 та чотиривимірною перетворення Джонсона сімейства S_B тому, що всі значення MD^2 менше, ніж величина квантіля розподілу χ^2 , яка становить 14,86.

Модель (9) виявилася кращою за модель (7) за двома показниками: R^2 і MMRE. Значення R^2 і MMRE для моделі (9) складають 0,982 і 0,161 відповідно, що краще за ці показники для моделі (7), відповідно, на 1,0% і 7,1%. Для моделі (9) значення PRED(0,25) дорівнює 0,75, що на 3,3% гірше за цей показник для моделі (7). Але основна перевага моделі (9) в порівнянні з моделлю (7) полягає в менших шириних інтервалу передбачення нелінійної

Таблиця 3

Межі інтервалів передбачення на першій і четвертій ітераціях

№	LB ₁	UB ₁	LB ₄	UB ₄	№	LB ₁	UB ₁	LB ₄	UB ₄
1	94,43	507,78	103,42	269,14	23	7,20	36,72	6,75	17,23
2	13,91	72,69	-	-	24	10,35	52,29	10,38	26,17
3	28,75	146,85	37,94	95,21	25	8,44	42,00	11,39	28,13
4	7,14	35,32	8,93	22,01	26	1,24	6,28	1,97	4,93
5	1,62	9,67	3,04	8,43	27	2,34	11,83	3,27	8,16
6	0,33	1,89	0,26	0,72	28	0,82	4,22	0,88	2,24
7	0,50	2,62	-	-	29	16,81	84,96	19,57	48,96
8	11,47	59,28	17,49	44,17	30	16,61	83,65	22,86	56,86
9	16,33	90,32	20,32	53,54	31	5,21	27,04	9,39	23,91
10	38,30	198,74	52,39	132,78	32	30,85	157,51	37,64	94,58
11	2,86	14,20	3,54	8,75	33	13,49	71,32	19,38	49,53
12	1,22	6,28	2,07	5,23	34	1,14	5,80	1,62	4,08
13	1,62	8,11	2,29	5,67	35	0,25	1,31	0,28	0,73
14	3,65	18,30	3,69	9,29	36	3,02	14,94	4,07	10,02
15	0,37	2,14	0,62	1,68	37	1,21	6,43	1,60	4,11
16	4,19	20,68	5,44	13,39	38	11,34	57,48	14,94	37,34
17	18,00	90,73	24,23	60,30	39	0,24	1,29	0,38	0,99
18	1,63	8,15	2,14	5,31	40	8,08	41,32	13,76	34,72
19	13,12	68,96	18,92	48,19	41	9,71	49,33	9,54	24,19
20	5,70	28,40	6,40	15,89	42	0,79	4,27	1,39	3,62
21	6,96	35,73	9,23	23,22	43	5,01	30,54	-	-
22	1,20	6,10	1,87	4,69	44	8,66	43,79	-	-

регресії розміру РНР-застосунків із відкритим кодом для більшої кількості даних. Межі інтервалів передбачення нелінійних регресій розміру 40 РНР-застосунків із відкритим кодом (1, 3-6, 8-42) із табл. 2 для моделі (9) наведені в табл. 4 для двох перетворень Джонсона сімейства S_B : одновимірного і чотиривимірного. Дані табл. 3 і табл. 4 вказують на те, що модель (9) із відповідними параметрами для чотиривимірного перетворення Джонсона сімейства S_B у порівнянні з моделлю (7) має менші ширини інтервалу передбачення для 36 РНР-застосунків (1-3, 6-28, 30-37, 39 і 40). Також з табл. 4 можна побачити, що ширини довірчого інтервалу нелінійної регресії на основі чотиривимірного перетворення Джонсона сім'ї S_B менші, ніж для одновимірного перетворення Джонсона для 34 з 40 рядків даних (2-4, 6, 7, 9-12, 14-32, 34-36, 38-40).

Кращі показники оцінювання розміру РНР-застосунків із відкритим кодом за моделлю нелінійної регресії на основі чотиривимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сім'ї S_B можна, в першу чергу, пояснити кращою нормалізацією, яка перевірялася за відомими критеріями [18]. Так, якщо за критерієм на основі квадрата відстані Махаланобіса гіпотеза про нормальність багатовимірного закону розподілу нормалізованих за допомогою чотиривимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сім'ї S_B даних для 40 застосунків із табл.2 приймається для рівня значущості 0,025,

то у випадку застосування одновимірного перетворення та без нього – відкидається.

Висновки. Удосконалено трьохфакторну модель нелінійної регресії та рівняння нижньої і верхньої границь її інтервалу передбачення для оцінювання розміру РНР-застосунків із відкритим кодом у залежності від загальної кількості класів, суми середньої кількості класів, на які впливає даний клас, і середньої кількості класів, з яких даний клас отримує ефекти, та середньої кількості методів на клас на основі чотиривимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сім'ї S_B , що дозволяє підвищити достовірність оцінювання залежної змінної нелінійної регресії в порівнянні з використанням одновимірних нормалізуючих перетворень. Модель, що побудовано, в порівнянні з іншими регресійними моделями має більші значення множинного коефіцієнту детермінації, менші середні величини відносної похибки та ширини інтервалу передбачення нелінійної регресії. На прикладі вдосконалення трьохфакторної нелінійної регресійної моделі підтверджено працездатність методу покращення нелінійних регресійних моделей на основі багатовимірних нормалізуючих перетворень із застосуванням квадрату відстані Махаланобіса та інтервалів передбачення. У майбутньому планується використання інших наборів даних для побудови нелінійної регресійної моделі для оцінювання розміру РНР-застосунків.

Таблиця 4

Межі інтервалів передбачення нелінійних регресій

№	Одновимірне		Чотиривимірне		№	Одновимірне		Чотиривимірне	
	LB	UB	LB	UB		LB	UB	LB	UB
1	137,623	188,547	125,591	268,898	23	5,830	19,347	7,273	17,605
3	40,093	97,026	40,135	92,247	24	9,000	28,760	10,261	24,516
4	7,806	24,536	8,764	20,551	25	10,601	32,674	11,429	26,788
5	3,030	11,250	3,657	9,684	26	1,688	5,224	1,992	4,719
6	0,413	0,830	0,368	0,898	27	2,735	8,764	3,160	7,485
8	17,186	51,333	18,567	44,132	28	0,744	1,967	0,828	1,951
9	20,028	59,892	20,119	49,065	29	18,694	54,189	19,375	45,476
10	55,794	120,683	56,409	128,228	30	23,274	64,438	23,916	55,612
11	2,794	8,883	3,433	8,092	31	9,539	30,801	10,531	25,436
12	1,789	5,636	2,145	5,129	32	40,258	97,406	39,786	91,584
13	1,848	5,710	2,225	5,233	33	18,430	56,066	20,162	49,046
14	2,855	9,281	3,648	8,728	34	1,319	3,955	1,599	3,783
15	0,580	1,467	0,676	1,672	35	0,399	0,725	0,299	0,667
16	4,535	14,461	5,273	12,370	36	3,342	10,629	3,943	9,254
17	24,684	67,512	25,280	58,707	37	1,281	3,935	1,642	3,967
18	1,689	5,171	2,055	4,832	38	14,340	43,233	14,954	35,234
19	18,154	54,792	19,803	47,763	39	0,451	0,916	0,402	0,920
20	5,184	16,687	6,050	14,301	40	14,665	44,649	15,478	36,875
21	8,191	26,272	9,563	22,788	41	8,092	26,159	9,299	22,307
22	1,575	4,823	1,875	4,432	42	1,201	3,689	1,446	3,519

Список літератури:

1. Hayden J. 80% of the web powered by PHP. URL : <https://haydenjames.io/80-percent-web-powered-by-php/> (дата звернення: 19.09.2019).
2. Boehm B.W., Abts C., Brown A.W., Chulani S., Clark B.K., Horowitz E., Madachy R., Reifer D.J., Steece B. Software Cost Estimation with COCOMO II. Upper Saddle River, NJ : Prentice Hall PTR, 2000. 544 p.
3. Tan H.B.K., Zhao Y., Zhang H. Estimating LOC for information systems from their conceptual data models. *Proceedings of the 28th International Conference on Software Engineering (ICSE '06)*. (May 20-28, 2006, Shanghai, China). Shanghai, 2006. P. 321–330.
4. Tan H.B.K., Zhao Y., Zhang H. Conceptual data model-based software size estimation for information systems. *Transactions on Software Engineering and Methodology*. 2009. Vol. 19. Issue 2. October 2009. Article No. 4.
5. Prykhodko N.V., Prykhodko S.B. Constructing the non-linear regression models on the basis of multivariate normalizing transformations. *Electronic modeling*. 2018. Vol. 40. No. 6. P. 101-110. DOI: 10.15407/emodel.40.06.101
6. Prykhodko S.B., Prykhodko N.V., Smykodub T.G., Spinov A.V. Constructing the non-linear regression model to estimate the software size of open source PHP-based information systems. *Problems of information technologies*. 2018. № 1(023). P. 118–125.
7. Bates D.M., Watts D. G. Nonlinear regression analysis and its applications. New York : John Wiley & Sons, 1988. 384 p.
8. Seber G.A.F., Wild C.J. Nonlinear regression. New York : John Wiley & Sons, 1989. 768 p.
9. Ryan T.P. Modern regression methods. 2nd Edition. New York : John Wiley & Sons, 2008. 672 p.
10. Drapper N.R., Smith H. Applied regression analysis. New York : John Wiley & Sons, 1998. 736 p.
11. Johnson R.A., Wichern D.W. Applied multivariate statistical analysis. Pearson Prentice Hall, 2007. 800 p.
12. Mardia K.V. Measures of multivariate skewness and kurtosis with applications. *Biometrika*. 1970. Vol. 57. P. 519–530. DOI: 10.1093/biomet/57.3.519
13. Chatterjee S., Price B. Regression analysis by example. New York : John Wiley & Son, 1977. 228 p.
14. Foss T., Stensrud E., Kitchenham B., Myrtveit I. A simulation study of the model evaluation criterion MMRE. *IEEE Transactions on software engineering*. 2003. 11(29). P. 985–995.
15. Port D., Korte M. Comparative studies of the model evaluation criterions MMRE and PRED in software cost estimation research. *Proceedings of the 2nd ACM-IEEE International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement*. ACM, New York, 2008. P. 51–60.
16. Приходько С.Б., Приходько Н.В. Метод покращення нелінійних регресійних моделей на основі багатовимірних нормалізуючих перетворень. *Прикладні науково-технічні дослідження: матеріали III міжнар. наук.-практ. конф.* (Івано-Франківськ, 3–5 квітня 2019 р.). Івано-Франківськ : Сімфонія Форте, 2019. С. 20.
17. Prykhodko S., Prykhodko S., Makarova L., Pugachenko K. Detecting Outliers in Multivariate Non-Gaussian Data on the basis of Normalizing Transformations. *Proceedings of the 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON) «Celebrating 25 Years of IEEE Ukraine Section»*. (May 29 – June 2, 2017, Kyiv, Ukraine). Kyiv, 2017. P. 846–849. DOI: 10.1109/UKRCON.2017.8100366.
18. Olkin I., Sampson A.R. Multivariate Analysis: Overview. *International encyclopedia of social & behavioral sciences* / N. J. Smelser, P. B. Baltes (eds.) 1st edn. Elsevier, Pergamon, 2001. P. 10240–10247.

Prykhodko S.B., Prykhodko N.V., Farionova T.A., Vorona M.V. THREE-FACTOR NON-LINEAR REGRESSION MODEL TO ESTIMATE THE SIZE OF OPEN SOURCE PHP-BASED APPLICATIONS

The goal of the work is the creation of the multiple non-linear regression model for estimating the size of open source PHP-based applications on the basis of the multivariate normalizing transformation. A three-factor non-linear regression model to estimate the size of open source PHP-based applications is constructed on the basis of the Johnson four-variate normalizing transformation for S_B family of the non-Gaussian data set from 44 applications hosted on GitHub (<https://github.com>). The data set was obtained using the PhpMetrics tool (<https://phpmetrics.org/>). The model is built around the metrics (variables) of class diagram: number of classes, sum of average afferent coupling and average efferent coupling, average number of methods. Comparison of the constructed model with the linear model and non-linear regression models based on the decimal logarithm and the Johnson univariate transformation has been performed. In comparison with other linear regression models and non-linear regression models based on the univariate normalizing transformations, constructed model has a larger multiple coefficient of determination, a smaller value of the mean magnitude of relative error and smaller widths of the prediction intervals of non-linear regression. This may be explained best multivariate normalization and the fact that there is no reason to reject the null hypothesis that the four-variate distribution for normalized data, which normalized by the Johnson four-variate transformation for S_B family, is the same as the four-variate normal distribution. The practical significance of obtained results is that the software realizing the constructed model is developed in the sci-language for Scilab. The experimental results allow to recommend the constructed model for use in practice. Prospects for further research may include the application of other multivariate normalizing transformations and data sets to construct the multiple non-linear regression model for estimating the size of open source PHP-based applications.

Key words: nonlinear regression model, prediction interval, software size estimation, PHP application, normalizing transformation, non-Gaussian data.

Sulema Ye.S.

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

Peschanskii V.Yu.

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

TIMewise DATA PROCESSING WITH PROGRAMMING LANGUAGE ASAMPL

The domain-specific programming language ASAMPL is presented and its translation is discussed in the paper. This programming language enables data processing by using specific operators which enable data timewise processing, multimodal data synchronization, and aggregation. It gives flexibility in working with such data sources as remote sensors and cloud storages. The program code in programming language ASAMPL includes nine sections. The Libraries section allows a programmer to declare a list of imported libraries to be used in the program code. The Handlers section and the Renders section enable selection of handling and rendering tools from predefined libraries for their further use. The Sources section consists of a list of declarations for access to external resources. The Sets section enables declaration of data types. The Elements section is used for definition of single-value data. The Tuples section is used for definition of data tuples which are timewise ordered data values; a tuple is a specific data type of ASAMPL. The Aggregates section is used for definition of complex data structures called aggregates; this data type is a specific data type of ASAMPL. The Actions section includes any necessary operators which implement the logic of data processing in a program. The paper also presents the translator of a program code in ASAMPL and explains its components. The performance of the ASAMPL language compiler was evaluated based on two characteristics: run time and size of executable code. The comparison has shown that a program compiled by an ASAMPL translator is twice as short as a program in programming language C++, which implements the same logic of data processing. The proposed programming language ASAMPL is aimed at the development of applied software dealing with multimodal data defined with respect to time. It can be used in a wide range of applications where timewise data processing is required.

Key words: *timewise data processing, programming language, program code translation.*

Problem statement. The task of timewise data processing is topical for many engineering applications, including medical engineering. It concerns the case when data is obtained from certain external source producing a sequence of values accompanied with time stamps. In this case, there is a need in timewise data processing, including data synchronization. In spite of that this task can be solved by using general-purpose languages, employing a domain-specific language can be a better option in some application cases.

Review of the literature. There is a wide range of programming languages developed and, thus, the number of research papers and books presenting different approaches of programming is also significant. Let us focus on some interesting researches related to the research presented in this paper. In [1], the author presents two views on real-time programming: based on use of general purpose languages and base on use of special purpose synchronous languages. The advantages and disadvantages of both approaches are highlighted and discussed. In [2], the authors survey the literature available on the topic of domain-specific

languages and discuss terminology, risks and benefits, example domain-specific languages, design methodologies, and implementation techniques. The recent researches show that the interest to domain-specific languages is rising. Thus, there is a number of papers [3–9] which presents programming languages developed for a certain specific purpose. In particular, research [8] presents an approach of programmable programming languages. The general view on programming languages design is given in [10].

Task statement. The purpose of the research is the development of domain-specific language ASAMPL, which enables timewise data processing, as well as the development of a translator for this domain-specific language.

Presentation of the Main Research Material. The program language ASAMPL [11] is designed in order to create software tools for multimodal data processing which has to be carried out with respect to time scale represented by time stamps. These time stamps correspond to time moments when data of certain modality is obtained. The data can be received as a result of measuring a specific parameter character-

izing an object of study. Let us present the language concept.

A program code in programming language ASAMPL consists of nine basic sections, the general scheme of which is as follows:

```
'Program', name, '{',
libraries section,
handlers section,
renderers section,
sources section,
sets section,
elements section,
tuples section,
aggregates section,
actions section,
}';
```

The Libraries section allows a programmer to declare a list of imported libraries to be used in the program code. The Handlers section and the Renders section enable selection of handling and rendering tools from predefined libraries for their further use. The Sources section consists of a list of declarations for access to external resources. The Sets section enables declaration of data types. The Elements section is used for definition of single-value data. The Tuples section is used for definition of data tuples which are timewise ordered data values. A tuple is a specific data type of ASAMPL. Its nearest analogue in high-level programming language is an array or a structure. The Aggregates section is used for definition of complex data structures called aggregates. This data type is specific data type of ASAMPL and in fact it is a tuple of tuples. Finally, the Actions section includes any necessary operators which implement the logic of data processing in the program.

Let us define the program structure and operators in programming language ASAMPL by using Extended Backus-Naur Form. Then the program in ASAMPL can be defined by the syntactic rule (1).

```
program = PROGRAM , identifier , "{" ,
LIBRARIES , "{" , { identifier , ( IS | "=" ) , link , ";" } [ "/" , comment ] "}" , ,
HANDLERS , "{" , { identifier , ( IS | "=" ) , link , ";" } [ "/" , comment ] "}" , ,
RENDERERS , "{" , { identifier , ( IS | "=" ) , link , ";" } [ "/" , comment ] "}" ,
SOURCES , "{" , { identifier , ( IS | "=" ) , link , ";" } [ "/" , comment ] "}" ,
SETS , "{" , { identifier , ( IS | "=" ) , type , ";" } [ "/" , comment ] "}" ,
ELEMENTS , "{" , { identifier , ( IS | "=" ) , ( set_type | value ) , ";" } [ "/" , comment ] "}" ,
TUPLES , "{" , { identifier , ( IS | "=" ) , set_type , ";" } [ "/" , comment ] "}" ,
AGGREGATES , "{" , { identifier , ( IS | "=" ) , "[" , ( identifier | values_tuple , ";" } [ "/" , comment ] "}" ,
ACTIONS , "{" , { operator , ";" } [ "/" , comment ] "}" , [ "/" , comment ] , "}" ;
```

The following operators are defined in programming language ASAMPL: TIMELINE, SEQUENCE, IF THEN, CASE OF, SUBSTITUTE FOR WHEN, DOWNLOAD FROM, UPLOAD TO, IS, RENDER WITH.

The timewise processing operator TIMELINE (TIMELINE AS) is a specific operator which allows a programmer to apply a certain action during a defined time period. Actions included into the operator body are carried out simultaneously. This operator can be considered as a specific type of a loop. There are three types of this operator:

- TIMELINE *time_value_1* : *step* : *time_value_2* {*a list of simultaneous actions*}
- TIMELINE AS *time_values_tuple* {*a list of simultaneous actions*}
- TIMELINE UNTIL *condition* {*a list of simultaneous actions*}.

This operator is defined by the syntactic rule (2).

```
timewise_processing_operator = TIMELINE , (
identifier
| time_value ) , ":" , ( identifier | time_value ) , ":" ,
( identifier | time_value ) , "{" , { action } , "}"
| TIMELINE , AS , time_values_tuple , "{" , {
action } , "}"
| TIMELINE , UNTIL , logical_expression , "{" ,
{ action } , "}" ;
```

The operator of sequential processing SEQUENCE {*a list of sequential actions*} is a specific operator which allows to unite data processing actions, which have to be carried out sequentially, in one compound action. This operator is defined by the syntactic rule (3).

```
sequential_processing_operator = SEQUENCE ,
"{" , { action , [ ";" ] } , "}" ;
```

The branch statement IF THEN (IF THEN ELSE) is a standard operator defined in many other languages. It is defined by the syntactic rule (4).

```
branch_statement = IF , logical_expression ,
THEN , "{" , { action } , "}" | IF , logical_expression , THEN , "{" , { action } , "}" , ELSE , "{" , {
action } , "}" ;
```

The selection statement CASE OF (CASE OF ELSE) is also a standard operator available in many high-level programming languages. This operator is defined by the syntactic rule (5).

```
selection_statement = CASE , identifier , OF , "{"
, { ( identifier | value ) , ":" , action } , "}" | CASE
, identifier , OF , "{" , { ( identifier | value ) , ":" ,
action } , "}" , ELSE , "{" , ( identifier | value ) , ":" ,
action , "}" ;
```


The replacement operator SUBSTITUTE FOR WHEN is a specific operator which enables replacement of one data set by another one if a certain condition is true. For example, it can be used for replacement of high-resolution data by low-resolution data if the communication channel is limited. It is defined by the syntactic rule (6).

$$\text{replacement_operator} = \text{SUBSTITUTE , identifier ,} \\ \text{FOR , identifier , WHEN logical_expression ;} \quad (6)$$

The downloading operator DOWNLOAD FROM (DOWNLOAD FROM WITH) is a specific operator which allows to download data from a certain data source such as remote device, cloud storage, local storage, etc. and to assign this data to a variable that can be of any type: an element, a tuple, and an aggregate. Data transformation form a specific data format is carried out with the use of a predefined handler. This operator is defined by the syntactic rule (7).

$$\text{downloading_operator} = \text{DOWNLOAD , identifier} \\ \text{, FROM , identifier [WITH , identifier] ;} \quad (7)$$

The uploading operator UPLOAD TO (UPLOAD TO WITH) is a specific operator which allows to upload data which is assigned to a certain variable of any type (an element, a tuple, an aggregate) to a defined resource, which can be either remote or local, as a file. Transformation of data from the variable type to a destination format is fulfilled by using a predefined handler. It is defined by the syntactic rule (8).

$$\text{uploading_operator} = \text{UPLOAD , identifier , TO ,} \\ \text{identifier [WITH , identifier] ;} \quad (8)$$

The assignment operator IS is a standard operator available in other high-level programming languages. It is defined by the syntactic rule (9).

$$\text{assignment_operator} = \text{identifier , (IS | "=") ,} \\ \text{value ;} \quad (9)$$

The rendering operator RENDER WITH is a specific operator which enables data reproduction by using a specific tool for this purpose. This operator is defined by the syntactic rule (10).

$$\text{rendering_operator} = \text{RENDER , identifier ,} \\ \text{WITH , identifier ;} \quad (10)$$

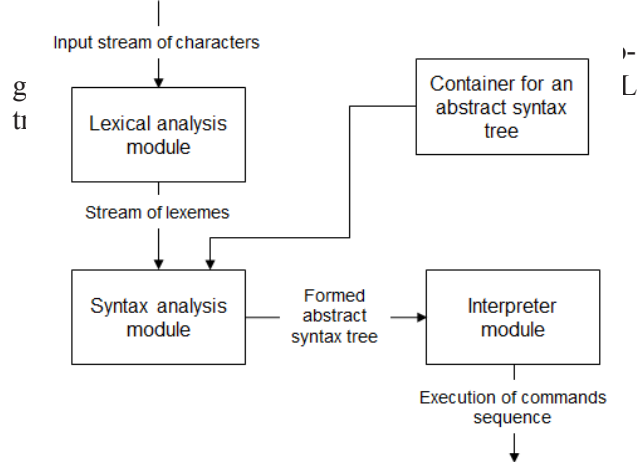


Fig. 1. Generalized scheme of translator

In the ASAMPL translator, there are three main models, which are essential for processing and running of programming code: lexer, parser, and interpreter.

Lexer is a module of input characters sequence processing that performs lexical analysis of input sequence of symbols. The result of lexer execution is a sequence of lexeme, or tokens.

Lexical analysis executes in terms of formal sets of rules. In our case, the rules are determined by ASAMPL language grammar. It assigns a set of lexemes that can occur in the input sequence of characters. The result of this module is a sequence of lexemes prepared for their further processing in the next modules of translator.

Parser is a module that is aimed at comparison of linear sequence of formal language lexemes, i.e. ASAMPL lexemes, with its formal grammar. During the process of parsing, the input linear sequence of

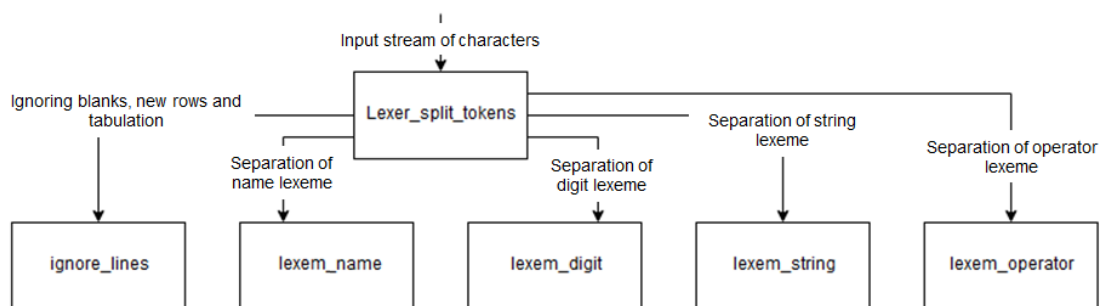


Fig. 2. Generalized scheme of lexical analysis module

characters is transformed into an abstract syntax tree that clearly illustrates the syntactic structure of the input sequence. It allows to switch to program processing of data in the translator.

Thus, the main task of syntax analyzer is parsing the rules implemented according to the recursive descent parser, i.e. by mutual calling of functions, when each function corresponds to one of grammar rules.

Rules that apply sequentially, i.e. from left to right, absorb lexemes obtained from lexical analyzer. After absorbing and processing lexemes forming of abstract syntax tree, which will be interpreted to an executable code in the next stage, occur.

Let us consider the algorithm of the module in details: `Tree* parser_buid_tree(std::vector<Lexem>* lexem_sequence);`

The input is a sequence of tokens obtained in the previous step during the processing of input data. This function fills in the fields of the Parser class, which contains links to the input list of tokens, an iterator for examining them one by one, and a string for storing errors that might be formed during conversion to an abstract syntax tree.

Parsing process is recursive, so in addition to creating a Parser class and processing a return value, another function is called in the body of the main module: `static Tree * program(Parser * parser).`

Let us refer to this function as a root one, as it calls the handlers for each of program blocks, in which the variables will be initialized for later use:

```
static Tree * libraries_section(Parser * parser);
static Tree * handlers_section(Parser * parser);
static Tree * renderers_section(Parser * parser);
static Tree * sources_section(Parser * parser);
static Tree * sets_section(Parser * parser);
static Tree * elements_section(Parser * parser);
static Tree * tuples_section(Parser * parser);
static Tree * aggregates_section(Parser * parser);
static Tree * actions_section(Parser * parser);
```

If no errors occurred during the execution of these functions, then the result is an abstract syntax tree that is ready for further processing, otherwise the tree will be incomplete and therefore not executable. In this case, the main function returns a NULL value and outputs an error code containing information about the line in which it occurred.

Let us consider a scheme of functioning of syntactic parsing of a sequence of tokens in details. There are two functions that are not the implementation of one of the rules of formal grammar ASAMPL:

```
static Tree * accept(Parser * parser, LexemType Lexem);
```

```
static Tree * expect(Parser * parser, LexemType Lexem);
```

The Accept function reads each subsequent item in a token sequence and compares its type with the type that was passed to it. If the types match, the function successfully reads the item.

The Expect function calls the Accept function, after which this function not only checks whether the next token belongs to a specific type, but also requires it for each subsequent token. If the check condition is not met, the function returns an error and outputs information on which line the error occurred.

```
static bool ebnf_sequence(Parser * parser, Tree * node_to_fill, GrammarRule rule)
```

The Sequence function reads cyclically the rule passed to it as an argument any number of times. This function is used to add any number of descendant nodes to those tree leaf nodes that are responsible for initializing variables or performing prescribed actions.

```
static Tree * ebnf_one_of(Parser * parser, GrammarRule rules[], size_t length)
```

The one_of function tries to read at least one of the rules passed to it as an array. If possible, it returns the result of this rule as another branch of the abstract syntax tree, and the process completes. If an error occurred while executing a rule or none of the list of passed rules could be applied to the next token sequence, NULL is returned.

```
static Tree * ebnf_one_of_lexem(Parser * parser, LexemType types[], size_t length)
```

The one_of_lexem function attempts to read at least one of the tokens that were passed to it as array elements. If possible, it returns a node with a type of token processed as a new node of an abstract syntax tree, and the process completes. In case none of the list of transmitted tokens could be read, NULL is returned.

```
static Tree * ebnf_ap_main_rule(Parser * parser, GrammarRule next, GrammarRule ap)
```

The Ap Main Rule function, which is the result of left recursion, checks whether the following priority rule is applied, and if true, checks if the apostrophe rule is applied.

```
static Tree * ebnf_ap_recursive_rule(Parser * parser, LexemType types[], size_t typesLen, GrammarRule next, GrammarRule ap)
```

The Ap Recursive Rule function checks whether transmitted tokens are found, and if they are applied, whether the rule continues recursively.

The above functions are a list of rules that do not originate from the ASAMPL formal grammar rules,

so they form all other rules that are directly derived from the formal ASAMPL grammar description.

Each function, which is a direct result of ASAMPL formal grammar description and is non-finite, contains calls to one of the basic functions, as well as calls to at least one of these functions. The finite functions do not contain calls to such functions, so they do not deepen the recursion and return a node leaf, which is the end of parsing for this branch.

The performance of the ASAMPL language compiler was evaluated based on two characteristics: run time (table 1) and size of executable code (table 2) to process the same ASAMPL sequence of actions and methods imported from the libraries.

The results for the ASAMPL compiler were compared with those obtained for the G++ compiler (GNU C++) when parsing C++ program equivalent. The comparison was made for two sets of ASAMPL language test code and its C++ language equivalent.

The comparison was made for two different test versions of a programming code, with and without the use of additional arithmetic functions. The comparison tables above show that a program compiled by an ASAMPL translator is twice as short as the same C++ program. Accordingly, more complex data processing programs requires much less memory using ASAMPL than programs written in other programming languages.

Table 1

Average running time in milliseconds

	ASAMPL	G++
Test set 1	1106	1063
Test set 2	1521	1427

Table 2

The size of executable code for processing video files in rows

	ASAMPL	G++
Test set 1	4	9
Test set 2	6	14

At the same time, the timing characteristics are quite close to the average program running time. Improvement of time characteristics is possible through optimization of the translator code.

Conclusions. The proposed programming language ASAMPL is aimed at the development of applied software dealing with multimodal data defined with respect to time. It can be used in a wide range of applications where timewise data processing is required. The specific feature of programming language ASAMPL is its orientation on both multimodal data structures processing and work with external devices and data storages. The translation and execution of program code developed in programming language ASAMPL can be fulfilled with the proposed translator.

References:

1. Berry G. Real time programming: special purpose or general purpose languages. INRIA, 1989.
2. Van Deursen A., Klint P., Visser J. Domain-specific languages: an annotated bibliography. ACM SIGPLAN Notices, 200. Vol. 35, No. 6. PP. 1–11.
3. Gaunt A.L. et al. TerpreT: A Probabilistic Programming Language for Program Induction. Cornell University, 2016.
4. Bingham E. et al. Pyro: deep universal probabilistic programming. The Journal of Machine Learning Research, 2019. Vol. 20, No. 1.
5. Carpenter B. et al. Stan: A probabilistic programming language. Journal of Statistical Software, 2017. Vol. 76. No. 1.
6. Hong Ge, Kai Xu, Zoubin Ghahramani. Turing: a language for exible probabilistic inference. *AISTATS*, 2018.
7. Coblenz M. Obsidian: A Safer Blockchain Programming Language. *IEEE/ACM 39th International Conference on Software Engineering Companion*, 2017.
8. Felleisen M. et al. A programmable programming language. Communications of the ACM, 2018. Vol. 61, No. 3.
9. Andersen, L., Chang, S., Felleisen, M. Super 8 languages for making movies. *ACM SIGPLAN International Conference on Functional Programming*, 2017. PP. 1–29.
10. Parr T. Language Implementation Patterns. USA, 2010. 389 p.
11. Sulema Ye. ASAMPL: Programming Language for Mulsemmedia Data Processing Based on Algebraic System of Aggregates. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2018. Vol. 725. PP. 431–442.

Сулема Є.С., Песчанський В.Ю. ЧАСОВА ОБРОБКА ДАНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ МОВИ ПРОГРАМУВАННЯ ASAMPL

У статті представлено спеціальну мову програмування ASAMPL та розглянуто спосіб її компіляції. Ця мова програмування дозволяє оброблювати дані, використовуючи спеціальні оператори, що дають можливість оброблювати часові дані, синхронізувати мультимодальні дані та здійснювати їх агрегацію. Це надає гнучкості у роботі з такими джерелами даних, як дистанційні сенсори та

хмарні сховища. Програмний код мовою ASAMPL включає дев'ять блоків. Блок бібліотек дозволяє програмісту оголосити список імпортованих бібліотек, які будуть використані в програмному коді. Блок оброблювачів та блок рендерингу дозволяють обрати інструменти для обробки та рендерингу з попередньо визначених бібліотек для подальшого їх використання. Блок джерел містить перелік декларацій доступу до зовнішніх ресурсів. Блок множин дозволяє оголошувати типи даних. Блок елементів використовується для визначення даних, що представлені одним значенням. Блок кортежів використовується для визначення кортежів даних, які впорядковані за часом; кортеж є специфічним типом даних ASAMPL. Блок агрегатів застосовується для визначення складних структур даних, які називаються агрегатами; цей тип даних є специфічним типом даних ASAMPL. У блок дій входять всі необхідні оператори, які реалізують логіку обробки даних у цій програмі. У статті також пропонується структура транслятора програмного коду, написаного мовою ASAMPL, а також пояснюються її складові частини. Ефективність компілятора мови ASAMPL оцінювалась на основі двох характеристик: час виконання та розмір виконуваного коду. Порівняння показало, що програма, скомпільована за допомогою транслятора ASAMPL, вдвічі коротша за програму, яка написана мовою програмування C++, та реалізує ту саму логіку обробки даних. Запропонована мова програмування ASAMPL призначена для розроблення прикладного програмного забезпечення для обробки мультимодальних даних, визначених у часі. Її можна використовувати в широкому колі задач, де потрібна обробка даних у часі.

Ключові слова: часова обробка даних, мова програмування, трансляція програмного коду.

Улицкая Е.О.

Одесский национальный политехнический университет

Костюкова О.Н.

Одесский национальный политехнический университет

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНО-ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УРОВНЕМ ВОДЫ С РЕАЛИЗАЦИЕЙ УЧЕБНОГО СТЕНДА

Актуальним завданням вдосконалення навчального процесу є супровід викладу теоретичного матеріалу наочними практичними прикладами. Сформована складна ситуація з оснащення і модернізації матеріально-технічної бази навчальних закладів, яка призводить до необхідності пошуку доступних рішень. Апаратна платформа Arduino є прекрасною основою для створення навчальних стендів, що вимагає розробки електронних пристроїв в області автоматизації технологічних процесів. Широкий асортимент датчиків і виконавчих пристроїв, сумісних із пристроями на базі Arduino, дозволяє реалізувати безліч навчальних проектів. Також важливим складником навчального процесу є залучення учнів до розробки лабораторних стендів. Можливість перевірки математичного опису на реальному обладнанні підвищує інтерес студентів до освітнього процесу.

Стаття присвячена розробці навчального стенду, що дозволяє синтезувати автоматичну систему регулювання рівня води в ємності.

Використана апаратна платформа Arduino, розроблений код на мові Processing дозволяє візуалізувати параметри цього процесу в режимі реального часу. Розроблена панель управління дозволяє змінювати закон регулювання (П, ПІ, релейний), завдання, а також моделювати зміни навантаження. Розв'язана задача імітаційного моделювання АСР рівня води в ємності, створено математичний опис, який враховує нелінійні характеристики об'єкта управління. Проведено оцінку адекватності отриманої математичної моделі, доведено, що відмінність між розробленим математичним описом і експериментальними даними не перевищує 4%.

Проведено аналіз і порівняння перехідних процесів регулювання імітаційної і натурної моделі АСР рівня води в ємності. Отримані результати можуть використовуватися в навчальному процесі при вивченні основ моделювання і теорії автоматичного управління АСУТП.

Ключові слова: нелінійна модель, регулювання рівня, навчальний стенд, закон регулювання, адекватність.

Постановка проблемы. Развитие учебно-лабораторной базы для подготовки специалистов по компьютерным технологиям и автоматизации, оперативная адаптация лабораторных и практических занятий для изучения наиболее актуальных вопросов автоматизации являются задачами совершенствования системы подготовки кадров. Поиск путей совершенствования методических подходов в образовательной деятельности как в целом, так и в практической составляющей обучения является одной из важнейших задач высшей школы на современном этапе [3, с. 7]. Модернизация лабораторной базы для подготовки специалистов по автоматизации предполагает создание новых учебных лабораторий для исследования компьютерно-интегрированных систем управления, что позволит сформировать необходимые практические навыки и выработать требуемые компетенции для будущей профессиональной деятельности студентов.

Анализ последних исследований и публикаций. Появление первых микропроцессоров ознаменовало начало новой эры в развитии микропроцессорной техники. Наличие в одном корпусе большинства системных устройств сделало микроконтроллер подобным обычному компьютеру, которые раньше назывались однокристальными микроЭВМами. Чтобы собрать устройство и микроконтроллер, необходимо знать основы схемотехники, устройство и работу конкретного процессора, уметь программировать на ассемблере и изготавливать электронную технику. Сейчас существует такое устройство как проект Arduino [5, с. 55]. В одной из последних статей Р.А. Аджиева «Микроконтроллеры. Arduino и IDE: среда разработки» описано начало истории создания Arduino, его историческая справка и все положительные стороны этой платформы.

Существует множество микроконтроллеров и платформ для осуществления управления физическими процессами применительно к микропроцессорным комплексам. Большинство этих устройств объединяют разрозненную информацию о программировании и заключают ее в простую в использовании сборку. Фирма Arduino тоже упрощает процесс работы с микроконтроллерами, обеспечивает ряд преимуществ перед другими устройствами благодаря простой и понятной среде программирования, низкой цене и множеству плат расширения.

В статье В.С. Лободинова, С.Р. Пана, И.В. Пугачева, В.Н. Трофименкова, Я.Н. Тузка «Применение Arduino в учебном процессе» показано, что для преподавателей, студентов и любителей платформа Arduino стала основным элементом для исследования и решения задач в областях мехатроники, робототехники и автоматизации [5, с. 51].

Постановка задачи: разработать учебно-лабораторный стенд исследования компьютерно-интегрированной системы управления уровнем воды в емкости для возможности использования в учебном процессе на практических занятиях на базе платформы Arduino; разработать программное обеспечение для визуализации переходных процессов регулирования в режиме реального времени.

Изложение основного материала исследования. Принципиальная схема разрабатываемого стенда изображена на рис. 1. Установка состоит из двух ёмкостей, наполненных жидкостью, в каждой из которых установлен насос (управляющий 5 и возмущающий 4). В емкости 1 поддерживается уровень жидкости с помощью насоса 5, который приводит к перекачиванию воды из емкости 2. Установка может работать в двух режимах – авто и ручном, которые выбираются с помощью ИК – пульта управления 10 либо с панели управления 11. Разработанная структурная схема АСР имеет такой вид:

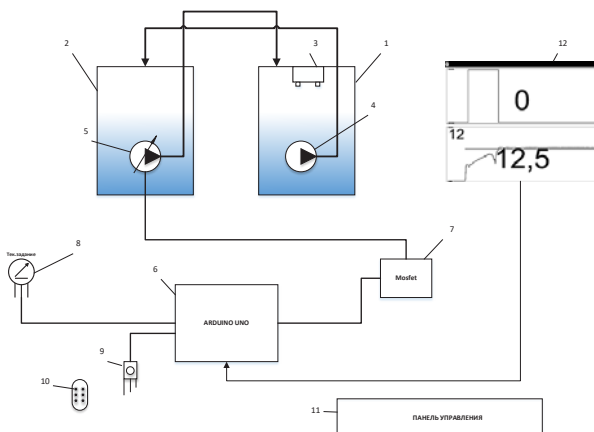


Рис. 1. Структурная схема АСР

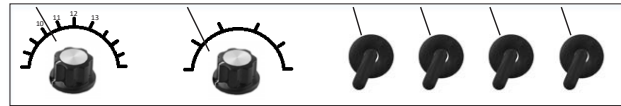


Рис. 2. Элементы управления стенда

На панели управления 11 (рис. 2) расположены два потенциометра: 13 – изменение текущего задания в диапазоне от 7 см до 17 см, 14 – изменение управляющего воздействия в ручном режиме и четыре тумблера: 15 – включение П закона регулирования, 16 – включение И составляющей, 17 – включение релейного закона регулирования, 18 – изменение откочки (нагрузки). Итак, создан стенд согласно структурной схеме.

Следующей задачей было составление математического описания рассматриваемого процесса. Для приближения свойств модели к характеристикам экспериментальной установки были учтены такие особенности:

1. Моделирование шумов в канале измерения уровня воды в резервуаре осуществляется с помощью блока Random Number, назначение которого – формирование случайного сигнала с нормальным распределением уровня сигнала с установленным среднеквадратическим отклонением:

$$\sigma = 0,029$$

2. Нелинейная характеристика насоса

При проведении испытаний было установлено, что при подаче напряжения на управляющий насос в диапазоне от 0 до 3В отсутствует перекачка воды из емкостей. Таким образом возникла необходимость добавить в разработанную математическую модель нелинейный элемент (рис. 2), учитывающий вышеприведенные свойства.

3. Передаточные функции по каналу управления и возмущения были определены в [1, с. 176]. Они представляет собой интегрирующие звенья с коэффициентами $k_1 = 0,06$, $k_2 = -0,06$. Имитационная модель создана в среде Matlab.

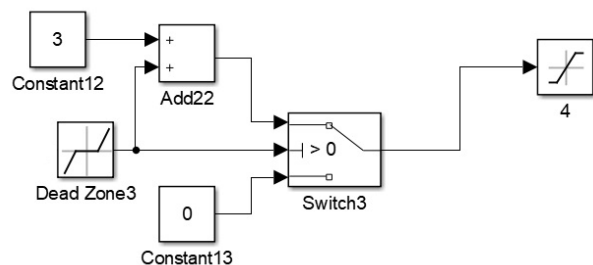


Рис. 3. Моделирование характеристики управляющего воздействия

Указанная выше характеристика модели реализуется с помощью блока Dead Zone, которая учитывает верхние и нижние пределы управляющего воздействия.

4. Транспортное запаздывание

Запаздывание обусловлено длиной соединительных линий. Оно реализуется с помощью блока Transport Delay [6, с. 58] с параметром Time Delay – 2 с. Структурная схема имитационной модели, отражающая свойства разработанного стенда, представлена на рис. 4:

Основным возмущением на объект является изменение задания и наличие внешнего возмущения (изменение нагрузки). Для получения графиков переходных процессов регулирования по заданию на экспериментальной установке необходимо с помощью потенциометра 12 выбрать задание по уровню и тумблерами на панели управления выбрать желаемый закон регулирования. При этом происходит включение насоса 5, который приводит к перекачиванию воды из емкости 2 до тех пор, пока уровень воды в емкости 1 не достигнет заданного. Сравнение переходных процессов регулирования уровня при изменении задания полученных экспериментально и в среде Simulink представлено на рис. 6.

Для оценки адекватности [2, с. 154] модели используется количественная оценка путем определения средней ошибки аппроксимации по формуле:

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N \frac{|Y_M(i) - Y_o(i)|}{Y_o(i)} * 100\%$$

где N – количество опытных данных, которые используются для получения коэффициентов в уравнениях регрессии;

$Y_M(i)$ – значение зависимого параметра, рассчитанного по уравнению регрессии;

$Y_o(i)$ – значение зависимого параметра, рассчитанного в эксперименте.

Для этого случая $\mu = 0,61\%$. Модель считается адекватной, поскольку полученное значение $\mu < 10\%$.

Для получения графиков переходного процесса регулирования уровня при изменении нагрузки на панели управления 11 нужно выбрать тумблером желаемый закон регулирования и на протяжении некоторого времени тумблером 17 подать возмущение. При этом происходит включение двух насосов: 4 – подает возмущение, а управляющий насос 5 приводит к перекачиванию воды из емкости 2, поддерживая заданный уровень воды в емкости 1. Сравнение переходных процессов регулирования уровня

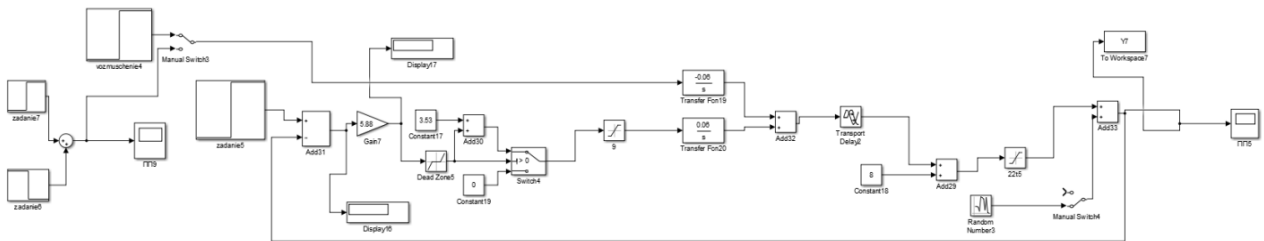


Рис. 4. Структурная схема имитационной модели разработанного стенда при П – законе регулирования

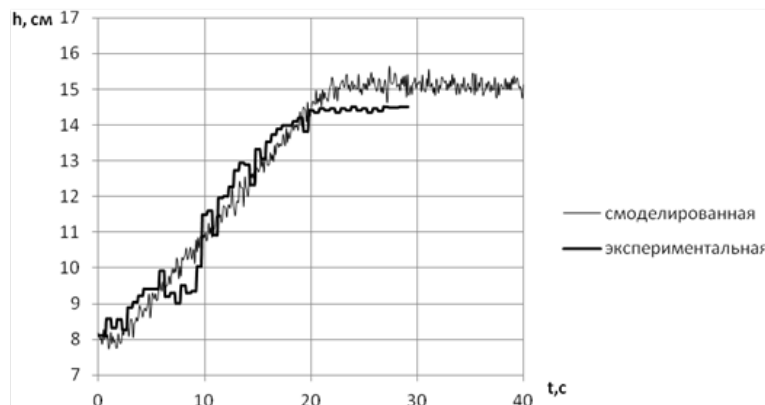


Рис. 6. Переходной процесс регулирования уровня при изменении задания с П – законом регулирования

при подаче возмущений, полученных экспериментально и в среде Simulink, представлено на рис. 8.

Эта модель считается адекватной, поскольку значение $\mu = 2,95\% \leq 10\%$.

Аналогичным путем сравниваются переходные процессы регулирования уровня при изменении задания при релейном законе регулирования. В этом случае потенциометром 12 необходимо

выбрать из заданий уровень и тумблером 16 включить релейный закон регулирования. Сравнение переходных процессов регулирования уровня при изменении заданий, полученных экспериментально и в среде Simulink, представлено на рис. 11.

Оценка адекватности модели не превышает допустимую погрешность, полученное значение $\mu = 3,13\% \leq 10\%$.

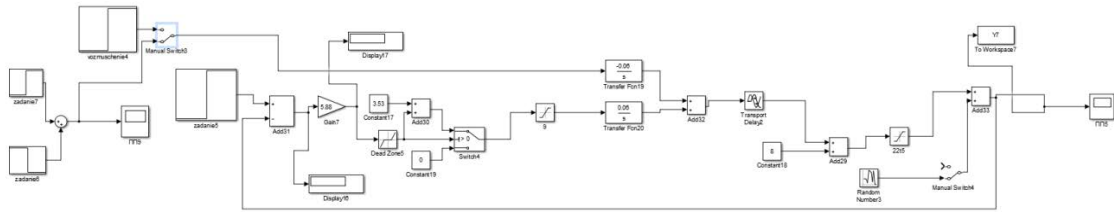


Рис. 7. Структурная схема имитационной модели разработанного стенда с П – законом регулирования

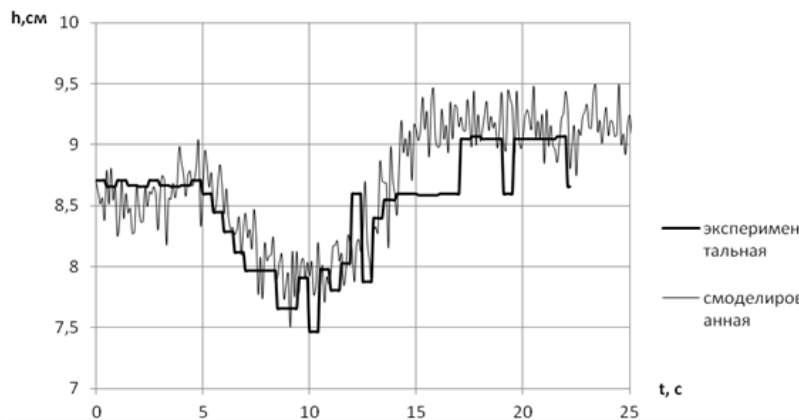


Рис. 8. Переходной процесс регулирования уровня при подаче возмущения с П – законом регулирования

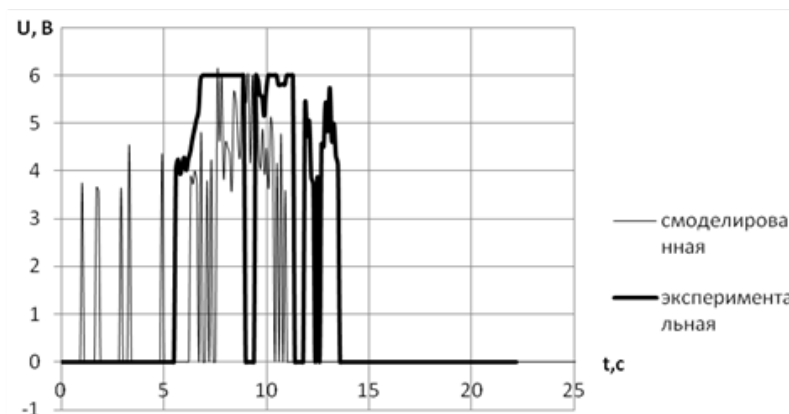


Рис. 9. Управляющее воздействие П – регулятора реального объекта и модели

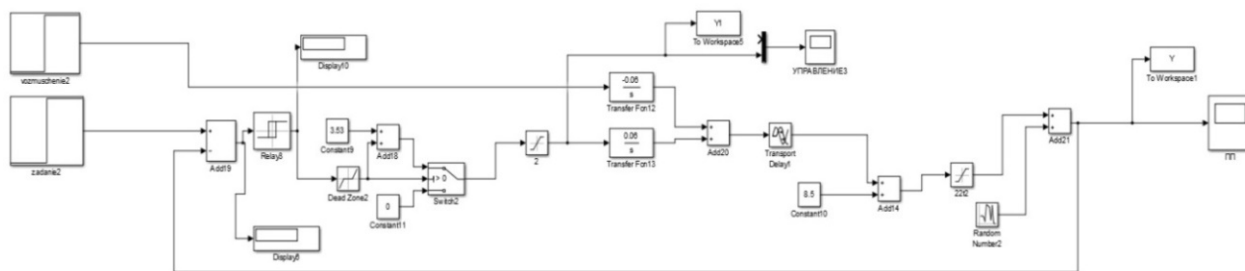


Рис. 10. Структурная схема имитационной модели разработанного стенда при релейном законе регулирования

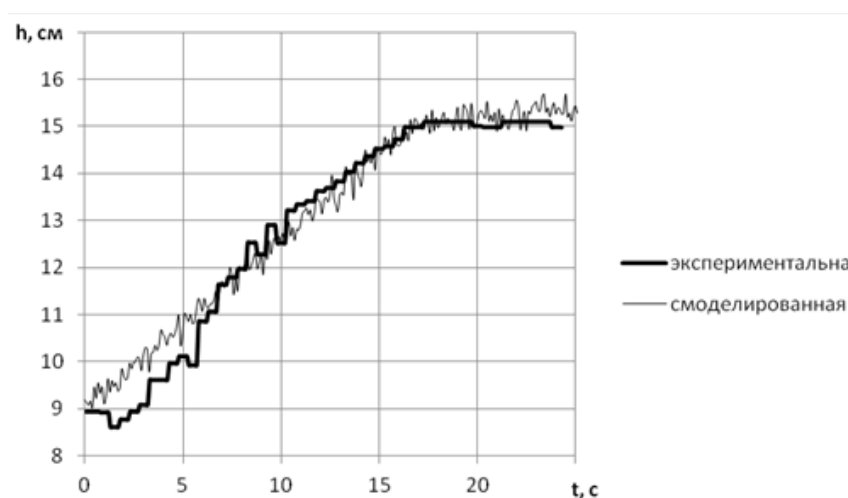


Рис. 11. Переходной процесс регулирования уровня при изменении задания с релейным законом регулирования

Выводы. Платформу Arduino можно использовать в учебном процессе для создания лабораторных установок. Была разработана АСР уровня воды в емкости с возможностью изменения законов регулирования, задания, нагрузки в режиме реального времени, создана имитационная модель, а также разработано программное обе-

спечение для визуализации переходных процессов регулирования.

Обучение студентов с использованием этой лабораторной установки позволит сформировать необходимые практические навыки и выработать требуемые компетенции для будущей профессиональной деятельности студентов.

Список литературы:

1. Улицкая Е.О., Лысюк А.П., Костюкова О.Н. Разработка и исследование компьютерно-интегрированной системы управления уровнем воды с разработкой учебного стенда. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки»*. 2019. Том 30(69) № 3. Частина 1. С. 175–179.
2. Меркульев А.Ю., Горячева Е.П., Юрков Н.К. К вопросу об оценке адекватности модели. *Молодой ученый*. 2014. № 2. С. 153–155.
3. Данилов А.Н., Кон Е.Л., Кон Е.М., Южаков А.А. Модель многоканального управления учебным процессом высшей школы. *Открытое образование*. 2012. № 2. С. 7–11.
4. Онлайн курс по Ардуино на базе простого стартового набора. *Geektimes*. URL: <https://geektimes.ru/post/279860/> (дата обращения: 26.11.2019).
5. Лободинов В.С., Пан С.Р., Пугачев И.В., Трофименко В.Н., Тузко Я.Н. Применение Arduino в учебном процессе. *Молодой исследователь Дона*. 2019. № 1(16). С. 51–55.
6. Черных И.В. *Simulink: среда создания инженерных приложений* / Под общ. ред. к. т. н. В.Г. Потемкина. М. : ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. 496 с.

Ulytskaia E.O., Kostiukova O.M. THE COMPUTER INTEGRATED CONTROL SYSTEM OF WATER LEVEL WITH DEVELOPMENT OF THE EDUCATIONAL STAND

The actual task of improving the educational process is to support the presentation of theoretical material with practical examples. The current difficult situation with the equipment and modernization of the material and technical base of educational institutions leads to the need to find available solutions. The Arduino hardware platform is a great base in building training stands that require the development of electronic devices in the field of process automation. A wide range of sensors and actuators compatible with Arduino-based devices make it possible to implement many training projects. Also an important part of the learning process is the involvement of students in the development of laboratory stands. The ability to test mathematical description on real equipment increases students' interest in the educational process.

The article is devoted to the development of a training stand that allows synthesizing an automatic system for regulating the water level in a tank.

The Arduino hardware platform is used, the developed code in the Processing language allows you to visualize the parameters of the process in real time. The developed control panel allows you to change the regulation law (P, PI, relay), task, as well as simulate load changes. The problem of simulating ASR of the water level in the tank is solved, a mathematical description is created that takes into account the nonlinear characteristics of the control object. The adequacy of the obtained mathematical model is estimated, it is proved that the difference between the developed mathematical description and the experimental data does not exceed 4%.

The analysis and comparison of transient regulation processes The simulation and full-scale model of ASR water level in the tank. The obtained results can be used in the educational process when studying the foundations of modeling and the theory of automatic control of process control systems.

Key words: *nonlinear model, level regulation, training stand, regulation law, approximation.*

Улицкая Е.О.

Одесский национальный политехнический университет

Широкова А.Н.

Одесский национальный политехнический университет

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ В КОМПЕНСАТОРЕ ДАВЛЕНИЯ АЭС

Система компенсації тиску є системою нормальної експлуатації, важливою для її безпеки. Вона належить до першої категорії сейсмостійкості. У першому контурі водо-водяних енергетичних реакторів в якості теплоносія застосовується вода, недогріта до кипіння приблизно на 60 градусів за Цельсієм (при нормальному тиску в першому контурі). Вибір саме такої величини недогріву обумовлений компромісом між досягненням максимальних параметрів теплоносія на виході з реактора (для отримання високого ККД установки) при заданому номінальному тиску в першому контурі і забезпеченням запасів до кризи теплообміну на оболонках паливних елементів, а також забезпечення можливості роботи головних циркуляційних насосів.

Вода при параметрах I контуру володіє відносно великим температурним коефіцієнтом зміни обсягу і низьким рівнем стискання, що при замкненому першому контурі призводить до неприпустимо великих змін тиску й температурного режиму першого контуру (навіть при нормальних перехідних режимах). Співвідношення водяного і парового об'єму КТ вибрано з умови, що ні в одному з проектних режимів аварійного розцильнення першого і другого контурів не повинно відбуватися закидання пари в перший контур із КТ і оголення електронагрівачів КТ.

Однією з регульованих величин є тиск теплоносія. У стаціонарному стані потужність ТЕНів (трубчастий електронагрівач) компенсує втрати теплоти в навколишнє середовище. При зниженні температури теплоносія, частина цього теплоносія переходить у перший контур. Пар у компенсаторі тиску (КТ) розширюється, і тиск падає. Для його відновлення необхідно збільшити потужність ТЕНів. При збільшенні потужності реактора процеси відбуваються у зворотному напрямку. При великих і швидких підвищеннях тиску використовується впорскування води з холодної нитки циркуляційного контуру. Якщо після відкриття клапанів уприскування тиск у компенсаторі продовжує зростати, то пар скидається в барботер, якщо це не допомагає, – в атмосферу. У статті досліджується автоматична система регулювання (АСР) тиску в КТ.

Ключові слова: тиск, АЕС, АСР, компенсатор тиску, система управління, перехідний процес регулювання, модель.

Постановка проблеми. Компенсатор давления работает на поддержание давления в первом контуре при проектных нарушениях условий нормальной эксплуатации и проектных аварийных ситуациях, поэтому КД является важным и неотъемлемым объектом. Повышение или снижение давления в первом контуре может привести к аварии на атомной электростанции, поэтому целью статьи является создание АСР давления в КД.

Постановка задания: показать обзор настройки регулятора на примере компенсатора давления АЭС с дальнейшей настройкой регуляторов, управляющих работой группы ТЭНов и группы клапанов впрыска воды.

Изложение основного материала исследования. Система компенсации давления теплоно-

сителя – автономная система ядерного реактора, которую подключают к контуру теплоносителя с целью выравнивания колебаний давления в контуре во время работы реактора, возникающих за счет теплового расширения. Система компенсации давления является системой нормальной эксплуатации, важной для безопасности. Она относится к первой категории сейсмостойкости. Система КД предназначена для:

- поддержания давления в первом контуре;
- создания давления в первом контуре при пуске реактора;
- снижения давления в первом контуре при расхолаживании;
- поддержания постоянного давления в первом контуре при работе реактора на мощности в номинальном режиме;

- ограничения отклонения давления в первом контуре в аварийных режимах;
- компенсации изменений объема в первом контуре, которые приводят к изменениям температурного режима работы РУ;
- ограничения отклонений давления в первом контуре, которые вызывают изменения температурного режима реакторной установки;
- защиты первого контура от превышения давления выше допустимого в аварийных режимах.

В состав системы компенсации давления входят:

- а) компенсатор давления;
- б) барботажный бак;
- в) импульсные предохранительные устройства КД;
- г) трубопроводы и арматура.

Схема автоматического регулирования давления в КД изображена на рис. 1.

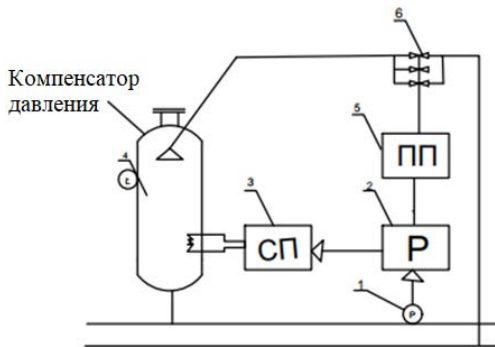


Рис. 1. Принципиальная схема АСР давления в КД

Давление в первом контуре измеряется с помощью манометра 1, сигнал давления подается на логическое устройство 2 и производит дискретные сигналы, управляющие силовыми устройствами 3 электронагревателей 4 или клапанами впрыска воды 6 через пусковые устройства 5.

Логическое устройство 2 представляет собой два регулятора. Первый регулятор имеет ПД-закон регулирования. Он влияет на регулирующий клапан впрыска воды. П-закон реализован охватом ПИ-регулятора жесткой обратной связью по положению регулирующего органа. Дифференциальная составляющая реализуется с помощью дифференциатора.

Второй многоканальный регулятор – позиционный с дифференциальной составляющей, который управляет двумя быстродействующими задвижками и четырьмя группами электронагревателей. Применение дифференциальной составляющей вызвано тем, что при открытии клапанов

впрыска давление в КД снижается с большой скоростью. Для предотвращения значительного снижения давления при сбросах нагрузки необходимо с предупреждением закрыть клапаны впрыска и включить ТЭНы.

В стационарном состоянии мощность ТЭНов компенсирует потери теплоты в окружающую среду. При понижении температуры теплоносителя его часть переходит в первый контур. Пар в компенсаторе давления расширяется, и давление падает. Для его восстановления необходимо увеличить мощность ТЭНов. При увеличении мощности реактора процессы происходят в обратном направлении. При больших и быстрых повышениях давления используется впрыск воды с холодной нити циркуляционного контура. Если после открытия клапанов впрыска давление в компенсаторе продолжает расти, то пар сбрасывается в барботер, если это не помогает, – в атмосферу. Таким образом, одной из регулирующих величин является давление теплоносителя.

Динамические свойства компенсатора давления при возбуждении реактивностью или расходом пара являются нелинейными. Такие нелинейные свойства можно примерно описать с помощью инерционных звеньев первого порядка и звена чистого запаздывания, как это показано на рисунке 2.

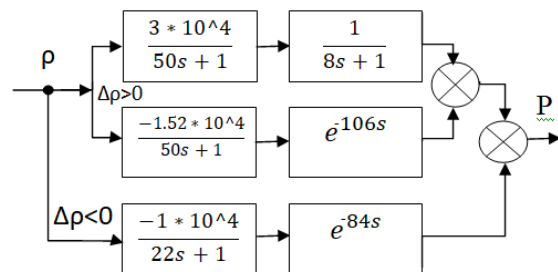


Рис. 2. Динамические свойства компенсатора давления при возбуждении реактивностью

В реальной энергетической установке возмущающим воздействием на давление является изменение реактивности реактора и расход пара на турбину. Динамические свойства компенсатора давления при возбуждении реактивностью или расходом пара являются нелинейными.

Далее была создана структурная схема имитационной модели, которая изображена на рис. 4.

Моделирование регуляторов дискретного действия основано на алгоритмах регуляторов реальной системы компенсации давления. Установки включения/выключения представлены в таблице 1. «Тонкий» впрыск управляется регулятором

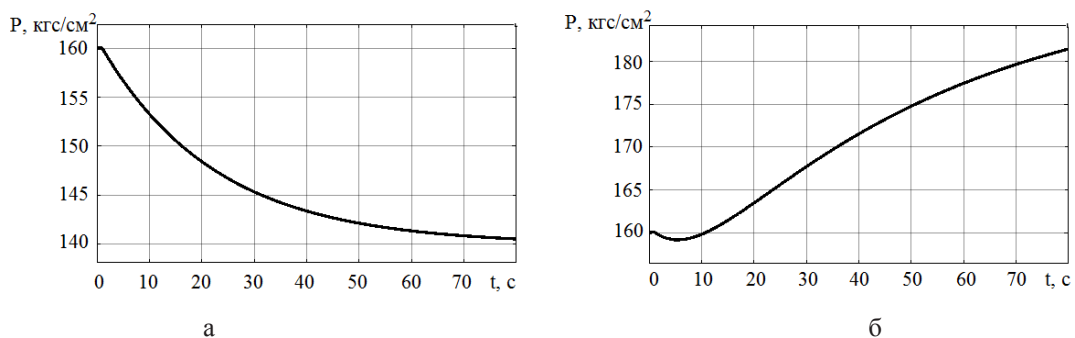


Рис. 3. Кривые разгона компенсатора давления при уменьшении (а) и увеличении (б) реактивности

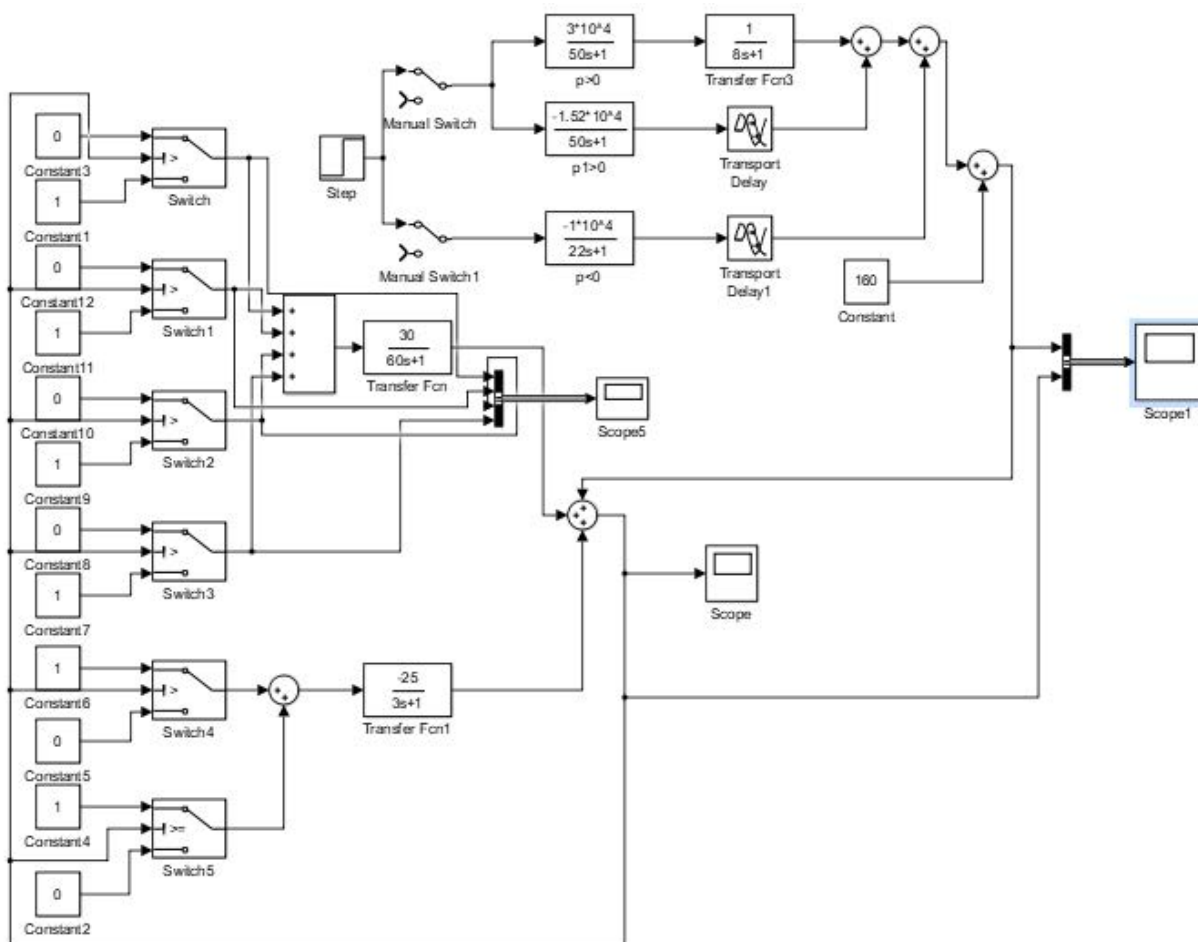


Рис. 4. Модель замкнутой АСР компенсатора давления

Таблица 1

Эффективность групп ТЭН компенсатора давления

Значение параметра, кгс/см ²	Регулирующее воздействие	Зона нечувствительности соотв. релейных элементов
164,0	Вкл. впрыск	0,5
160,0	Вкл. впрыск	0,2
159,9	Вкл. ТЭН	0,2
158,5	Вкл. ТЭН	2
157,0	Вкл. ТЭН	3
155,0	Вкл. ТЭН	5

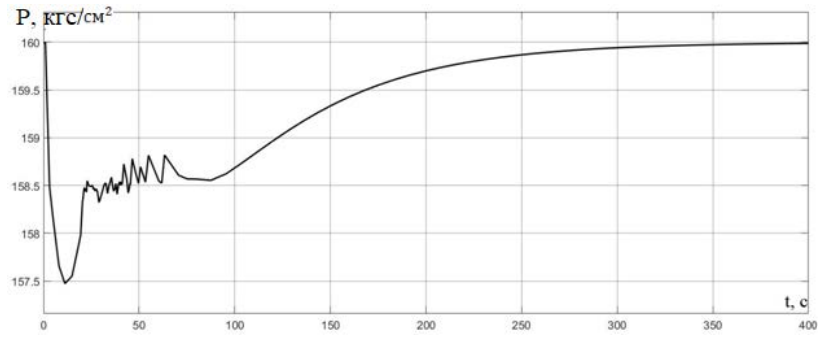


Рис. 5. Переходный процесс регулирования (ППР) в компенсаторе давления при отклонении $+\Delta p = 0,003$

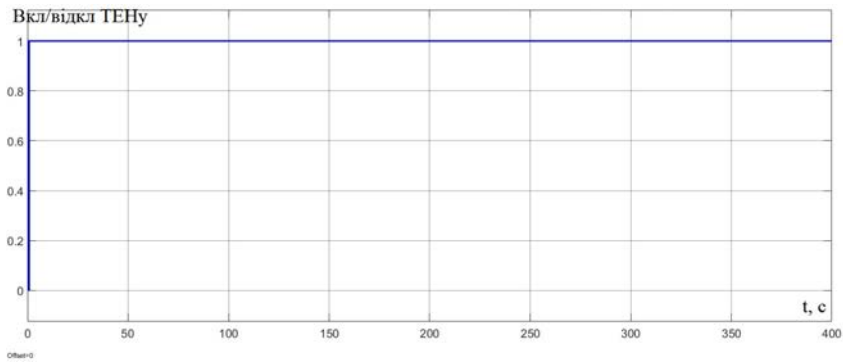


Рис. 6. Включение ТЭН 1 при отклонении $+\Delta p = 0,003$

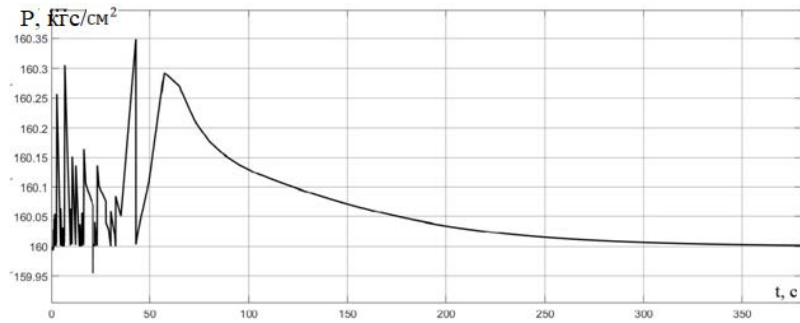


Рис. 8. Переходный процесс регулирования (ППР) в компенсаторе давления при отклонении $\Delta p = 0,009$

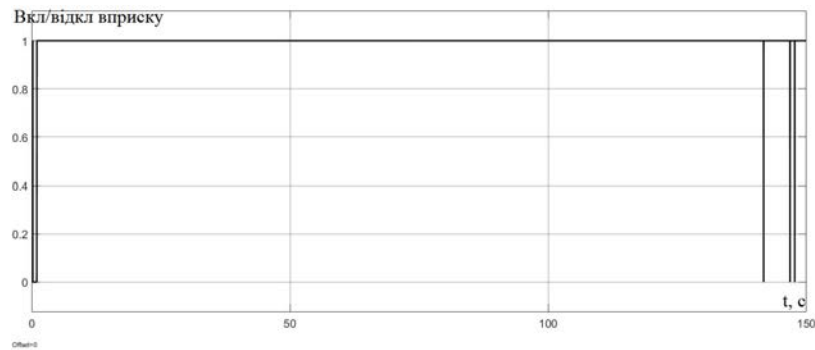


Рис. 9. Включение впрыска при отклонении $\Delta p = 0,009$

пропорционального действия. При нанесении отклонения по реактивности $\Delta\rho = 0,003$ давление падает до $157,5 \text{ кгс/см}^2$ (рис. 5). Это приводит к включению одного ТЭНа (рис. 6). При беспрерывной работе ТЭНа давление нормализуется на 350 с.

Автор рассматривает случай нанесения возмущения по реактивности $\Delta\rho = 0,009$. В этом случае давление возросло до $160,35 \text{ кгс/см}^2$ (рис. 7), что привело к включению впрыска холодной воды (рис. 8). На 350 с давление пришло в норму 160 кгс/см^2 .

Выводы. Была создана автоматическая система регулирования давления в компенсаторе, построена структурная схема имитационной модели,

рассмотрены варианты при нанесении различного возмущения. Автор рассмотрел принципиальную схему АСР давления в КД. Поскольку в компенсаторе давления два управляющих воздействия для точного поддержания заданного давления, КД вызывает интерес в исследовании в качестве объекта управления. Система управления была настроена таким образом, чтобы при повышении давления включался впрыск, а при его падении – группа ТЭН.

Анализируя полученные переходные процессы можно сделать вывод, что ошибка регулирования давления не превышает $\pm 5 \text{ кгс/см}^2$, то есть требования технологического регламента соблюдены.

Список литературы:

1. Демченко В.А. Автоматизация и моделирование технологических процессов АЭС и ТЭС / КБ «Теплоэнерго», 2001. 102 с.
2. Беркович В.М., Горохов В.Ф., Татарников В.П. О возможности регулирования мощности энергосистемы с помощью атомных электростанций. Теплоэнергетика. / Вып. 6. 19 с.
3. Максимов М.В. Метод оценки эффективности алгоритма маневра мощностью энергоблока с реакторами ВВЭР-1000 / Известия вузов. Серия «Ядерная энергетика», 2008. Вып. 4. С. 128–139.
4. Баскаков В.Е. Алгоритм эксплуатации энергоблока с ВВЭР в поддержке суточного баланса мощности энергосистемы / Труды Одесского политехнического университета, 2007. Вып. 2(28). С. 56–59.
5. Современные технологии управления : монография: в 2 т. / Под общ. ред. С.В. Куприенко; Sworld. Одесса : Куприенко С.В., 2012. 179 с.
6. Медведев Р.Б., Сангинова А.В. Оптимальное управление процессом изменения концентрации борной кислоты в теплоносителе первого контура АЭС с ВВЭР-1000 / Научные вестии Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт», 2002. Вып. 2(22). С. 29–56.
7. Волошкина А.А., Беглов К.В., Плахотнюк А.А. Исследование регулятора концентрации жидкого поглотителя энергоблока АЭС / Автоматизация технологических и бизнес-процессов, 2015. Т. 7. Вып. 4. С. 18–24.
8. Плетнев Г.П. Автоматизированное управление объектами тепловых электростанций. М. : Энергоиздат, 1981. 159 с.

Ulytskaia E.O., Shyrokova A.N. AUTOMATIC PRESSURE CONTROL SYSTEM IN THE NPP PRESSURE COMPENSATOR

The pressure compensation system is a normal operation system that is important for safety and belongs to the first category of seismic resistance. In the first circuit of water-cooled power reactors, water is used as a coolant, which is not heated to boiling by about 60 degrees Celsius (at normal pressure in the first circuit). The choice of just such a magnitude of underheating is due to a compromise between reaching the maximum parameters of the coolant at the outlet of the reactor (and, therefore, obtaining a high efficiency of the installation as a whole) at a given nominal pressure in the primary circuit and providing reserves before the heat exchange crisis on the shells of fuel cells, as well as ensuring the possibility of operation main circulation pumps.

Water with parameters 1 of the circuit has a relatively large temperature coefficient of volume change and low compressibility, which, when the primary circuit is closed, leads to unacceptably large changes in pressure when the temperature of the primary circuit changes (even under normal transient conditions). The ratio of the water and steam volume of the CD is selected from the condition that in none of the design modes of emergency decompression of the first and second circuits, steam should not be thrown into the first circuit from the CD and the electric heaters of the CD exposed. One of the adjustable values is the coolant pressure.

In a stationary state, the power of the heating elements (tubular electric heater) compensates for the loss of heat into the environment. When the temperature of the coolant decreases, part of this coolant passes into the primary circuit. The steam in the pressure compensator (CD) expands and its pressure drops. To restore it, it is necessary to increase the power of the heating elements. With an increase in reactor power, processes occur in the opposite direction. At large and rapid increases in pressure, water injection is used from the cold thread of the circulation circuit. If, after opening the injection valves, the pressure in the compensator continues to increase, then the steam is discharged into the bubbler. If this does not help, then into the atmosphere. The article examines the automatic control system (ASR) pressure in the CD.

Key words: pressure, nuclear power plant, ASR, pressure compensator; control system, transient regulation process, model.

Хіль В.В.

Одеський національний політехнічний університет

ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ПЕРВИННОГО ПЕРЕГРІВУ ПАРИ

Нині автоматизують практично всі виробничі процеси, які сприяють збільшенню випуску, зниженню собівартості й поліпшенню якості продукції, зменшують чисельність обслуговуючого персоналу, підвищують надійність і довговічність машин, економічність, поліпшують умови праці й техніки безпеки. За рівнем автоматизації теплоенергетика займає одне із провідних місць серед інших галузей промисловості. Теплоенергетичні установки характеризуються безперервністю процесів, які протікають у них, при цьому вироблення електричної і теплової енергії в будь-який момент повинно відпо-відати споживанню (навантаженню).

Майже всі операції на теплоенергетичних установках автоматизовані. Автоматизація парогенераторних установок дає значні переваги:

- 1) забезпечує зменшення чисельності обслуговуючого персоналу, підвищення продуктивності його праці;
- 2) призводить до зміни характеру й полегшення умов роботи обслуговуючого персоналу;
- 3) збільшує точність підтримки параметрів вироблюваної пари;
- 4) підвищує безпеку праці й надійність роботи обладнання;
- 5) збільшує економічність роботи парогенератора.

При налагодженні системи регулювання необхідне знання динамічних властивостей об'єкта, які можуть бути отримані двома способами: експериментально (безпосередньо на об'єкті) або аналітично при виведенні й дослідженні його математичної моделі. Перший спосіб трудомісткий, вимагає застосування спеціальних вимірювальних і самописних пристроїв, втручання в роботу об'єкта, участі в експерименті кваліфікованого персоналу. Деякі виміри, наприклад вихідного сигналу термopару при вимірянні відхилення температури на 5°C – 10°C , вимагають застосування високочутливих і високо-точних самописних пристроїв.

Другий спосіб більш універсальний. Він вимагає суттєво менших витрат, має значну інформативність, особливо при застосуванні універсальних пакетів прикладних програм на сучасних ПЕОМ, однак відрізняється меншою точністю при застосуванні на конкретному об'єкті. При багатобічних дослідженнях складних об'єктів перевагу варто надавати аналітичним методам дослідження.

Ключові слова: пароперегрівач, перегрітий пар, первинний перегрів пари, автоматична система регулювання, колектор змішання, нижня радіаційна частина, верхня радіаційна частина, конвективний пароперегрівач, економайзер, гаряче повітря.

Постановка проблеми. Підтримка необхідної величини температури перегріву пари має важливе значення для забезпечення надійної роботи паросилових установок. При коливаннях температури (вище–нижче) кристалічна решітка залізної труби тріскається, і це приводить до тріщин на стінці трубопроводу. Заміна пошкодженої ділянки труби не можлива без зупинки котлоагрегату, що призводить до значних економічних втрат.

Аналіз існуючих систем регулювання температури перегріву пари. Опираючись на матеріали наукової літератури, а саме [1–4], автор дійшов висновку, що на початку 90-х років АСР температури перегріву пари методом вприскування власного конденсату проектувалися з уведенням додаткового впливу по витраті пари, але широкого застосування вони не знайшли. Існу-

ють АСР із різного роду зв'язками типу «люфт» між окремими схемами регулювання температури перегрітої пари на ділянках парового тракту котла. Вони не отримали широкого розповсюдження через відсутність стандартних датчиків типу «Люфт» і труднощі їх налагодження.

У закордонній практиці знайшли застосування АСР температури перегріву пари з коригувальним і стабілізуючим регуляторами, але у вітчизняній практиці вони поки не застосовуються, хоча, як показують попередні розрахунки, ці АСР у деяких випадках можуть мати значні переваги перед типовими зі зникаючим імпульсом із проміжної точки.

У вітчизняній практиці в основному застосовується типова АСР температури перегріву пари, яка отримала назву каскадної АСР зі зникаючим

імпульсом із проміжної точки. Принципова схема АСР зображена на рисунку 1, де Р – ПІ-регулятор; ДФ – диференціатор; РО – регулюючий орган (клапан уприскування); ТЕ1 і ТЕ2 – термоелектричні термометри (типу ТХК або ТХА); ПП – пароперегрівник; ПО – парохолодник.

Можливе застосування АСР без випереджуючого швидкісного сигналу за температурою пари. У цьому випадку схема АСР значно спрощується й набуває такого вигляду, як це зображено на рис. 2 (позначення ті ж самі, що й на рис. 1). Таке спрощення призводить до погіршення якості перехідних процесів, у том числі до невиконання вимог, які висуваються до АСР.

Таким чином, серед усіх відомих схем регулювання температури пари на виході з пароперегрівника кращою є схема з використанням одного випереджуючого швидкісного сигналу за температурою пари за місцем вприскування конденсату. Перехідні процеси регулювання при використанні цієї схеми відповідають вимогам до АСР температури пари на виході з ПП, а настройки регулятора й диференціатора розраховуються досить легко і не потребують додаткових даних. Тож далі автор досліджуватиме найпоширенішу схему керування температурою пароперегріву.

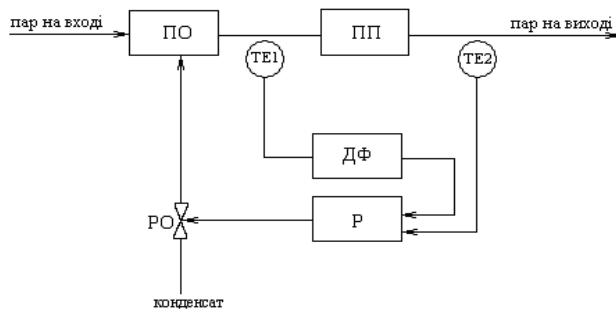


Рис. 1. Принципова схема АСР температури перегріву пари зі зникаючим імпульсом із проміжної точки за місцем вприскування

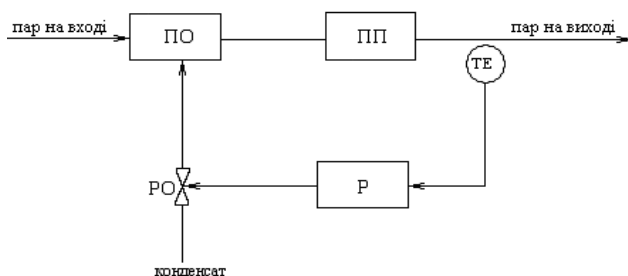


Рис. 2. Принципова схема АСР температури перегріву пари із жорстким зворотнім зв'язком

Постановка завдання. Найбільш поширеним способом регулювання температури перегріву пари

є охолодження перегрітої пари шляхом вприскування живильної води або власного конденсату. Для регулювання температури на заданому рівні використовується автоматична система регулювання первинного перегріву пари з уведенням похідної у довільній точці. Перегрітий пар – пар, нагрітий до температури, яка перевищує температуру кипіння при такому тиску. Перегріта пара використовується в циклах різних теплових машин із метою підвищення їх ККД. Отримання перегрітої пари відбувається в спеціальних пристроях – пароперегрівачах.

Виклад основного матеріалу дослідження. Пароперегрівач – це пристрій, призначений для перегріву пари, тобто підвищення його температури вище критичної. Використання перегрітої пари дозволяє значно підняти ККД парової установки. Пароперегрівач – це система трубчастих каналів, які проходять через топку. Для того, щоб зменшити відкладення накипу на стінках, пароперегрівачі підключають до системи після паросепараторів, які відокремлюють дрібні краплі води. Осідання накипу призводить до збільшення теплового опору стінок каналів, що викликає перегрів і вигорання елементів пароперегрівача.

Пароперегрівач складається з паралельних труб, виконаних зі сталі. Внутрішній d труби – від 20 до 70 мм. Труби вигнуті у вигляді змійовиків і укріплені або в газододах, або в різних частинах топки. Пакет змійовиків складається з системи таких труб у паровому котлі. Змійовики одним краєм приєднуються до вхідного колектора або барабану котла, а іншим – до проміжного або вихідного колектора.

Ціль роботи – аналіз автоматичної системи регулювання температури первинного перегріву пари. Первинний перегрів пари потрібен для того, щоб зменшити відкладення накипу на стінках. Так, пароперегрівачі підключаються до системи після паросепараторів, які відокремлюють дрібні краплі води.

Осідання накипу призводить до збільшення теплового опору стінок каналів, викликає перегрів і вигорання елементів пароперегрівача. Схема моделювання автоматичної системи первинного перегріву пари в програмному забезпеченні Math Lab SIMULINK показана на рисунку 3.

Для синтезу системи регулювання температури перегріву становить інтерес визначення кривої розгону по каналу регулюючого впливу, які показані на рисунках 4 і 5.

Час розгону $T_a = 322$ с

Ємкісне запізнення $\tau = 38$ с

Чисте запізнення $\tau_0 = 2$ с

$K = k_M k_P = 2,15$
 Ємкісне запізнення $\tau = 32$ с
 Чисте запізнення $\tau_0 = 2$ с

Для регулювання системи був вибраний регулятор із введенням похідної у довільній точці. Об'єкт управління розділений на дві частини:

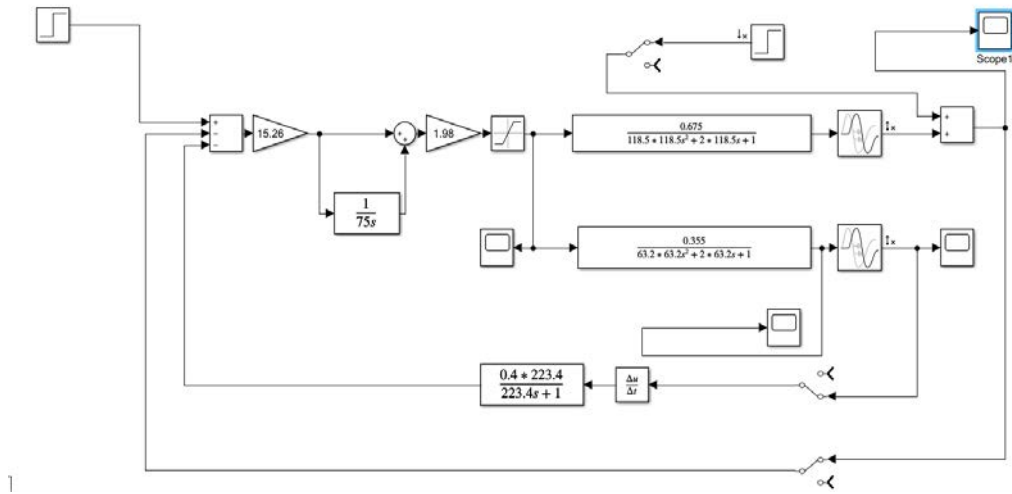


Рис. 3. Схема моделювання

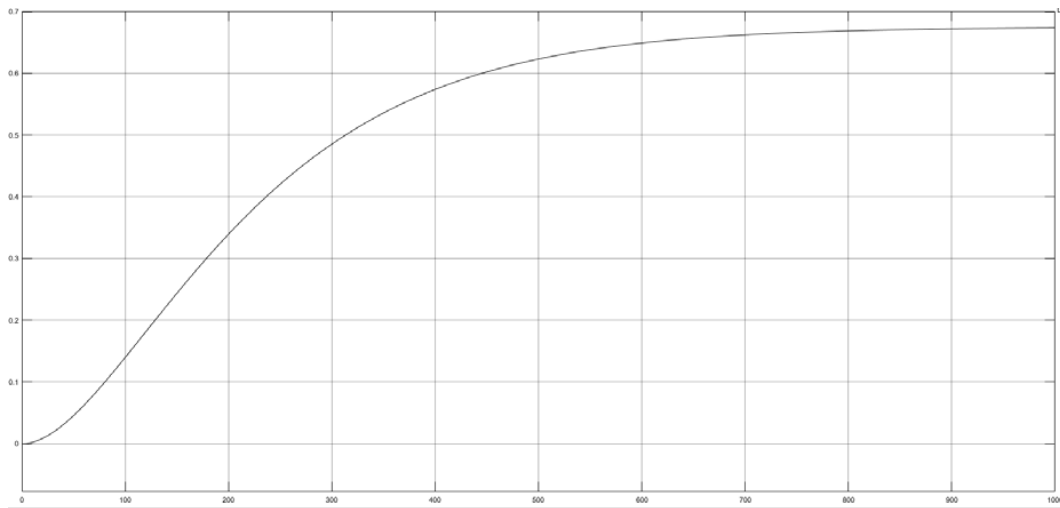


Рис. 4. Крива розгону об'єкта 1

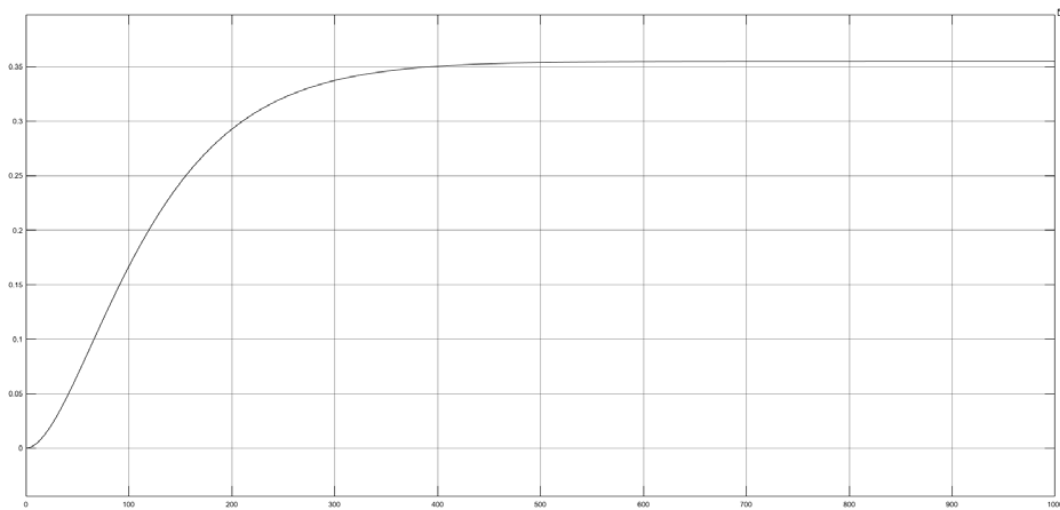


Рис. 5. Крива розгону об'єкта 2

$W_{out}^{MX}(s)$ і $W_{in}^{MX}(s)$. Перша частина має відносно меншу інерційність, ніж друга, тобто випереджає її. Друга більш інерційна, оскільки має велику довжину і масу. Між першою і другою частинами об'єкта влаштований пункт для відбору інформаційного сигналу, від якого за допомогою диференціатора береться перша похідна. В якості основного регулятора в цій схемі зазвичай застосовується ПІ-регулятор. З огляду на передавальні функції реального диференціатора і ПІ-регулятора:

$$W_d(s) = \frac{k_d T_d s}{T_d s + 1}, W_p(s) = k_p + \frac{k_i}{T_i s}, \quad (1)$$

Визначенню повинні підлягати чотири параметри налагодження:

$$k_d, T_d, k_p, T_i.$$

Розрахунок параметрів регулятора. Криві розгону використовуються для отримання даних для налаштування регулятора. Вони були оброблені

за методикою Л.Й. Кона. Вважається, що дані для обробки отримані у вигляді кривої розгону керованого об'єкта по каналу регулювання. Крива розгону була наслідком того, що на вхід було подано ступінчастий сигнал одиничного розміру, яким вважається 100% значення цього сигналу.

Налаштування коригуючого регулятора. Із знайдених налаштувань, еквівалентних стабілізуючому і коригуючому регулятору, автор визначив параметри налаштувань:

реального ПІ-регулятора $W_p(s)$:

$$T_u = \frac{T_{u1}^* T_d}{T_{u1}^* + T_d} = \frac{114 \cdot 223.4}{114 + 223.4} = 75, \quad (2)$$

$$k_p = \frac{k_{p2}^*}{T_d} (T_u + k_{p2}^* k_{00} T_d) = \frac{6}{223.4} (75 + 6 \cdot 0.355 \cdot 223.4) = 15.26, \quad (3)$$

реального диференціатора $W_d(s)$

$$T_d = 223,4$$

$$k_d = \frac{k_{p1}^*}{k_p} = \frac{6}{15.26} = 0.4, \quad (4)$$

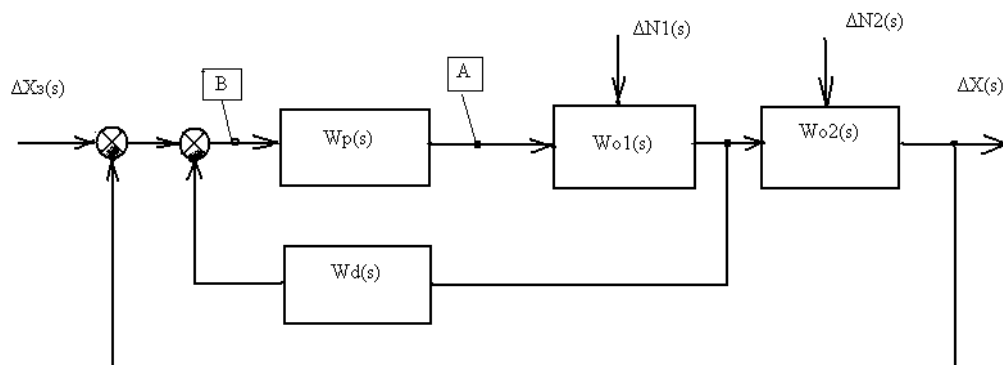


Рис. 6. Структура АСР з уведенням похідної у довільній точці

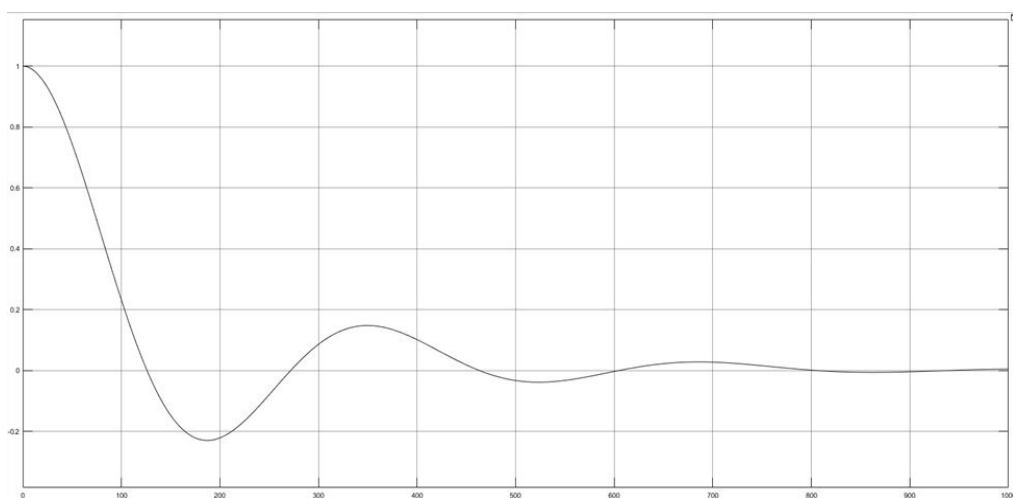


Рис. 7. Результати налаштування перехідних процесів регулювання температури в SIMULINK

Результати налаштування ППР температури в SIMULINK показані на рисунку 7.

Показниками якості ППР температури є:

1. Максимальне відхилення регульованої величини: $A_1 = 0,53^\circ\text{C}$.

2. Час регулювання: $t_p = 600^\circ\text{C}$.

3. Міра згасання коливань перехідного процесу:

$$\psi = \frac{A_1 - A_3}{A_1} = \frac{1 - 0,17}{1} = 0,83 \quad (5)$$

4. Коефіцієнт коливальності:

$$\sigma = \frac{A_2}{A_1} \cdot 100\% = \frac{0,22}{1} \cdot 100\% = 22\% \quad (6)$$

Висновки. Підтримка необхідної величини температури перегріву пари має важливе значення для забезпечення надійної роботи паросилових установок. При коливаннях температури (вище – нижче) кристалічна решітка залізної труби тріскається, і це призводить до тріщин на стінці трубопроводу. Заміна пошкодженої ділянки труби не можлива без зупинки котлоагрегату, що призводить до значних економічних втрат.

Найбільш поширеним способом регулювання температури перегріву пари є охолодження перегрітої пари вприскуванням живильної води або власного конденсату. Для регулювання температури на заданому рівні використовується автоматична система регулювання первинного перегріву пари з уведенням похідної у довільній точці.

Список літератури:

1. М.В. Мейкляр. Парові котли електростанцій. М. : Енергія, 1974. 143 с.
2. Н.І. Давидов, Т.Г. Тюпіна. Дослідження системи регулювання температури пари з двома випереджаючими швидкісними сигналами. М. : 2002. № 10. С. 17–21.
3. Д.Я. Кузьменко. Регулювання і автоматизація парових котлів. М. : Енергія, 1978. 45 с.
4. Г.П. Плетньов. Автоматичне регулювання і захист теплоенергетичних установок електростанцій. М. : Енергія, 1976. 76 с.
5. Харабет А.Н. Вивчення класичної теорії автоматичного управління за допомогою сучасного персонального комп'ютера : учебное пособие. О. : Бахва, 2014. 188 с.
6. Беркович В.М., Горохів В.Ф., Татарників В.П. Про можливості регулювання енергосистеми за допомогою атомних електростанцій. Теплоенергетика. 1974. № 6. С. 16–19.
7. Фощ Т.В. Аналіз впливу методів управління потужністю енергоблоку з водо-водяним реактором на осьової офсет / Т.В. Фощ, М.В. Максимов, М.В. Нікольський. Східно-Європейський журнал передових технологій. № 2(8). 2014. С. 19–27.
8. Купрієнко С.В. Сучасні технології управління: в 2 т. Монографія / під заг. ред. С.В. Купрієнко; Sworld. О., 2012. 179 с.

Khil V.V. AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF PRIMARY STEAM OVERHEATING

Currently, they automate virtually all production processes, which leads to an increase in output, lower cost and improve product quality, reduces the number of service personnel, increases the reliability and durability of machines, increases efficiency, improves working conditions and safety. In terms of automation, heat power is one of the leading places among other industries. Thermal power plants are characterized by the continuity of their processes. In this case, the generation of electrical and thermal energy at any time should correspond to consumption (load). Almost all operations on thermal power plants are automated.

Automation of steam generators has significant advantages:

- 1) *provides a reduction in the number of service personnel, e increase the productivity of his work;*
- 2) *changes the nature and ease of service personnel;*
- 3) *increases the accuracy of maintaining the parameters of the produced steam;*
- 4) *improves safety and reliability of equipment;*
- 5) *increases the efficiency of steam generator operation.*

When adjusting the control system requires knowledge of the dynamic properties of the object, which can be obtained in two ways: experimentally directly on the object or analytically in the derivation and study of its mathematical model.

The first method is time consuming, requires the use of special measuring and recording devices, intervention in the object, participation in the experiment of qualified personnel. Some measurements, such as the output signal of a thermocouple when measuring temperature deviations, require the use of highly sensitive and high-precision recorders.

The second method is more versatile, requires significantly less cost, has considerable informativeness, especially when using universal application packages on modern PCs, but it is less accurate when applied to a specific object. In multilateral studies of complex objects, preference should be given to analytical methods of study.

Key words: *steam superheater; superheated steam, primary steam superheater, automatic control system, mixing manifold, lower radiation part, upper radiation part, convective steam superheater, economizer, hot air.*

Відомості про авторів

Остроухов М.С. – аспірант кафедри інженерії програмного забезпечення Державного університету «Житомирська політехніка»;

Бевз С.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електричних станцій і систем Вінницького національного технічного університету;

Березанський В.Г. – кандидат технічних наук, доцент кафедри комплексів авіаційного озброєння Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба;

Білоус А.Я. – студентка 3 курсу групи ОЗ-71 кафедри інженерної екології інституту енергозбереження та енергоменеджменту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Борисов Г.О. – студент Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Бурбело С.М. – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри програмного забезпечення Вінницького національного технічного університету;

Владов С.І. – кандидат технічних наук, викладач циклової комісії фізико-математичних дисциплін та інформатики Кременчуцького льотного коледжу Харківського національного університету внутрішніх справ;

Войтко В.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри програмного забезпечення Вінницького національного технічного університету;

Ворона М.В. – аспірант кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;

Гайдай Г.Ю. – кандидат технічних наук, доцент кафедри морського приладобудування Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;

Галь А.Ф. – кандидат технічних наук, професор Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;

Грабар О.І. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерії програмного забезпечення Державного університету «Житомирська політехніка»;

Грешнов А.Ю. – доцент кафедри морського приладобудування Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;

Гумен Т.Ф. – старший викладач кафедри акустичних та мультимедійних електронних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Дерябіна І.О. – викладач циклової комісії авіаційного транспорту Кременчуцького льотного коледжу Харківського національного університету внутрішніх справ;

Дьяконов А.С. – кандидат технічних наук, доцент кафедри програмованої електроніки, електротехніки та телекомунікацій Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;

Ефімова В.Г. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри фізичної хімії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Єремєєв В.С. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформатики і кібернетики Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького;

Жученко О.А. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації хімічних виробництв Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Іхсанов Ш.М. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри програмованої електроніки, електротехніки та телекомунікацій Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;

Качоровська О.П. – старший викладач кафедри загальної та неорганічної хімії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Колесниченко С.Ф. – кандидат технічних наук, доцент кафедри авіаційної техніки Льотної академії Національного авіаційного університету;

Комлева Н.О. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри системного програмного забезпечення Одеського національного політехнічного університету;

Костюкова О.Н. – студент кафедри комп'ютерних технологій автоматизації Одеського національного політехнічного університету;

Краснопір М.М. – магістр Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

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 інформаційних технологій Миколаївського національного університету імені В.О. Сухомлинського;

Кукунін С.В. – магістр комп'ютерних наук, Principal Full Stack Software Engineer at Spotlight Media Labs, Inc;

Ліннік І.С. – студент Одеського національного політехнічного університету;

Левкін Д.А. – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри вищої математики Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка;

Мельник О.В. – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри інформаційних технологій Миколаївського національного університету імені В.О. Сухомлинського;

Міщенко І.Л. – студент Одеського національного політехнічного університету;

Назаренко Н.П. – викладач циклової комісії фізико-математичних дисциплін та інформатики Кременчуцького льотного коледжу Харківського національного університету внутрішніх справ;

Орлов О.І. – студент 6 курсу Одеського національного політехнічного університету;

Постова С.А. – кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри прикладної математики та інформатики Житомирського державного університету імені Івана Франка;

Паулін О.М. – доктор технічних наук, доцент, доцент кафедри системного програмного забезпечення Одеського національного політехнічного університету;

Переверзєв О.А. – студент Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Песчанський В.Ю. – магістрант Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Пилипенко Л.М. – голова циклової комісії фізико-математичних дисциплін та інформатики Кременчуцького льотного коледжу Харківського національного університету внутрішніх справ;

Пилипенко Т.М. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри фізичної хімії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Повхан І.Ф. – кандидат технічних наук, доцент кафедри програмного забезпечення систем ДВНЗ «Ужгородський національний університет»;

Подгорних Н.В. – викладач циклової комісії фізико-математичних дисциплін та інформатики Кременчуцького льотного коледжу Харківського національного університету внутрішніх справ;

Приходько Н.В. – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри фінансів Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;

Приходько С.Б. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;

Прокоф'єв Є.Г. – старший викладач кафедри інформатики і кібернетики Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького;

Рагулін С.В. – кандидат технічних наук, завідувач кафедри авіаційної техніки Льотної академії Національного авіаційного університету;

Репін М.В. – кандидат технічних наук, асистент кафедри інженерної екології Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Рябенький В.М. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри програмованої електроніки, електротехніки та телекомунікацій Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;

Сарафанюк Д.Е. – студент кафедри системного програмного забезпечення Одеського національного політехнічного університету;

Сердюк І.М. – асистент кафедри інформатики і кібернетики Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького;

Синегуб М.І. – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри системного програмного забезпечення Одеського національного політехнічного університету;

Ставицький П.В. – аспірант кафедри програмного забезпечення Вінницького національного технічного університету;

Стужук І.І. – старший лаборант кафедри програмованої електроніки, електротехніки та телекомунікацій Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;

Сулєма Є.С. – кандидат технічних наук, доцент, доцент Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Трапезон К.О. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри акустичних та мультимедійних електронних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Тригуб І.Є. – студент II курсу магістратури Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького;

Тугова Н.В. – викладач циклової комісії фізико-математичних дисциплін та інформатики Кременчуцького льотного коледжу Харківського національного університету внутрішніх справ;

Уліцька О.О. – доцент кафедри комп'ютерних технологій автоматизації Одеського національного політехнічного університету;

Фаріонова Т.А. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;

Хіль В.В. – студент Одеського національного політехнічного університету;

Цокота М.В. – аспірант кафедри виробництва приладів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Широкова А.Н. – студент кафедри комп'ютерних технологій автоматизації Одеського національного політехнічного університету;

Шмельов Ю.М. – кандидат технічних наук, заступник директора коледжу з навчальної роботи, викладач циклової комісії авіаційного та радіоелектронного обладнання Кременчуцького льотного коледжу Харківського національного університету внутрішніх справ.

НОТАТКИ

Науковий журнал

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

Серія: Технічні науки

Том 31 (70) № 1 2020

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. 13,68. Ум.-друк. арк. 19,07. Зам. № 0220/64

Підписано до друку 06.03.2020. Наклад 150 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»

73021, м. Херсон, вул. Паровозна, 46-а

Телефон +38 (0552) 399 580,

+38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08

E-mail: mailbox@helvetica.com.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 6424 від 04.10.2018 р.