

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

Журнал заснований у 1918 році

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

Серія: Технічні науки

Том 29 (68) № 5 2018

Частина 1

**Київ
2018**

Головний редактор:

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

Члени редакційної колегії:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Рекомендовано до друку та поширення через мережу Internet
Вченою радою Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського
(протокол № 3 від 08.11.2018 року)**

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

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

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

ЗМІСТ

МАШИНОЗНАВСТВО

Поліщук М.М. ПРИНЦИПИ СИНТЕЗУ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ.....	1
----------------------------------------------------------------	---

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

Витвицький В.М., Бардашевський С.В., Мікульонок І.О., Сокольський О.Л. ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИБОТЕХНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГРАНУЛЬОВАНИХ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	9
Мельничук А.В. РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ОСНАСТКИ.....	14
Сіра Н.М., Кологойда А.В., Литвин О.О., Кальченко Д.В. ТЕОРЕТИЧНЕ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДВОСТОРОННЬОГО ШЛІФУВАННЯ ТОРЦІВ ДЕТАЛЕЙ ІЗ РІЗНИМИ ДІАМЕТРАМИ.....	19

ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

Гаврилов С.А., Кимстач О.Ю., Новогрецький С.Н., Подымака В.И., Прудников А.А. РЕАКТОР ТРАНСФОРМАТОРНОГО ТИПА С ИЗМЕНЕНИЕМ КОЭФИЦИЕНТА ВЗАИМОИНДУКЦИИ МЕЖДУ ОБМОТКАМИ.....	27
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

ПРИЛАДИ

Батурін А.П., Терещенко М.Ф. ВПЛИВ УЛЬТРАЗВУКУ НА РЕОГРАФІЧНІ ПОКАЗНИКИ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН ПІД ЧАС ФІЗИОТЕРАПЕВТИЧНИХ ПРОЦЕДУР.....	33
Дегтярук В.І., Будник М.М., Ходаковський М.І., Мудренко М.І., Мешков В.В. РОЗРОБЛЕННЯ ФОТОМЕТРИЧНИХ ПРИЛАДІВ ДЛЯ ПУЛЬСОМЕТРІЇ.....	39
Плакса Д.В., Терещенко М.Ф. ОЦІНКА ВПЛИВУ НАДВИСОКОЧАСТОТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА БІОЛОГІЧНІ ТКАНИНИ.....	44
Цапенко В.В., Терещенко М.Ф. МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ БІОМЕХАНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СТОПИ ЛЮДИНИ.....	51

РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

Абакумова А.О., Сліпухіна О.О., Одарченко Р.С., Яновський Ф.Й., Шутко В.М. ПОЛІНОМІАЛЬНИЙ СПЛАЙН ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ПРИКЛАДНИХ ЗАВДАНЬ У ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯХ ТА РАДІОТЕХНІЦІ.....	60
Таранчук А.А. ЕЛЕКТРИЧНА МОДЕЛЬ П'ЄЗОРЕЗОНАНСНОГО МЕХАНОТРОНА З ЄМНІСНИМ КЕРУВАННЯМ	65

ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

Білецький І.А., Будник М.М. РОЗРОБКА АРХІТЕКТУРИ ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОННИХ КАБІНЕТІВ ЛІКАРЯ-КАРДІОЛОГА ТА ПАЦІЄНТА	71
Борисенко В.Д., Устенко С.А., Устенко І.В. ЗАСТОСУВАННЯ В-СПЛАЙНІВ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ПИТОМОЇ ІЗОБАРНОЇ ТЕПЛОЄМНОСТІ ПОВІТРЯ ВІД ТЕМПЕРАТУРИ ТА ТИСКУ.....	77

Бородкіна І.Л., Бородкін Г.О. ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ ПІДТРИМКИ БЕЗПЕЧНОЇ РОБОТИ З EXCEL-ДОКУМЕНТАМИ	82
Брацький В.О. ОБРОБЛЕННЯ Й АНАЛІЗ LOG-ФАЙЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ LOGHELPER.....	87
Веретеннікова Н.В., Ржеуський А.В., Кунанець Н.Е., Лаба Р.Ю. ФОРМУВАННЯ ВІРТУАЛЬНИХ ТУРІВ КОРПУСАМИ НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА».....	93
Гайтан О.М., Горошко А.І. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОЇ ПЕРЕВІРКИ ОРИГІНАЛЬНОСТІ ТЕКСТІВ.....	98
Доценко Н.В. КОМБІНАТОРНО-ЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО ПОБУДОВИ ФОРМАЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ ФОРМУВАННЯ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ ПРОЕКТНИХ КОМАНД.....	105
Дробаха Д.А., Корнага Я.І. УПРАВЛІННЯ 3D-МОДЕЛЛЮ АВТОМОБІЛЯ НА ТРЕКУ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ.....	110
Дубчак Л.О., Бойків Н.І., Васильків Н.М. СИСТЕМА МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ КНИЖКОВОГО МАГАЗИНУ.....	115
Жуковський В.В., Скрипчук П.М., Жуковська Н.А. ПРОЕКТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА ГЕОІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНОЇ СИСТЕМИ ОРГАНІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА.....	121
Кисіль Т.М., Бедратюк Г.І. ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕРАКТИВНОГО СЕРЕДОВИЩА МАТЛАВ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ ОПТИМІЗАЦІЇ.....	126
Коваленко О.В. АНАЛІЗ І ДОСЛІДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	131
Комаров М.Ю., Ониськова А.В., Гончар С.Ф. АНАЛІЗ І ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ ПОРУШНИКА БЕЗПЕКИ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ ЗАХИЩЕНОГО ВУЗЛА ІНТЕРНЕТ ДОСТУПУ.....	138
Комлева Н.О., Комлева О.О., Комлева Г.О. ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ WEB-ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО МЕДИЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ.....	143
Красников С.О. АЛГОРИТМ НАЛАШТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ АЛГОРИТМУ ІМІТАЦІЙНОГО ВІДПАЛУ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ КОМІВОЯЖЕРА.....	150
Лазебний В.С., Інь Ченлянь, Омелянець О.О. ДОСЛІДЖЕННЯ РЕАЛЬНОЇ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ БЕЗПРОВОДОВОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ СПЕЦИФІКАЦІЇ IEEE 802.11n.....	155
Lozhechnikova N.V., Zhelenko V.O. THE ANALYSIS OF FORCED-AIR AND EXHAUST INSTALLATIONS WITH HEAT RECUPERATING.....	161

CONTENTS

MACHINE SCIENCE

Polishchuk M.M.

PRINCIPLES OF SYNTHESIS OF MOBILE ROBOTS1

INDUSTRIAL ENGINEERING

Vytyvtskyi V.M., Bardashevskyi S.V., Mikulonok I.O., Sokolskyi O.L.

RESEARCH OF THE TRIBOTECHNICAL PROPERTIES
OF THE GRANULAR POLYMERIC MATERIALS9

Melnychuk A.V.

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR IMPROVING
THE OPERATIONAL RELIABILITY OF EQUIPMENT14

Sira N.M., Kolohoida A.V., Lytvyn O.O., Kalchenko D.V.

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE TWO-SIDE
SILIFFING PROCESS OF THE BURNS OF DIFFERENT DYNAMIC PARTS.....19

ELECTRICAL ENGINEERING

Gavrilov S.A., Kimstach O.Yu., Novogretskyi S.N., Podymaka V.I., Prudnykov A.A.

THE TRANSFORMER TYPE REACTOR
WITH CHANGING MUTUAL INDUCTION COEFFICIENT BETWEEN WINDINGS.....27

EQUIPMENT

Batupin A.P., Tepeshchenko M.F.

INFLUENCE OF ULTRASOUND ON PEOPLE PERFORMANCE
OF BIOLOGICAL TISSUE AT PHYSIOTHERAPEUTIC PROCEDURES33

Dehtiaruk V.I., Budnyk M.M., Khodakovskiy M.I., Mudrenko M.I., Mieshkov V.V.

DEVELOPMENT OF PHOTOMETRIC DEVICES FOR PULSOMETRY.....39

Plaksa D.V., Tereshchenko M.F.

ASSESSMENT OF THE EFFECT OF HIGH-FREQUENCY RADIATION
ON BIOLOGICAL TISSUES.....44

Tsapenko V.V., Tereshchenko M.F.

METHOD OF INVESTIGATION OF BIOMECHANICAL PARAMETERS OF THE HUMAN FOOT...51

RADIO ENGINEERING AND TELECOMMUNICATIONS

Abakumova A.O., Slipukhina O.O., Odarchenko R.S., Yanovskiy F.I., Shutko V.M.

POLYNOMIAL SPLINE FOR SOLVING APPLIED PROBLEMS
IN TELECOMMUNICATIONS AND RADIO ENGINEERING.....60

Taranchuk A.A.

ELECTRIC MODEL OF A PIEZORESONANCE MECHANOTRON
WITH CAPACITIVE CONTROL.....65

INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING AND AUTOMATION

Biletskyi I.A., Budnyk M.M.

DEVELOPMENT OF ARCHITECTURE AND SOFTWARE REALIZATION
OF ELECTRONIC CABINETS OF THE DOCTOR-CARDIOLOGIST AND PATIENT.....71

Borysenko V.D., Ustenko S.A., Ustenko I.V. APPLICATION OF B-SPLINES FOR DETERMINATION OF DEPENDENCE OF ISOBARIC HEAT CAPACITY OF AIR ON TEMPERATURE AND PRESSURE.....	77
Borodkina I.L., Borodkin H.O. SOFTWARE FOR SAFE WORK WITH EXCEL DOCUMENTS.....	82
Bratskyi V.O. LOG FILES PROCESSING AND ANALYSIS BY LOGHELPER SOFTWARE PRODUCT.....	87
Veretennikova N.V., Rzhеuskyi A.V., Kunanets N.E., Laba R.Yu. FORMING VIRTUAL TOURS IN THE BUILDINGS OF LVIV POLYTECHNIC NATIONAL UNIVERSITY.....	93
Haitan O.M., Horoshko A.I. COMPARATIVE ANALYSIS OF SYSTEMS FOR TEXTS ORIGINALITY AUTOMATED CHECKING.....	98
Dotsenko N.V. COMBINATORIAL-LOGICAL APPROACH TO CONSTRUCTION OF FORMAL MODELS FOR FORMATION AND FUNCTIONING OF PROJECT TEAMS.....	105
Drobakha D.A., Kornaha Ya.I. 3D-MODEL OF THE CAR ON THE TRACK USING A NEURAL NETWORK.....	110
Dubchak L.O., Boikiv N.I., Vasylykiv N.M. QUEUEING SYSTEM OF THE BOOKSTORE.....	115
Zhukovskiy V.V., Skrypchuk P.M., Zhukovska N.A. DESIGN AND DEVELOPMENT OF THE GEOINFORMATION AND ANALYTICAL SYSTEM OF ORGANIC PRODUCTION.....	121
Kysil T.M., Bedratiuk H.I. USING THE MATLAB INTERACTIVE SOURCE FOR SOLVING OPTIMIZATION PROBLEMS.....	126
Kovalenko O.V. ANALYSIS AND RESEARCH OF INFORMATION TECHNOLOGIES FOR SOFTWARE DEVELOPMENT.....	131
Komarov M.Iu., Onyskova A.V., Honchar S.F. ANALYSIS AND RESEARCH OF THE MODEL OF INFORMATION SECURITY VIOLATOR FOR A SECURED INTERNET ACCESS NODE.....	138
Komleva N.O., Komleva O.O., Komleva H.O. FEATURES OF WEB-APPLICATION ENGINEERING FOR AUTOMATED MEDICAL DIAGNOSTICS.....	143
Krasnykov S.O. ALGORITHM FOR ADJUSTING THE PARAMETERS OF THE SIMULATED ANNEALING ALGORITHM FOR SOLVING THE TRAVELING SALESMAN PROBLEM.....	150
Lazebnyi V.S., In Chenlian, Omelianets O.O. INVESTIGATION OF REAL THROUGHPUT OF THE IEEE 802.11N WIRELESS INFORMATION NETWORK.....	155
Lozhechnikova N.V., Zhelenko V.O. THE ANALYSIS OF FORCED-AIR AND EXHAUST INSTALLATIONS WITH HEAT RECUPERATING.....	161

МАШИНОЗНАВСТВО

УДК 621.865.8(031)

Поліщук М.М.

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

ПРИНЦИПИ СИНТЕЗУ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ

У роботі запропоновано три основних принципи синтезу мобільних роботів: нагромадження і перетворення енергії, інтеграції приводів руху й застосування генератора реактивної пневматичної тяги. Ці технічні розв'язки дають змогу роботам переміщатися по поверхнях довільної орієнтації в різних системах координат. Реалізація зазначених принципів сприяє зменшенню сумарної потужності приводів і підвищенню надійності втримання роботів на поверхні довільної орієнтації в технологічному просторі. Викладено результати математичного моделювання конструктивних і технологічних параметрів мобільних роботів.

Ключові слова: мобільні роботи, крокуючі механізми, роботи вертикального переміщення, альпіністські роботи.

Постановка проблеми. У ХХ ст. науково-технічною думкою створені досить надійні засоби подолання гравітаційної сили у вигляді встаткування літального і реактивного характеру, що використовуються як транспорт, однак дотепер відсутні промислові зразки встаткування для виконання контактних технологічних операцій при одночасному подоланні сил гравітації.

Мобільні роботи довільної орієнтації в просторі, відомі також як роботи вертикального переміщення, а в міжнародних виданнях – під терміном Climber Robot (альпіністський робот), є новою модифікацією мобільних роботів, оснащених засобами втримання робота на поверхні довільної орієнтації стосовно обрїю технологічного простору. Створення цього виду робототехніки перебуває на початковій стадії і продиктоване необхідністю виконання технологічних операцій у таких областях, як моніторинг промислових об'єктів, монтаж і демонтаж будівельних конструкцій, ремонт і профілактичне обслуговування їх компонентів. Особливу актуальність експлуатація зазначених роботів здобуває в екстремальних умовах техногенних катастроф, небезпечних і навіть неприйнятних для перебування людини.

Наявність експериментальних зразків роботів зазначеного типу [1, с. 33–42; 2, с. 67–78] не усуває проблему відсутності методології синтезу підсистем роботів, що компенсують або долають гравітаційне навантаження для гарантованого втримання робота на довільно орієнтованій поверхні переміщення при виконанні технологічних операцій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження зі створення роботів довільної орієнтації в просторі почалися порівняно недавно – в останньому десятилітті ХХ ст. у країнах Західної Європи, Японії, США, Кореї, Китаю й Росії. На жаль, приклади вітчизняних розробок, так само як і публікацій (крім авторських), до теперішнього часу в цій області відсутні.

Мобільні роботи [3, с. 5] оснащені підсистемами втримання робота на поверхнях переміщення у вигляді вакуумних пристроїв, які хоч і інваріантні до фізико-механічних властивостей поверхні переміщення, у разі підтоку повітря не гарантують надійного втримання робота. Тут можна рекомендувати комбіновану пневмомеханічну систему зчеплення [4, с. 60], що має властивість додаткової страховки утримання робота. Швидкодія й простота конструкції притаманні електромагнітним пристроям зчеплення [5, с. 2; 7, с. 10], але подолання сили гравітації шляхом прилипання магнітів обмежує застосування цього засобу тільки феромагнітними поверхнями переміщення. Роботи з механічним зчепленням [7, с. 9] вирізняються підвищеною надійністю, але їх приводи вимагають застосування редукції, що збільшує вагу робота, а значить, і його гравітаційне навантаження, для компенсації якого доцільне використання систем нагромадження і перетворення енергії руху [8, с. 117].

Розвитком систем зчеплення робота з поверхнею переміщення є технічні рішення [9, с. 6], в яких використовується технологія зчеплення за допомогою «сухої» адгезії, а також електричної адгезії [10, с. 7], що є найбільш ефективними з погляду енергозбереження, але й одночасно досить дорогими технологіями. Експериментальна реалізація зазначеного зчеплення з поверхнею переміщення

характеризується низькою швидкістю переміщення робота внаслідок повільності ефекту адгезії, що поки перешкоджає їхньому промислому використанню.

Проблема синтезу мобільних роботів саме довільної орієнтації не вичерпується створенням систем зчеплення, але також включає задачу вибору трансмісії їх приводів, що безпосередньо впливають на енергетичну ефективність і гравітаційне навантаження роботів. Технічні розв'язки [11, с. 3] дають змогу здійснювати перехід робота по поверхнях, які орієнтовані під різним кутом до обрїю, але тільки в 2D-просторі, тобто в площині. На відміну від зазначених технічних рішень, модель робота [12, с. 37–46] дає змогу обслуговувати об'єкти в циліндричній системі координат, зокрема, такі об'єкти, як дерева, але за наявності м'якої пористої поверхні переміщення робота. У той час, коли існують об'єкти технічного обслуговування, які також наближені до циліндричної системи координат, наприклад, стовпи електромереж, колони, труби теплоелектростанцій тощо. Крім того, мобільний робот має працювати й в ангулярній системі координат, властивій людині. Таким чином, проблема синтезу мобільних роботів, здатних виконувати технологічні операції в просторі довільної орієнтації, є актуальною.

Постановка завдання. Метою цих досліджень є розробка принципів синтезу мобільних роботів, що дають змогу суттєво зменшити сумарну потужність приводів при одночасному зниженні гравітаційного навантаження, що, зрештою, підвищить надійність утримання робота на поверхні переміщення незалежно фізико-механічних властивостей поверхні переміщення і систем координат технологічного простору.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Принципи побудови мобільних роботів. Запропоновані нижче перспективні напрями вдосконалення мобільних роботів довільної орієнтації можуть бути реалізовані за допомогою трьох основоположних принципів синтезу їх конструкцій:

1) нагромадження потенційної енергії на кожній попередній ділянці (або кроці) переміщення й перетворення її на кінетичну енергію руху на наступній ділянці (кроці) руху;

2) інтеграції приводів поздовжнього та вертикального переміщення, а також приводів зміни орієнтації робота згідно із заданим маршрутом;

3) застосування *генераторів тяги* (аеродинамічної піднімальної сили) як засобу протидії гравітаційній силі з метою збільшення технологічного навантаження при одночасному зменшенні потужності приводів переміщення і зчеплення робота з поверхнею переміщення.

Зазначені напрями синтезу мобільних роботів у світовій теорії й практиці стосовно до роботів довільної орієнтації ще не розглядалися (крім авторських патентів) і тому не досліджені. З метою реалізації їх

сучасними засобами комп'ютерного моделювання для переходу до проектно-конструкторських розробок застосовані методи кінестатики на принципах Германа – Ейлера – Д'Аламбера, рівняння Лагранжа II роду для дослідження динаміки рухів робота й метод координатної оптимізації для знаходження екстремальних значень параметрів. Як інструментальне забезпечення побудови моделей застосовані програми математичного моделювання Matlab і Mathcad, а синтез конструкцій вузлів роботів здійснений у графічних середовищах проектування Компас 3D і AutoCAD.

Відповідно до вищевикладених принципів синтезу розглянемо їхні моделі й проектні реалізації роботів довільної орієнтації. На рис. 1 показаний мобільний робот [13, с. 3], що реалізує перший із вищезазначених принципів: має здатність нагромадження потенційної енергії на кожному попередньому кроці й перетворення її на кінетичну енергію руху на кожному наступному кроці переміщення.

На корпусі 1 робота встановлені поворотні пневматичні приводи 2, з'єднані через зубчасту трансмісію 3 і 4 з педипуляторами – крокуючими механізмами, виконаними у вигляді телескопічних циліндрів 5 і 6, і з'єднаними шарнірними паралелограмами 7 із захватами 8 для зчеплення з поверхнею переміщення робота.

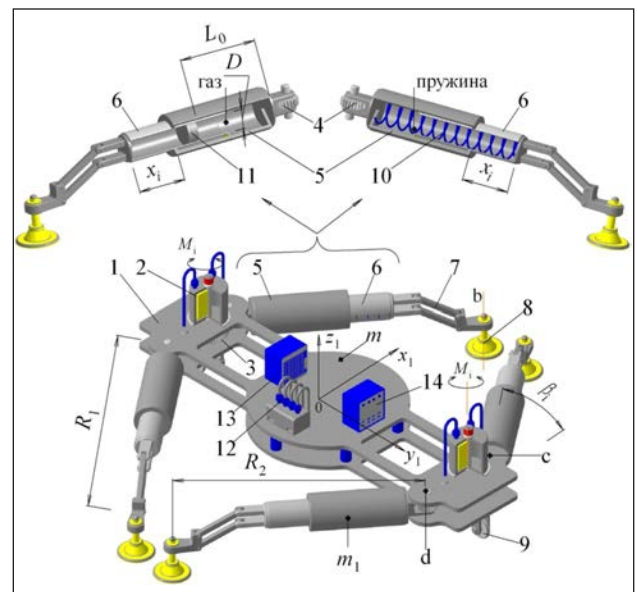


Рис. 1. Модель робота довільної орієнтації з модулями нагромадження і перетворення енергії

Для подолання перешкод на поверхні переміщення робот додатково оснащений опорами кочення 9. На рис. 1 показано два варіанти виконання педипуляторів: із модулем нагромадження енергії у вигляді пружин 10 і, інший варіант, із газовим накопичувачем енергії, утвореним циліндром 5 і поршнем 11. Також робот оснащений

пневматичними розподільниками 12, модулем енергопостачання 13 і блоком керування 14. При зчепленні захватів 8 із поверхнею переміщення приводи 2 повертають педіпулятори робота навколо осей «b», стискаючи пружні елементи: або пружини 10, або газ у камері 5 залежно від варіанта виконання. Внаслідок такого стиснення на ділянці повороту педіпуляторів на кут $0 \leq \beta \leq 45^\circ$ відбувається нагромадження потенційної енергії за період першої половини кроку, а на другій половині кроку $45^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$ зазначені елементи, розтискаючись, перетворюють потенційну енергію стиску на кінетичну енергію руху робота. Обсяги кінетичної енергії руху робота на різних етапах переміщення можна визначити, використовуючи рівняння Лагранжа II-го роду. Оскільки цей метод є класичним, для стислості викладання обмежимося результатами моделювання. Вираження кінетичної енергії T_k корпуса робота буде мати вигляд

$$T_k = \frac{mV^2}{2} = \frac{mR_2^2}{4 \cos^4(45^\circ - \beta_1)} (\dot{\beta}_1)^2, \quad (1)$$

де m – маса корпуса робота; V і $\dot{\beta}_1$ – відповідно, лінійна і кутова швидкості педіпуляторів робота. Кінетичну енергію T_l вільної від зчеплення з поверхнею ноги робота при відключенні захватів 8 визначимо як

$$T_l = \frac{1}{2} j (V_{x1}^2 + V_{y1}^2) dm, \quad (2)$$

Підставивши у формулу (2) вираження проєкцій швидкості та її значення $v = \frac{ds}{dt} = \frac{R_2 \cos 45^\circ}{\cos^2(45^\circ - \beta_1)} \dot{\beta}_1$, а також $dm = m_1 dy / R_2$, після інтегрування, одержуємо остаточну формулу для знаходження кінетичної енергії вільної від зчеплення з поверхнею переміщення ноги робота:

$$T_l = \frac{m_1 R_2^2}{2} \left(\frac{(\dot{\beta}_1)^2}{2 \cos^4(45^\circ - \beta_1)} + \frac{\dot{\beta}_1 \dot{\beta}_2 \sqrt{2} \cos(45^\circ - \beta_2)}{2 \cos^2(45^\circ - \beta_1)} + \frac{1}{3} (\dot{\beta}_2)^2 \right), \quad (3)$$

де m_1 – маса педіпулятора (ноги) робота, а R_2 – радіус його повороту.

Вираження кінетичної енергії опорної ноги, зчепленої з поверхнею переміщення, можна одержати з вираження (2) після його інтегрування, підставивши швидкість поступального руху робота $V=0$ і куту швидкості педіпуляторів $\beta_2 = \dot{\beta}_1$:

$$T_2 = \frac{m_1 R_2^2}{6} (\dot{\beta}_1)^2, \quad (4)$$

Тоді повна кінетична енергія T кожного педіпулятора на двох половинах циклу переміщення робота, тобто на стадії нагромадження потенційної енергії при стисненні пружних елементів 4 і перетворення її на кінетичну енергію руху, становитиме:

$$T = T_k + 2T_l + 2T_2 = \frac{R_2^2}{2} \left(\frac{(2m + m)(\dot{\beta}_1)^2}{2 \cos^4(45^\circ - \beta_1)} + \frac{m_1 \dot{\beta}_1 \dot{\beta}_2 \sqrt{2} \cos(45^\circ - \beta_2)}{\cos^2(45^\circ - \beta_1)} + \frac{2m_1}{3} ((\dot{\beta}_2)^2 + (\dot{\beta}_1)^2) \right), \quad (8)$$

Таким чином, переміщення робота на кожній другій половині циклу відбувається завдяки енергії, накопиченій на кожній першій половині кроку переміщення. Це дає змогу суттєво знизити енергетичні витрати на рух робота і направити отриманий у такий спосіб резерв енергії на виконання технологічних операцій.

Якщо для нагромадження потенційної енергії використовується пружина 10 (рис. 1), то сила пружного елемента педіпулятора становитиме

$$J = P_{min} + jR_2 \left(1 - \frac{\cos 45^\circ}{\cos(45^\circ - \beta_1)} \right); \quad 0 \leq \beta_1 \leq 90^\circ, \quad (9)$$

де P_{min} – попереднє стиснення і j – жорсткість пружного елемента для нагромадження потенційної енергії, що визначається модулем Юнга матеріалу (пружної сталі) для виготовлення вказаного елемента.

У разі нагромадження потенційної енергії за допомогою стиснення газу в циліндрі 5 (рис. 1), сила J пружного елемента (газу) становитиме:

$$J = p \frac{\pi D^2}{4} - p_a \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi D^2}{4} \left(p_0 \frac{L_0}{L_0 - x} - p_a \right); \quad 0 \leq \beta_1 \leq 90^\circ, \quad (10)$$

$$x = R_2 \left(1 - \frac{\cos 45^\circ}{\cos(45^\circ - \beta_1)} \right); \quad L_0 = \frac{p_{max} x_{max}}{p_{max} - p_0}$$

де D – внутрішній діаметр газової камери; p_0 , p_a , p_{max} – відповідно, поточний, атмосферний і максимальний тиск у камері; L_0 – робоча довжина камери; x , x_{max} – відповідно, поточне й максимальне стиснення пружного елемента, в даному випадку стислого повітря.

Пружні елементи (пружина або газ), як зазначено вище, виконують функцію нагромадження потенційної енергії за період першої половини циклу переміщення, тобто на першій половині кроку, а головною їхньою характеристикою є жорсткість j – параметр, який визначає величину накопиченої потенційної енергії на першій половині кроку педіпулятора. Як показують результати моделювання, вплив жорсткості j на зміну швидкості переміщення (рис. 2а) більшою мірою проявляється на другому етапі руху робота, у частині її зниження. Однак цей недолік не настільки суттєвий порівняно з економією енергії, що досягається при русі робота з виключеним двигуном, а це для мобільних роботів, що використовують автономні джерела живлення з обмеженими ресурсами, має принципове значення.

На рис. 2 (б) показана залежність зміни роботи A від жорсткості пружного елемента j (N/m) і сил ваги робота на другому етапі $\beta_1 > 45^\circ$ переміщення, тобто під час перетворення потенційної енергії на кінетичну енергію руху робота. Оскільки на другому етапі переміщення $45^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$ привод педіпулятора відключений із метою

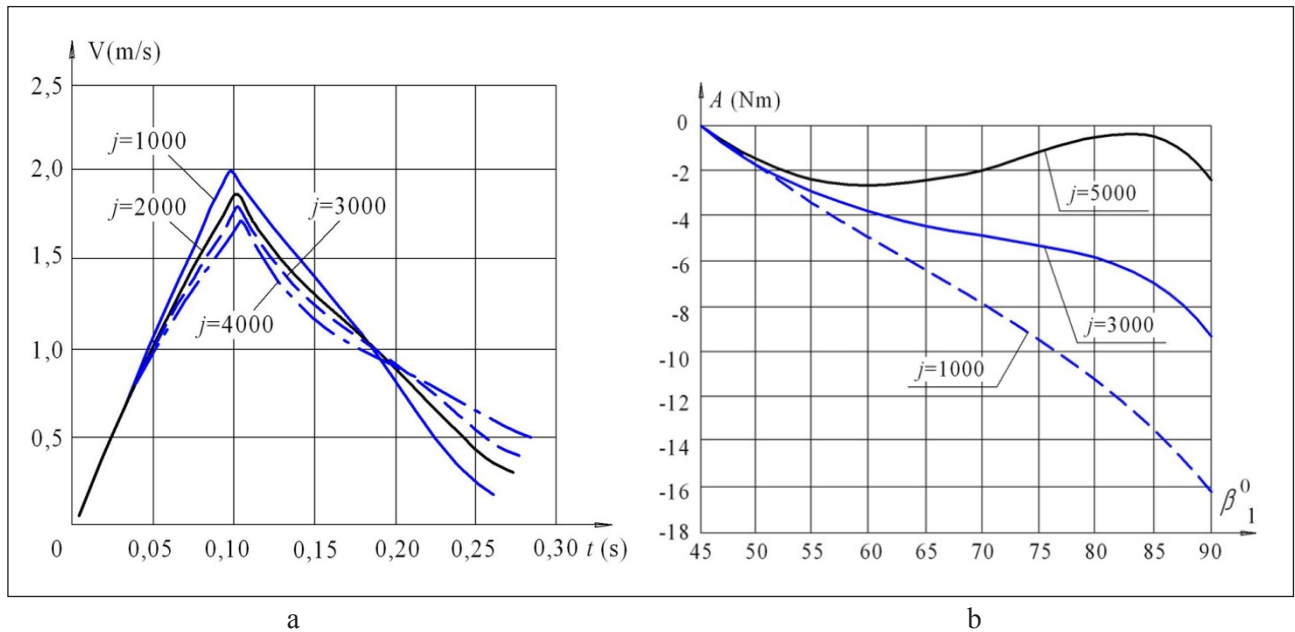


Рис. 2. Вплив жорсткості j (N/m) пружного елемента на зміну швидкості (а) і виконувану їм роботу (б) на другому етапі $\beta_1 > 45^\circ$ переміщення робота

енергозбереження ресурсів робота і він рухається тільки завдяки кінетичній енергії, очевидно, що значення жорсткості пружного елемента привода має домінуючий вплив на динаміку переміщення.

Аналіз цих графіків показує, що для збільшення кінетичної енергії руху робота доцільне підвищення жорсткості пружини або початкового тиску в газовій камері, незважаючи на те, що при цьому зростає протидія привода на першій половині кроку, тобто зменшується коефіцієнт корисної дії привода. Однак цей негативний прояв можна компенсувати збільшенням передатного відношення трансмісії (див. поз. 3 і 4, рис. 1) педіпуляторів робота. У разі використання стислого газу як пружного елемента припускаємо, що процес відбувається при постійній температурі, а тому за законом Бойля – Маріотта має місце рівність $p_0 V_0 = p V$, де p_0 – тиск у камері при максимальному її об’ємі V_0 ; p – тиск у камері при довільному об’ємі V з урахування збільшення щільності стислого газу.

Обидва розглянутих варіанти синтезу педіпуляторів мобільного робота мають об’єктивні переваги й недоліки. Так, використання пружинного накопичувача енергії сприяє підвищенню вантажопідйомності робота, але внаслідок природнього нагромадження залишкових напружень пружин знижується ресурс роботи педіпуляторів. І, навпаки, застосування газового накопичувача не менш ніж на порядок збільшує ресурс роботи, але це рішення прийнятне для роботів незначної вантажопідйомності.

Інтеграцію приводів переміщення для їхнього зменшення, а значить, і маси робота з метою зни-

ження гравітаційного навантаження, передбачає зазначений вище **другий принцип** синтезу. Відомо, що в Декартовій системі координат ми маємо шість ступенів свободи – три поступальних й три обертальних, кожному з яких згідно із класичними розв’язками відповідає автономний привод. Пропонована на рис. 3 технічна реалізація цього принципу виключає необхідність у приводах по кожній із координатних осей [14, с. 6; 15, с. 5]. Для цього робот оснащений *гнучкими* крокуючими механізмами 2, установленими на корпусі 1. Кожна пара педіпуляторів через зубчаті трансмісії 3 постачена електроприводами 4. Захвати 5 утримують робота на поверхні переміщення, а приводи повороту 6 погоджують положення захватів щодо поверхні переміщення. На платформі робота розміщений модуль 7 енергетичного забезпечення, генератор 8 тиску газу або рідини, а також контролер керування 9.

Педіпулятори робота виконані у вигляді набору напівсферичних кілець 10 (рис. 4), зібраних у пакет пружним елементом 11, а усередині пакета кілець розміщені *гофровані* трубопроводи 12 під різним тиском p_1 і p_2 , створюваним через канали 13 і 14. Завдяки такій схемі педіпуляторів робот має здатність працювати в різних системах координат: прямокутної Декартової, сферичної й циліндричної без додаткових приводів по кожній координатній осі. У кожній нозі робота у вертикальній і горизонтальній площинах розміщено по два гофровані трубопроводи з відповідними тисками p_1, p_2 і p_3, p_4 . Внаслідок дії цих тисків на торці кожного трубопроводу виникають сили F_i :

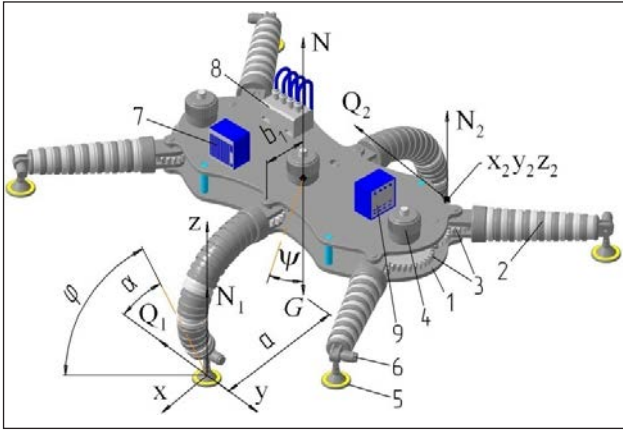


Рис. 3. Модель робота із гнучкими підпюляторами

$$F_1 = p_1 \frac{\pi d^2}{4}; \quad F_2 = p_2 \frac{\pi d^2}{4}; \quad F_3 = p_3 \frac{\pi d^2}{4}; \quad F_4 = p_4 \frac{\pi d^2}{4}, \quad (11)$$

де d – внутрішній діаметр торця гофрованих трубопроводів. Оскільки осі трубопроводів зміщені щодо осі підпюлятора на ексцентриситет e , виникають моменти, які, згинаючи ногу робота по радіусу R (див. рис. 4), переводять її з положення «А» у положення «В», здійснюючи орієнтацію робота в просторі:

$$M_1 = \frac{\pi d^2}{4} (p_1 - p_2) e; \quad M_2 = \frac{\pi d^2}{4} (p_3 - p_4) e, \quad (12)$$

де e – ексцентриситет зміщення осей гофрованих трубопроводів в одній із площин систем координат.

Для проектування робота необхідно встановити взаємозв'язок між припустимим технологічним навантаженням і сил зчеплення його ніг із поверхнею переміщення. Із цією метою розглянемо критичний випадок, коли робот опирається тільки на дві ноги, як це показано на рис. 3. Склавши систему рівнянь рівноваги на основі принципу Германа – Ейлера – Д'Аламбера, запис яких для стислості викладення тут опускаємо, знаходимо відповідні сили реакцій N_i і сили тертя Q_i зчеплення ніг робота з поверхнею переміщення, а саме (див. рис 3):

$$N_2 = Q_2 + a_3 G - b_3 N; \quad Q_{2y} = d_3 G + h_3 N, \quad (13)$$

де для компактності запису позначено:

$$a_3 = \frac{d_1 b_2 - b_1 d_2}{\Delta}; \quad b_3 = \frac{b_2 h_1 + b_1 h_2}{\Delta};$$

$$d_1 = y_c \cos \alpha - z_c \sin \alpha; \quad b_2 = x_2 \cos(\varphi - \alpha);$$

$$d_3 = \frac{d_2 a_1 - d_1 a_2}{\Delta}; \quad h_3 = \frac{h_2 a_1 + a_2 h_1}{\Delta}$$

$$a_1 = y_2 \cos(\varphi - \alpha) + z_2 \sin(\varphi - \alpha);$$

$$a_2 = -x_2 \sin(\varphi - \alpha); \quad d_2 = x_c \sin \alpha;$$

$$h_1 = y_c \cos \psi + z_c \sin \psi;$$

$$b_1 = y_2 \sin(\varphi - \alpha) - z_2 \cos(\varphi - \alpha); \quad h_2 = x_c \sin \psi;$$

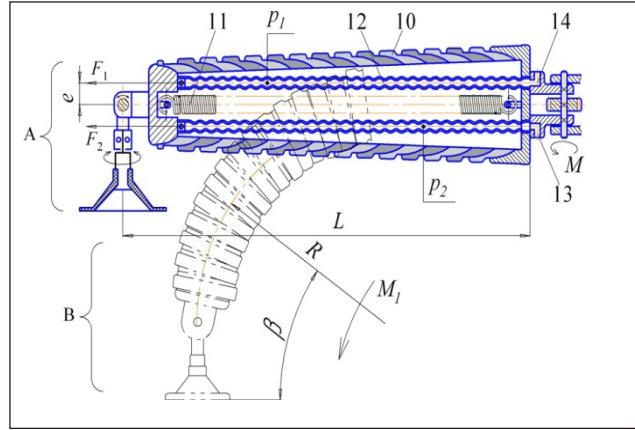


Рис. 4. Конструкція підпюлятора робота

$\Delta = a_1 b_2 - b_1 a_2$; x_2, y_2, z_2 – координати точки контакту другої ноги робота з поверхнею переміщення; x_c, y_c, z_c – координати центру ваги робота; α, φ – кути нахилу до обрису поверхонь, на які опираються ноги робота; ψ – кут нахилу центральної осі робота, що проходить через його центр ваги G . Потім із тієї ж системи рівнянь рівноваги (яких достатньо, оскільки робот не рухається) знаходимо інші невідомі реакції й сили тертя:

$$N_1 = Q_1 + G a_4 - N h_4; \quad Q_{1y} = G h_5 + N h_6, \quad (14)$$

де також позначено:

$$a_4 = \cos \alpha - a_3 \cos(\varphi - \alpha) - d_3 \sin(\varphi - \alpha);$$

$$h_4 = \cos \psi - b_3 \cos(\varphi - \alpha) + h_3 \sin(\varphi - \alpha);$$

$$h_5 = \sin \alpha - d_3 \cos(\varphi - \alpha) + a_3 \sin(\varphi - \alpha);$$

$$h_6 = \sin \psi - h_3 \cos(\varphi - \alpha) - b_3 \sin(\varphi - \alpha)$$

Для стійкості робота при технологічному навантаженні сили тертя кожної його ноги не мають перевищувати граничних значень:

$$Q_{1y} < \mu N_1; \quad Q_{2y} < \mu N_2; \quad N_1 > 0; \quad N_2 > 0, \quad (15)$$

де μ – коефіцієнт тертя зчеплення ноги робота з поверхнею переміщення. Підставивши в умови (15) вираження вище знайдених реакцій сил, знаходимо обмеження технологічного навантаження робота з обліком сил, що діють на нього:

$$N_1 > 0 \Rightarrow N < \frac{Q_1 + G a_4}{h_4}; \quad N_2 > 0 \Rightarrow N < \frac{Q_2 + G a_3}{b_3};$$

$$N < \frac{\mu Q_2 + G(\mu a_3 - d_3)}{h_3 + \mu b_3}; \quad N < \frac{\mu Q_1 + G(\mu a_4 - h_5)}{h_6 + \mu h_4}, \quad (16)$$

Найбільше значення реакції N сили технологічної операції, що задовольняє всім нерівностям (16), визначає граничне технологічне навантаження робота, наприклад, зусилля свердління, різання, клепки, установки монтажних дюбелів і т.п. технологічних операцій.

У результаті моделювання отримані граничні значення технологічного навантаження при опорі робота на дві ноги (рис. 5, а): криві 1 і 2 визначають

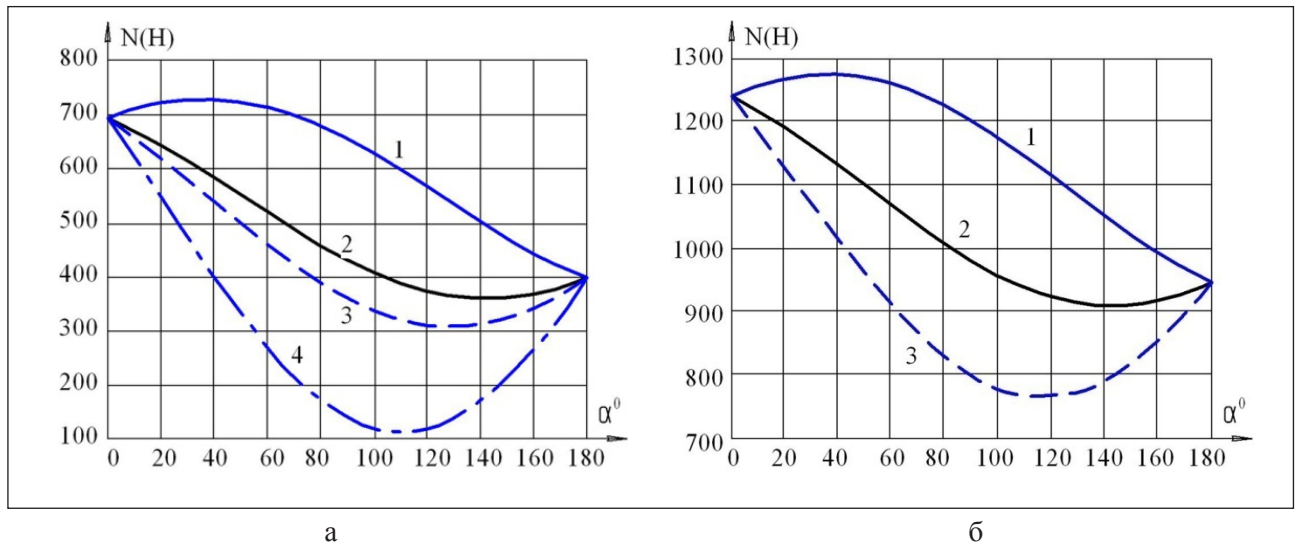


Рис. 5. Графіки граничних значень технологічного зусилля N робота залежно від кута α нахилу до обрїю: а – опора на дві ноги; б – опора на чотири ноги

стан відриву від поверхні переміщення відповідно першої і другої ніг робота, а криві 3 і 4 – відповідно, початок проковзування зазначених ніг робота. При опорі робота на чотири ноги (рис. 5б), де крива 1 відповідає умові $N_1 > 0$, крива 2 – умові $N_2 > 0$, тобто ноги робота не відриваються від поверхні переміщення, а крива 3 відповідає умові відсутності проковзування ніг робота, очевидний непропорційний ріст корисного технологічного навантаження. Отримані залежності дають змогу проектувати пристрої зчеплення робота з поверхнею переміщення залежно від граничних значень технологічних навантажень.

Таким чином, реалізація другого принципу синтезу дає змогу досягти довільної орієнтації крокуючого мобільного робота в різних робочих просторах: прямокутної Декартової, сферичної й циліндричної систем координат. Цей ефект забезпечує розширення технологічних можливостей робота.

Третій принцип – застосування генераторів тяги як засобу протидії гравітаційній силі, реалізує робот [16, с. 8], показаний на рис. 6. Як і в попередньому випадку, він також містить на корпусі 1 гнучкі педіпулятори 2, оснащені захватами 3, трансмісією 4 і електроприводом 5. Однак принциповою відмінністю цього робота є установка в центрі його мас карданового підвісу 6 із трьома ступенями свободи й зміщеного від центру мас пневматичного генератора тяги 7. Такий принципово новий розв’язок – розміщення генератора тяги на кардановому підвісі дає змогу генератору тяги зберігати збіг ліній дії протилежних сил: піднімальної пневматичної й гравітаційної, незалежно від положення робота в просторі.

Цей принцип, будучи заснованим на узгодженні технологічного навантаження й зусиль зчеплення

робота з поверхнею переміщення, з одного боку, і сили реактивної пневматичної тяги, з іншого боку, дає змогу здійснити диференційований підхід до регулювання аеродинамічної піднімальної сили робота залежно від його орієнтації в просторі. Точніше, регулювати силу втримання робота на поверхні переміщення [див. 16, с. 8–9] залежно від кутів Ейлера робота щодо обрїю. Зазначене регулювання необхідне, щоб при критичних кутах нахилу робота пневматична реактивна тяга G_1 за своєю величиною не перевищувала силу зчеплення захватів робота з поверхнею переміщення. Інакше кажучи, щоб робот не перетворився на літальний апарат, а генератор тяги долав негативний вплив сили гравітації, одночасно не перевищуючи силу зчеплення захватів робота. Ця задача вирішується розрахунками критичного кута нахилу робота до обрїю, коли настає момент часу включення генератора пневматичної тяги.

Аналогічно попередньому випадку із системи рівнянь рівноваги робота визначаємо сили нормальних реакцій N_i , опор ногам робота й відповідні сили тертя Q_i (рис. 6):

$$N_2 = b_{12}(G - G_1), \quad (22)$$

де G – сила ваги робота; G_1 – пневматична сила тяги; α – кут нахилу площини переміщення робота до обрїю; $b_{12} = \cos \alpha y_c - \sin \alpha z_c / 2y_2$; y_c, z_c – координати центру ваги робота; y_2 – координата контакту з поверхнею другої ноги робота. Сила тертя Q_{1y} і нормальна реакція N_1 становитимуть:

$$\begin{aligned} Q_{1y} &= (G - G_1)(-\mu b_{12} + \frac{1}{2} \sin \alpha) \\ N_1 &= (G - G_1)(-b_{12} + \frac{1}{2} \cos \alpha) \end{aligned}, \quad (23)$$

Кут α нахилу робота до обрїю може змінитись у межах $0 \leq \alpha \leq 180^\circ$. Як видно із графіків рис. 7,

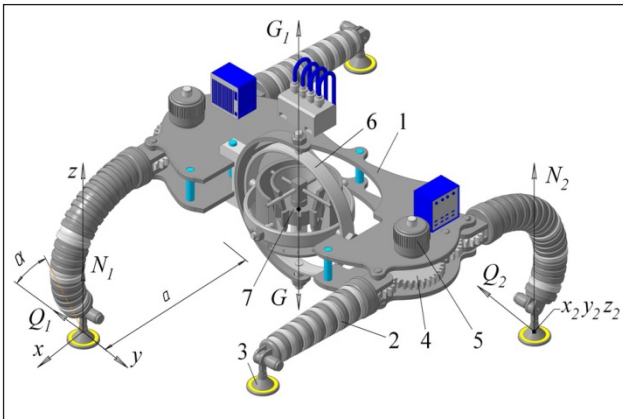


Рис.6. Мобільний робот із генератором реактивної тяги

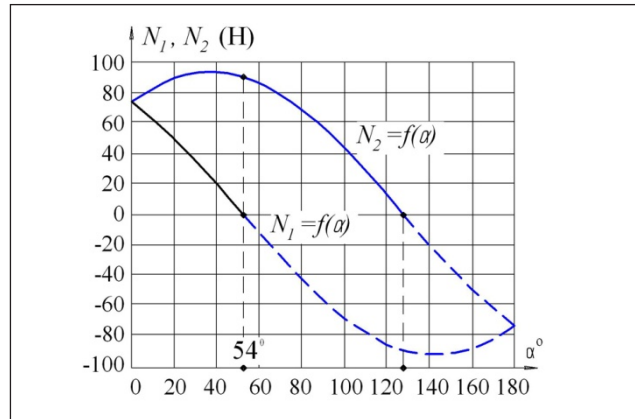


Рис. 7. Графіки залежності нормальних реакцій N_1 , N_2 опор робота від кута α його нахилу до обрїю

за певних характеристик робота (ваги, жорсткості педіпуляторів, потужності приводів і т.п.) обидві реакції N_1 і N_2 позитивні до значення кута нахилу поверхні переміщення $\alpha \leq 54^\circ$ (на графіках позначено точками). Інакше кажучи, при цих кутах нахилу робота до обрїю сила ваги сприяє збільшенню технологічного навантаження. Це означає, що включення генератора реактивної тяги необхідне при куті нахилу робота до обрїю $\alpha \geq 54^\circ$, незважаючи на те, що друга сила реакції N_2 , на відміну від першої N_1 , стає негативною тільки коли $\alpha > 128^\circ$. Тому для забезпечення надійності втримання робота, щоб не допустити відрив хоча б однієї з його ніг, необхідне включення генератора тяги вже при нахилі робота до обрїю $\alpha \geq 54^\circ$. Безумовно, критичний кут нахилу буде змінюватися при інших масово-центрувальних характеристиках робота.

Усі три розглянутих принципи синтезу роботів довільної орієнтації можуть бути застосовані автономно й у сукупності залежно від технологічного призначення мобільного робота і його рентабельності, що, своєю чергою, визначається галузю промислової експлуатації.

Висновки.

1. На етапі теоретичних досліджень, що передують експериментальній апробації, очевидно,

що застосування засобів нагромадження потенційної енергії приводів із подальшим її перетворенням на кінетичну енергію руху робота, а також інтеграція приводів поздовжнього й вертикального переміщення дають змогу суттєво зменшити їх сумарну потужність, що має принципове значення для мобільних роботів довільної орієнтації в просторі як шлях до зниження гравітаційного навантаження.

2. Реалізація способу протидії гравітаційному навантаженню за допомогою пневматичного генератора тяги дає змогу при регулюванні сили тяги залежно від кута нахилу робота до обрїю підвищити надійність утримання робота на поверхні довільної орієнтації, що, своєю чергою, дає змогу зменшити потужність приводів зчеплення робота з поверхнею переміщення при одночасному збільшенні корисного технологічного навантаження.

3. Пропонований підхід синтезу конструкцій роботів дає змогу шляхом зниження сумарної потужності приводів пропорційно зменшити вагу робота, а звільнений енергетичний ресурс – направити на підвищення ефективності виконання як транспортних, так і технологічних операцій, що виконуються мобільними роботами у різних областях промисловості.

Список літератури:

1. Raju D.D, Jaju S.B. Developments in wall climbing robots: a review. International journal of engineering research and general science. 2014. № 2. P. 33–42.
2. Черноусько Ф.Л., Болотник Н.Н., Градецкий В.Г. Мобильные роботы: проблемы управления и оптимизации движений. XII Всероссийское совещание по проблемам управления: труды ВСПУ 2014 (16–17 июня 2014). Москва. 2014. С. 67–78.
3. Manuel F. Silva and J.A. Tenreiro Machado. A Survey of Technologies and Applications for Climbing Robots Locomotion and Adhesion. Climbing and Walking Robots / Behnam Miripour. London, 2010. 508 p.
4. Поліщук М.М. Модернізація вакуумного захвату мобільного крокуючого робота. Mechanics and Advanced Technologies. 2017. № 2. С. 59–64.

5. Транспортное устройство для движения по вертикальным металлическим поверхностям: пат. 101683 Россия: МКИ В62D 57/04. № 2010140051; заяв. 29.09.2010; опубл. 27.01.2011, Бюл. № 3. 4 с.
6. Climbing vehicle with suspension mechanism: pat. 9428231 US: Int.Cl. B62D 55/00. Appl. № 179464; filed. 12.02.2014; publ. 30.08.2016. 26 p.
7. Saunders A., Goldman D.I, Fullb R.J. and Buehler M. The RiSE Climbing Robot: Body and Leg Design. Boston Dynamics, Unmanned Systems Technology VIII. Proc. of SPIE Vol. 6230. 2005. 13 p.
8. Mikhail Polishchuk, Volodymyr Oliinyk. Mobile climbing robot with elastic energy accumulators. Mechanics and Advanced Technologies. 2018. № 1 (82). Pp. 116–122.
9. Carlo Menon, Michael Murphy, and Metin Sitti. Gecko Inspired Surface Climbing Robots. International Conference on Robotics and Biomimetics. (Shenyang, August 22–26, 2004). China, 2004. P. 6.
10. Yehya M, Hussain S, Wasim A, Jahanzaib M and Abdalla H. Cost Effective and Light Weight Unipolar Electro-adhesion Pad Technology for Adhesion Mechanism of Wall Climbing Robot. International Journal of Robotics and Mechatronics. 2014. Vol. 2, Issue 1. P. 1–10.
11. Транспортное средство для перемещения по наклонным и вертикальным поверхностям: пат. 2267434 Россия: МПК В62D57/032. № 2003131247; заявл. 23.10.2003; опубл. 10.01.2006, Бюл. № 1. 6 с.
12. Tin Lun Lam, Yangsheng Xu. Tree Climbing Robot: Design, Kinematics and Motion Planning. Springer Heidelberg, New York, 2012. 178 p.
13. Спосіб переміщення педипуляторів крокуючого робота і пристрій для його здійснення: пат. 111021 Україна: МПК В62D57/032. № а201411741; заявл. 30.10.2014; опубл. 10.03.2016, Бюл. № 5. 10 с.
14. Крокуючий мобільний робот: пат. 117065 Україна: МПК В62D 57/032. № а201701440; заявл. 16.02.2017; опубл. 11.06.2018, Бюл. 11. 8 с.
15. Polishchuk M., Opashnianskyi M., Suyazov N. Walking Mobile Robot of Arbitrary Orientation. International Journal of Engineering and Manufacturing (IJEM). 2018. Vol.8, No.3. P. 1–11.
16. Антигравітаційний мобільний робот Поліщука: заявка № а201805661 на видачу патенту України: МПК В62D 57/024; заявл. 22.05.2018. К.: Укрпатент, 2018. 16 с.

ПРИНЦИПЫ СИНТЕЗА МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ

В работе предложены три основополагающих принципа синтеза мобильных роботов: накопление и преобразования энергии, интеграции приводов движения и применение генератора реактивной пневматической тяги. Данные технические решения позволяют роботам перемещаться по поверхностям произвольной ориентации в различных системах координат. Реализация указанных принципов способствует уменьшению суммарной мощности приводов и повышению надежности удержания роботов на поверхности произвольной ориентации в технологическом пространстве. Изложены результаты математического моделирования конструктивных и технологических параметров мобильных роботов.

Ключевые слова: *мобильные роботы, шагающие механизмы, роботы вертикального перемещения, альпинистские роботы*

PRINCIPLES OF SYNTHESIS OF MOBILE ROBOTS

The paper proposes three basic principles for the synthesis of mobile robots: the accumulation and conversion of energy, the integration of motion drives and the use of a generator of reactive pneumatic traction. These technical solutions allow robots to navigate on surfaces of arbitrary orientation in different coordinate systems. The implementation of these principles contributes to reducing the total power of the drives and increasing the reliability of holding robots on the surface of arbitrary orientation in the technological space. The results of mathematical modelling of constructive and technological parameters of mobile robots are described.

Key words: *mobile robots, walking mechanisms, robots of vertical movement, climbing robots.*

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 531.46-036.5-026.772

Витвицький В.М.

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

Бардашевський С.В.

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

Мікульонок І.О.

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

Сокольський О.Л.

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

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИБОТЕХНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГРАНУЛЬОВАНИХ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ

Розглянуто наявні конструкції установок різних типів для дослідження триботехнічних властивостей гранульованих полімерних матеріалів. Описано дві вдосконалені конструкції установок, розроблені авторами. Удосконалені конструкції установок розширюють їх функціональні можливості. Описані результати досліджень на одній із установок. Дослідження проведені для декількох типів полімерних матеріалів.

Ключові слова: полімер, гранула, екструдер, тертя, температура, тиск.

Постановка проблеми. Дослідження процесу екструзії полімерних матеріалів є актуальним завданням, оскільки на виробі з полімерних матеріалів і композицій на їх основі є стабільний попит: значна частина полімерів піддається процесу екструзії принаймні один раз під час їх одержання в реакторі полімеризації до кінцевого виробу чи напівфабрикату. Точність проектування обладнання для перероблення полімерної сировини значною мірою залежить від точності врахування коефіцієнта зовнішнього тертя та коефіцієнта бокового тиску сипкого матеріалу [1–4]. Для визначення цих величин проводять натурні експерименти, під час яких використовують певні спрощені моделі руху матеріалу в черв'ячному каналі екструдера, однак у наявних дослідженнях коефіцієнт зовнішнього тертя зазвичай визначається для монолітних зразків, при цьому нехтується взаємодія між окремими частинками полімеру, а дослідження коефіцієнта бокового тиску проведені для обмеженого класу матеріалів, тому цих

відомостей недостатньо для отримання загальної картини їх поведінки під час перероблення.

Із вищезазначеного випливає необхідність проведення додаткових досліджень триботехнічних властивостей для різних типів гранульованих полімерних матеріалів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Під час аналізу наявних публікацій була виявлена відсутність єдиної методики для експериментального визначення зазначених коефіцієнтів зовнішнього тертя й бокового тиску, а також неможливість проведення на більшості установок досліджень саме для гранульованих полімерних матеріалів.

Б. Струтинський, А. Радіоненко, Є. Іщенко [5] пропонують визначати коефіцієнт тертя на установці, схема роботи якої зображена на рис. 1. Установка дозволяє контролювати момент тертя, сумарний лінійний знос зразка та контрзразка й температуру в зоні тертя. У корпусі установки 1 полімерний вкладиш 2 установлюється між зразком 3 та металевою стрічкою 4, якою контролюють зусилля притискання.

Недоліком цієї конструкції є неможливість використовувати для досліджень гранульований полімерний матеріал.

У методі [6] пропонується визначати коефіцієнт тертя полімеру за допомогою експериментальної установки (рис. 2), у якій полімерний диск 6 обертається разом зі столом за допомогою паса та шківів 8 від двигуна 9 і притискається контактним зразком 5 із заданим зусиллям, яке створюється важелем 2. Силу тертя вимірюють цифровим індикатором тензодатчика 7.

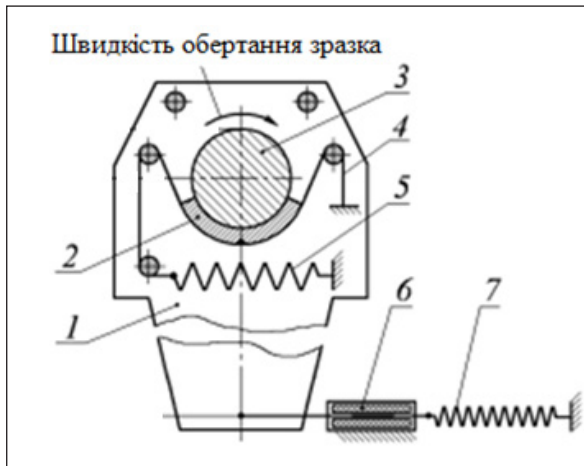


Рис. 1. Схема установки [5]: 1 – каретка трибометра; 2 – вкладиш; 3 – зразок; 4 – сталева стрічка; 5 – пружини натягу стрічки; 6 – датчик кута повороту каретки; 7 – поворотні пружини каретки трибометра

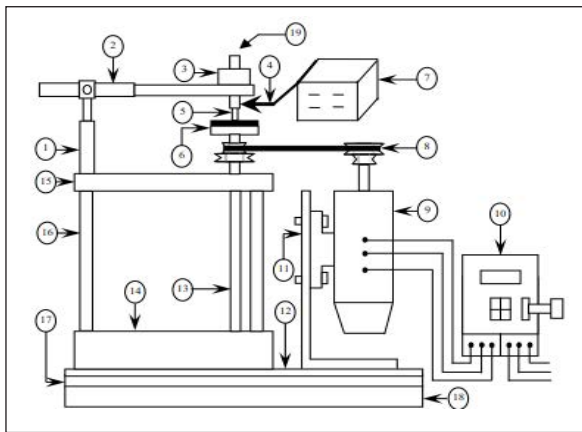


Рис. 2. Схема експериментальної установки [6]: 1 – тримач важеля; 2 – важіль; 3 – нормальне навантаження; 4 – горизонтальне навантаження (сила тертя); 5 – контактний зразок; 6 – тестовий зразок; 7 – індикатор тензодатчика; 8 – пас і шків; 9 – двигун; 10 – блок керування швидкістю; 11 – станина двигуна; 12 – гумова підкладка; 13 – головний вал; 14 – сталева опорна плита; 15 – сталева пластина; 16 – квадратний стрижень; 17 – основна опорна плита; 18 – гумовий блок; 19 – тримач

Коефіцієнт тертя визначається як відношення сили тертя ковзання до нормальної складової час-

тини сили, що притискає тіла одне до одного. Така конструкція дає можливість вимірювати коефіцієнт тертя залежно від часу, протягом якого відбувається тертя, а також залежно від нормальної складової частини сили, що притискає тіла одне до одного, проте не дає можливості знайти залежність коефіцієнта тертя від температури й не придатна для дослідження гранульованого полімерного матеріалу.

Автори [7] пропонують визначати коефіцієнт тертя за допомогою установки (рис. 3), установлюючи зразок 1 з одного матеріалу, виготовлений у вигляді паралелепіпеда, між зразками 2, виготовленими з іншого матеріалу, через пружний елемент 3, що оснащений тензометричним мостом.

Зразки 2 здійснюють одновісне стискування силою N до значення N_0 за допомогою гвинта 4, що жорстко закріплений в опорі 5 відносно зразка 2. Через пружний елемент 6 із тензометричним мостом діють на зразок 1 навантаженням F , яке перпендикулярне силі N і пропорційне деформації δ елемента 6. Реєструючий пристрій 7 приймає сигнали від тензометричних мостів елементів 3 і 6. При цьому результат реєстрації величин $F(t)$, $N(t)$ і $\delta(t)$, що змінюються в часі, відображається на моніторі комп'ютера в реальному часі у вигляді графіків.

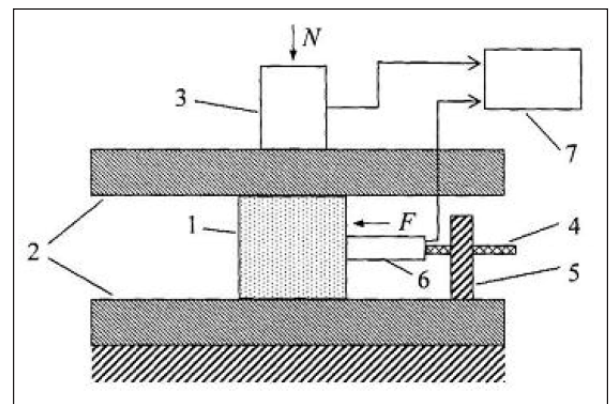


Рис. 3. Схема визначення динамічного коефіцієнта тертя [7]: 1 – зразок з одного матеріалу; 2 – зразки з іншого матеріалу; 3 – пружний елемент із тензорним мостом; 4 – гвинт; 5 – опора; 6 – пружний елемент; 7 – реєструючий пристрій

Зсувне навантаження $F(t)$ змінюють обертанням гвинта 4 до значення $F_c(t_c)$, при якому зразок 1 зсувається відносно зразків 2. Після цього коефіцієнт тертя встановлюють за такою залежністю:

$$k = \frac{F_i(t_i)}{2N_i(t_i)} \quad (1)$$

Недоліком методу є неможливість визначення залежності коефіцієнта тертя від температури, а також відсутність можливості використовувати зразки у вигляді гранул.

У методі [8] пропонується вимірювати коефіцієнт тертя за допомогою установки (рис. 4), принцип роботи якої полягає в такому. У тримач зразка 6 установлюється полімерний зразок 8, до якого за допомогою приводу навантаження 9 притискається контрзразок 4 зі сталі, який установлений на тримачі контрзразка 3. Тертя між зразками створюється крутним моментом, що забезпечується приводом ротора 1. Під час роботи установки за допомогою датчика температури 7, датчика навантаження 5 і датчика крутного моменту 2 знімаються параметри, необхідні для визначення коефіцієнту тертя, та обробляються на комп'ютері (PC).

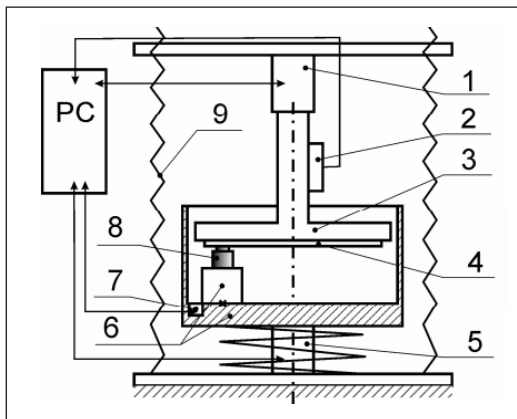


Рис. 4. Схема установки [8]: 1 – привод ротора; 2 – датчик крутного моменту; 3 – тримач контрзразка; 4 – контрзразок (диск); 5 – датчик навантаження; 6 – тримач зразка; 7 – датчик температури; 8 – зразок; 9 – привод навантаження

Недоліком такого методу є те, що він не дає змоги регулювати температуру під час проведення дослідів, а також не дає змоги використовувати гранульований матеріал.

Постановка завдання. Завданням роботи є проведення експериментальних досліджень триботехнічних властивостей для різних типів гранульованих полімерних матеріалів, а також розроблення конструкцій установок для проведення таких досліджень.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для виконання поставлених цілей нами було розроблено й захищено патентами України декілька конструкцій установок, що дозволяють проводити дослідження триботехнічних властивостей для гранульованих полімерних матеріалів.

Перший патент [9] отримано на установку для дослідження коефіцієнта тертя гранульованого матеріалу (рис. 5) і визначення його залежності від необхідних умов проведення досліджень (тиску, температури й кута нахилу поверхні).

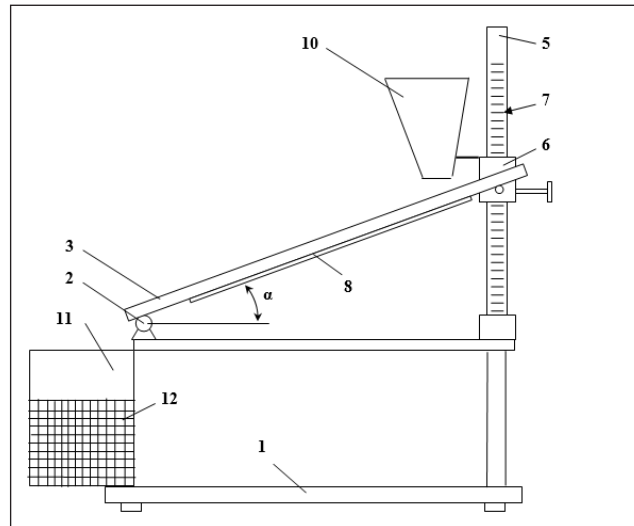


Рис. 5. Схема установки для визначення величини коефіцієнта зовнішнього тертя гранульованого матеріалу: 1 – опорна рама; 2 – шарнір; 3 – пластина; 5 – стояк; 6 – повзун; 7 – шкала; 8 – засіб термостабілізації; 10 – витратний бункер; 11 – приймальний бункер; 12 – координатна сітка

Установка складається з опорної рами 1, пластини 3, що закріплена в рамі з можливістю повертання у вертикальній площині завдяки шарніру 2, стояка 5 із повзуном 6, що слугують опорою для пластини 3, на якій розміщується досліджуваний зразок. Додатково встановлено шкалу 7 для визначення кута нахилу α й плоский нагрівник 8. Для отримання можливості виконувати досліди з гранульованими матеріалами в конструкції передбачено бункер подачі матеріалу 10 і приймальний бункер 11 із координатною сіткою 12.

За допомогою описаної установки нами було отримано залежність коефіцієнта тертя для чотирьох різних типів гранульованих полімерів від тиску та температури [10], проте така конструкція не дозволила змінювати навантаження на досліджуваний матеріал у широкому діапазоні, отримувати залежності коефіцієнта тертя від швидкості обертання поверхні, а також знімати показники бокового тиску.

Для усунення цих недоліків було запропоноване вдосконалення [11], що дозволяє досліджувати величини коефіцієнта зовнішнього тертя гранульованих матеріалів по різних поверхнях, і коефіцієнта бічного тиску, зокрема й залежно від температури, навантаження й швидкості обертання в широкому діапазоні значень. На рис. 6 зображено схему установки, що містить ротор 3 із нагрівниками 2, вертикальний корпус 4, що виконаний порожнистим і встановлений над ротором. У корпусі розміщено штовхач 5, що через регулятор вертикальної сили 6 отримує навантаження, а також датчики горизонтальних сил 11 і 13.

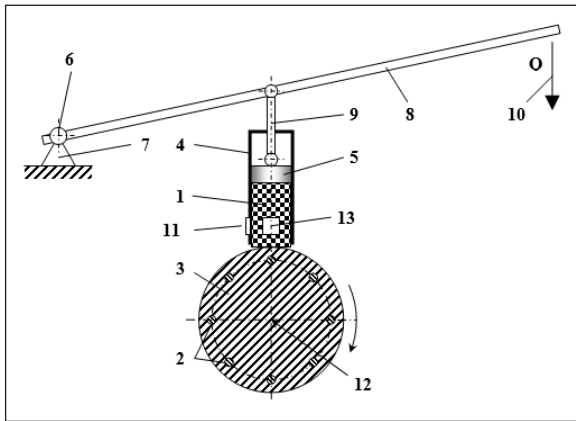


Рис. 6. Схема пристрою для визначення величини коефіцієнта зовнішнього тертя сипкого матеріалу:
 1 – установка; 2 – нагрівники; 3 – ротор;
 4 – корпус; 5 – штовхач; 6 – регулятор вертикальної сили; 7 – стовп; 8 – важіль; 9 – шток; 10 – протизвага; 11 – датчик горизонтальної сили; 12 – вісь ротора; 13 – датчик горизонтальної сили

Пристрій працює таким чином: гранули засипаються у вертикальний короб і притискаються штоком до ротора, якому надаються обертавання від електродвигуна. Датчик, що стоїть по ходу обертавання ротора, дозволяє отримати значення коефіцієнта тертя, датчик, що стоїть перпендикулярно першому, – значення коефіцієнта бічного тиску. Збільшуючи швидкість обертавання ротора, температуру нагрівників або навантаження на шток, можна отримати вищеписані залежності для шуканих коефіцієнтів.

Було проведено серію експериментів для гранул таких полімерів: а) поліетилен високої густини марки Marlex ННМ 5502ВН [12]; б) співполімер етилену з вінілацетатом (севілен) марки 11104 030 [13]; в) полістирол марки Denka Styrol MW-1-301 [14]; отримано залежність коефіцієнта тертя (рис. 7) та коефіцієнта бічного тиску (рис. 8) від швидкості обертавання ротора.

Бачимо, що отримані залежності дещо різняться для різних типів гранул: коефіцієнти тертя $K_{тер}$ і бічного тиску $K_{б.т.}$ для поліетилену не залежать від зміни швидкості обертавання ротора V ; для севілену $K_{тер}$ зростає під час збільшення V по степеневій залежності, а $K_{б.т.}$ – не змінюється; для полістиролу навпаки – $K_{тер}$ не змінюється, а $K_{б.т.}$ зменшується під час збільшення V по лінійній залежності.

Результати експериментів, а саме різний характер поведінки різних типів полімерних гранул, підтверджують доцільність створення такого типу установок і проведення подальших досліджень триботехнічних властивостей для широкого асортименту гранульованих полімерів у різних умовах.

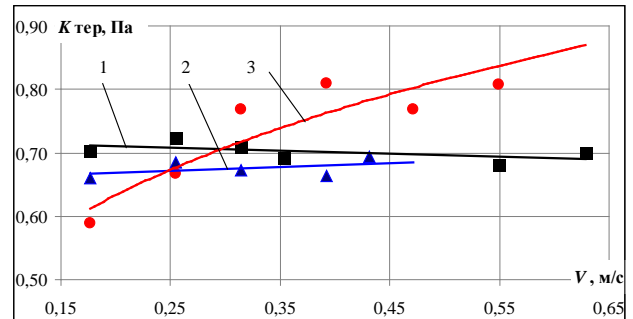


Рис. 7. Залежність коефіцієнта тертя $K_{тер}$ від швидкості обертавання ротора V для різних типів полімерних гранул: 1 – поліетилен; 2 – севілен; 3 – полістирол

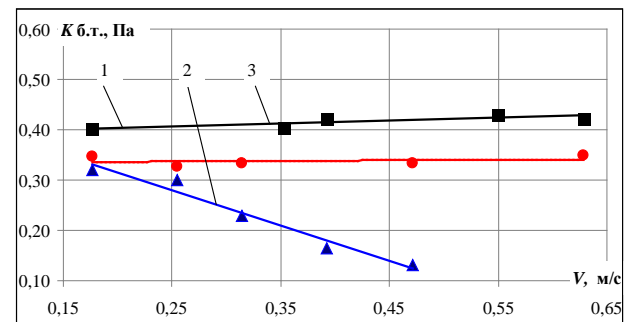


Рис. 8. Залежність коефіцієнта бічного тиску $K_{б.т.}$ від швидкості обертавання ротора V для різних типів полімерних гранул: 1 – поліетилен; 2 – севілен; 3 – полістирол

Висновки. Запропоновано дві конструкції установок для дослідження триботехнічних властивостей для різних типів гранульованих полімерних матеріалів, які було захищено патентами України на корисну модель. Отримано результати експериментальних досліджень для трьох типів полімерних гранул, які відрізняються за характером один від одного; така картина збігається з попередніми дослідженнями в цьому напрямі.

Надалі планується продовження досліджень із розширенням діапазону досліджуваних властивостей.

Список літератури:

1. Мікульонюк І. Обладнання і процеси переробки термопластичних матеріалів із використанням вторинної сировини. Київ: ІВЦ «Видавництво «Політехніка», 2009. 265 с.
2. Mikulionok I., Radchenko L. Screw Extrusion of Thermoplastics: I. General Model of the Screw Extrusion. Russian Journal of Applied Chemistry. 2012. Vol. 85, N 3. P. 489–504. DOI: 10.1134/S1070427211030305.

3. Mikulionok I., Radchenko L. Screw Extrusion of Thermoplastics: II. Simulation of Feeding Zone of the Single Screw Extruder. Russian Journal of Applied Chemistry. 2012. Vol. 85, № 3. P. 505–514. DOI: 10.1134/S1070427211030317.
4. Mikulionok I., Gavva O., Kryvoplias-Volodina L. Modeling of melting process in a single screw extruder for polymer processing. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Series «Applied physics». 2018. № 2/5 (92). С. 4–11. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.127583.
5. Струтинский Б., Радионенко А., Ищенко Е. Триботехнические исследования полимерных композитов, применяемых при восстановлении направляющих станков. Проблемы тертя та зношування. 2015. № 2. С. 4–8.
6. Chowdhury M., Nuruzzaman D., Roy B., Samad S., Sarker R., Rezwani A. Experimental Investigation of Friction Coefficient and Wear Rate of Composite Materials Sliding. Tribology in Industry. 2013. Vol. 35, №. 4. P. 286–295.
7. Пат. № 59650 У Україна, МПК G01L 1/00 (2011.01). Спосіб визначення динамічного коефіцієнта тертя / Ю. Костандов; заявник і патентовласник Таврійський національний університет ім. В.І. Вернадського. – № u201013094; заявл. 04.11.2010; опубл. 25.05.2011 р., бюл. № 10, 2011.
8. Zunda A., Padgurskas J., Jankauskas V., Levinskas R., Kreivaitis R. Wear Resistance of Industrial Polymers Under Lubrication with Oils. Scientific Journal of Riga Technical University. 2010. Vol. 21. P. 21–25.
9. Сокольський О., Мікульонок І., Швачко Д., Витвицький В. Пат. № 107473 У Україна, МПК G01N 19/02. Установа для визначення величини коефіцієнта зовнішнього тертя кускового або сипучого матеріалу; заявник і патентовласник Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». № u201511736; заявл. 27.11.2015; опубл. 10.06.2016 р., бюл. № 11, 2016.
10. Vytyvtskyi V., Mikulionok I., Sokolskyi O., Gavva O. Pressure and temperature influence on the friction coefficient of granular polymeric materials on the metal surfaces. Ukrainian Food Journal. 2017. Vol. 6 (3). P. 543–552. DOI: 10.24263/2304-974X-2017-6-3-14.
11. Мікульонок І., Сокольський О., Витвицький В., Швачко Д. Пат. № 124170 У Україна, МПК G01N 19/02. Пристрій для визначення величини коефіцієнта зовнішнього тертя сипкого матеріалу; заявник і патентовласник Нац. техн. ун-т України «Київ. політехн. ін-т ім. Ігоря Сікорського». № u201710073; заявл. 18.10.2017 р.; опубл. 26.03.2018 р., бюл. № 6, 2018.
12. Marlex ННМ 5502BN Polyethylene – Chevron Phillips Chemical. URL: <http://www.cpchem.com/bl/polyethylene/en-us/tdslibrary/Marlex%20ННМ%205502BN%20Polyethylene.pdf> (дата звернення 15.09.2018).
13. Kazan EVA 11104-030 Kazanorgsintez. URL: <https://plastics.ulprospector.com/datasheet/e375382/kazan-eva-11104-030> (дата звернення 15.09.2018).
14. Material safety data sheet polystyrene – Southland Polymers. URL: <http://www.southlandpolymers.com/pdf/polysty/Denka%20MSDS%20MW1.pdf> (дата звернення 15.09.2018).

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРАНУЛИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рассмотрены существующие конструкции установок для исследования триботехнических свойств различных типов гранулированных полимерных материалов. Описаны две усовершенствованные конструкции установок, разработанные авторами. Усовершенствованные конструкции установок расширяют их функциональные возможности. Описаны результаты исследований по одной из установок. Исследование проведено для нескольких типов полимерных материалов.

Ключевые слова: полимер, гранула, экструдер, трение, температура, давление.

RESEARCH OF THE TRIBOTECHNICAL PROPERTIES OF THE GRANULAR POLYMERIC MATERIALS

The existing designs of devices for researching the tribotechnical properties of various types of the friction granular polymeric materials are considered. The two improved designs of devices, which had developed by the authors are described. The improved designs of devices are expanding their functionality. The results of research from one of the devices are described. The research was carried out for several types of the polymer materials.

Key words: polymer, granule, extruder, friction, temperature, pressure.

Мельничук А.В.

Национальная металлургическая академия Украины

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ОСНАСТКИ

Показаны результаты исследований по повышению эксплуатационной надёжности посредством повышения износостойкости и срока службы восстановленной штамповой оснастки. В работе используются новейшие методы рационального анализа напряжений и методов восстановления оснастки, такие как метод конечных элементов и функционально-ориентированные технологии. Для восстановления изношенных поверхностей выбран наиболее экономичный из имеющихся методов – метод электроискрового легирования твердым сплавом с медью. На основании разработанных методик проведены промышленные испытания, подтверждающие работоспособность разработанной технологии.

Ключевые слова: штамповая оснастка, метод конечных элементов, функционально-ориентированные технологии, электроискровое легирование, ресурс, износостойкость.

Постановка проблемы. В условиях крупносерийного производства и широкой номенклатуры изделия «Хомут трубный» особенно важными факторами являются износостойкость и эксплуатационная надежность используемой штамповой оснастки. В общем объеме технической подготовки производства штампы занимают большое место и затраты на их изготовление весьма существенны [1], в изготовлении «Хомута трубного» штамповочные операции составляют более 80% трудоемкости производства всего изделия (рис. 1).

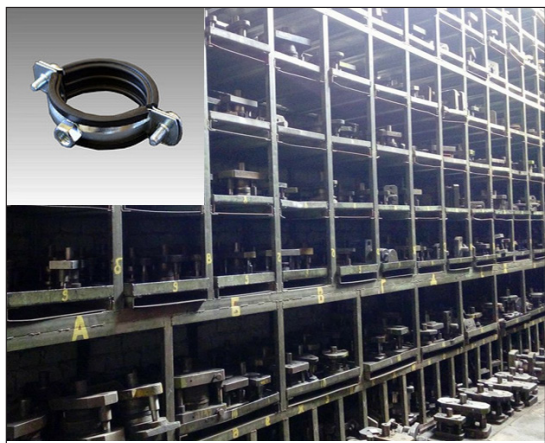


Рис. 1. Штамповая оснастка для различных конфигураций изделия «Хомут трубный»

На основе паспортных данных гибочных штампов, которые используются для изготовления изделий «Хомут трубный», были собраны данные зависимости ресурса оснастки от приложенной нагрузки, которые приведены на графике на рис. 2 (здесь реальная выработка штампов – это количество изготовленных деталей до проведения капитального ремонта или выхода штампа из строя).

Из графика следует, что реальная выработка зачастую не совпадает с планируемой, хотя и превосходит минимальную. Это значит, что ресурс штампов

используется нерационально, а эксплуатационная надежность находится на низком уровне.

В ходе изучения вышеуказанной проблемы было выявлено, что в рассматриваемых гибочных штампах наиболее подвержены износу и выходу из строя матрицы этих штампов. Как показывает опыт других исследователей, это типично для такого рода штампов, износ матрицы является самым большим и оказывает наиболее существенное влияние на точность изготавливаемых деталей, кроме того, пуансон легко ремонтируется способом перешлифовки под ремонтный размер [2].

За время работы штампов оснастка в общем и формообразующие детали в частности (матрицы и пуансоны) подвергались неоднократным ремонтными операциями. В случае с мелкогабаритными матрицами к изнашиваемым поверхностям применялась давно изученная, но устаревшая еще полвека назад методика сварки сварочными электродами типа СОРМАЙТ (ПРС-27) [3]. Кроме сварки, имело место шлифование рабочих поверхностей. Вышеприведенные ремонтные операции являются не только дорогостоящими, трудоёмкими, но и весьма время затратными по времени, в частности из-за перемещения ремонтируемой оснастки из РЕМПРИ штамповых цехов в инструментальные. Вследствие вышеизложенного на производстве встала острая необходимость разработки и внедрения более рационального метода продления срока службы штамповой оснастки, чтобы обеспечить заданные функциональные параметры надежности и ресурса гибочных штампов.

Постановка задания. Задание работы – разработать рациональный метод повышения эксплуатационной надежности штамповой оснастки на примере матрицы гибочного штампа посредством повышения её износостойкости и срока службы.

Изложение основного материала исследования.

Методика исследования по разработке рационального метода повышения эксплуатационной надежности штамповой оснастки

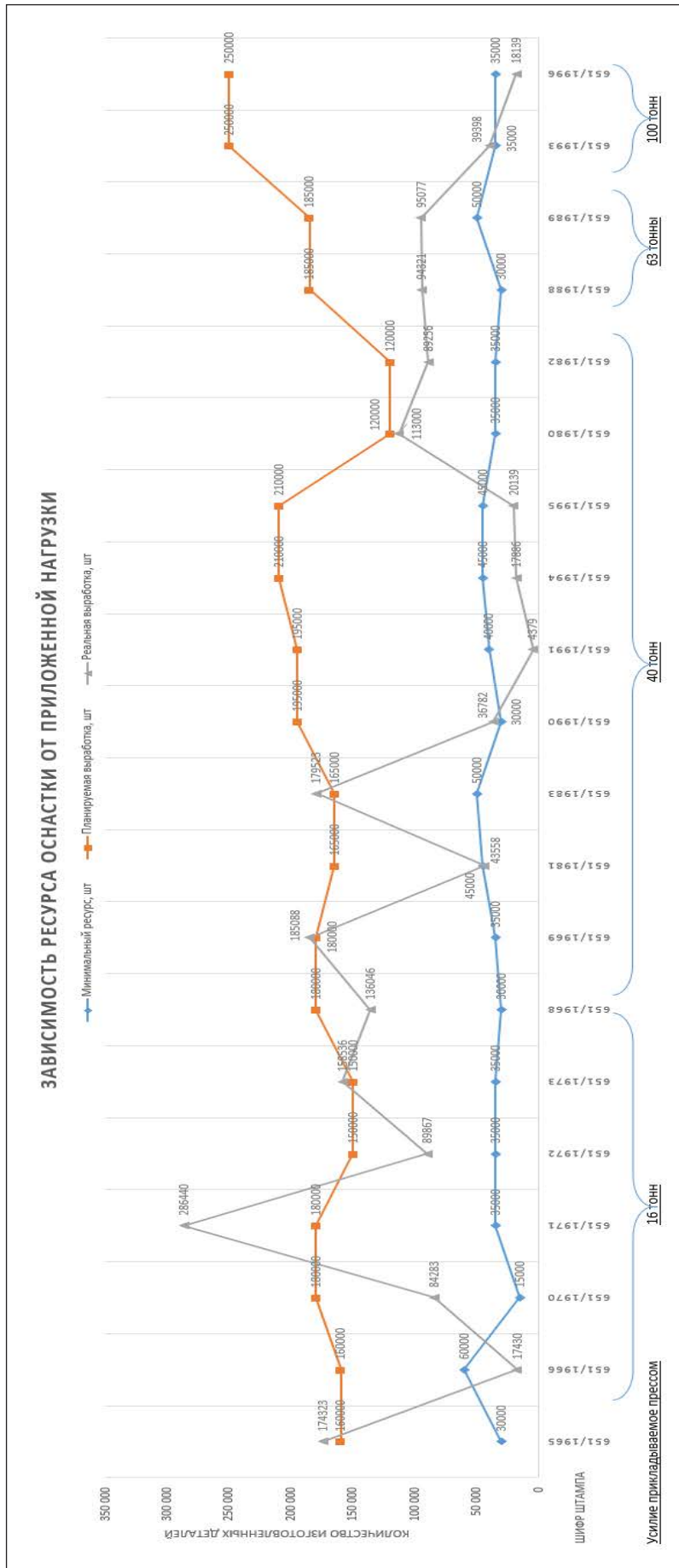


Рис. 2. Зависимость ресурса оснастки от приложенной нагрузки

В результате исследований данного вопроса на основе метода конечных элементов была создана математическая модель оценки зон критических внутренних напряжений в формообразующих деталях гибочных штампов, позволившая выявить участки критических напряжений для дальнейшего их упрочнения. Результаты, подтвержденные практическим опытом эксплуатации данной оснастки на производстве, свидетельствовали о достоверности проведенных исследований [4].

Для повышения эксплуатационной надежности был выбран метод электроискрового легирования, не требующий больших затрат по времени и финансам, а также позволяющий сформировать покрытие с необходимым комплексом механических и улучшенных коррозионных свойств при значительной экономии ценных материалов [5].

Процесс электроискрового легирования был изучен с позиций функционально ориентированных технологий, применяемых для эффективного обеспечения параметров надежности и ресурса гибочных штампов [6].

Суть метода заключается в обработке матриц, выработка на которых уже заметна, но не критична. Процент брака на таких штампах обычно превышает нормы, но зачастую они доводятся до полной выработки, вследствие чего производятся значительные ремонтные работы (сварка, шлифование), либо имеет место утилизация матрицы в лом при появлении неремонтопригодных дефектов (рис. 3).



Рис. 3. Выработанная матрица

Из ранее опубликованного материала видно, что зачастую наиболее нагруженными участками гибочных матриц являются именно радиусы [4], с них начинаются сколы и трещины, об этом свидетельствуют и материалы других исследователей, работы которых посвящены идентичным операциям гибки [7].

Своевременное нанесение электроискрового покрытия на участки критического износа матрицы, выявленные методами анализа структуры в современном программном обеспечении, при соразмерности толщины упрочняющих и защитных покрытий с величиной критического износа объектов электроискровой обработки [8] позволит увеличить эксплуатационную надежность и износостойкость штамповой оснастки в целом.

Нанесение покрытия

Обмер изношенной матрицы показал, что износ формообразующих радиусов матрицы

составляет 250 мкм, следовательно, толщина покрытия должна равняться данному значению.

Были проведены предварительные исследования по выявлению оптимального комплексного покрытия путем перебирания различных режимов электроискрового легирования и комбинаций материалов. При выборе оптимального покрытия учитывались время покрытия и стоимость расходных материалов. Данные по подбору режимов сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Режимы электроискрового легирования на образцах из 9ХС

№ зоны поверхности образца	Режимы работы прибора, А	Материал напыления
1	0,8+2+0,8	T15K6
2	2	BK8
3	0,8	Cu+T15K6
4	2	Cu+BK8
5	2+0,8	BK8+T15K6
6	0,8+2	T15K6+BK8

На рисунке 4 показаны фотографии участков образцов, покрытые при различных режимах электроискрового легирования. Фотографии сделаны на микроскопе Micron Alpha. С помощью данного оборудования графически определяется разница между размерами пор в нанесенном покрытии, 4 пикселя равняются 1 микрометру, рисунок 4.

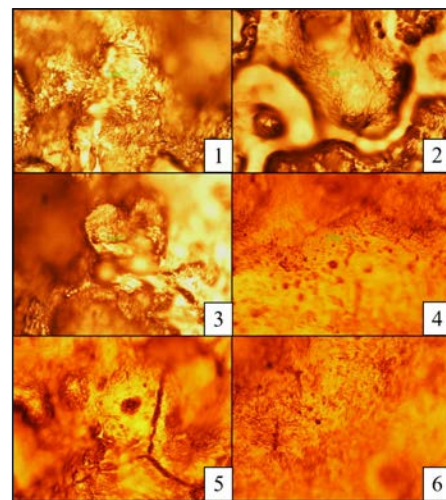


Рис. 4. Зоны электроискрового легирования

Появление пор может быть вызвано рядом причин, среди которых при нанесении покрытий выделяют выход дислокаций на поверхность. Это приводит к образованию рыхлот, ухудшающих качество диффузионных покрытий. Эти дефекты могут являться источником разрушения покрытия при статических и особенно знакопеременных нагрузках. Расчеты показывают, что при превращении рыхлот в микротрещины их длина оказывается больше критической, что инициирует хрупкое разрушение. С увеличением количества пор, а также

их размеров возрастает вероятность появления трещин, сколов и прочих поверхностных дефектов, что ведет к потере устойчивости нагруженного твердого тела. Из вышеизложенного следует, что связь между размером пор в наносимом покрытии и его трибологическими свойствами во время контакта покрытия с поверхностью обрабатываемой детали носит обратно пропорциональный характер: чем больше поры, тем хуже трибологические свойства, а значит, меньше устойчивость нагруженного твердого тела.

В результате перебора различных режимов работы электроискрового оборудования, исходя из малого размера пор и их равномерной концентрации по поверхности, следует, что наиболее приемлемый состав покрытия представлен на изображении под № 4 рисунка 4. В связи с этим была разработана схема нанесения комплексного покрытия из вольфрамкобальтового твердого сплава ВК8 для восстановления геометрии и упрочнения данной детали штампа, а также меди для улучшения трибологических характеристик рабочей поверхности матрицы (табл. 2).

Таблица 2

Режимы покрытия

№ п/п режима	Наносимый материал	Сила тока, А	Толщина покрытия, мкм
1	ВК8	2	150
2	ВК8	1	70
3	Cu	1	30

Покрытие наносилось на наиболее нагруженную поверхность вышедшей из строя матрицы (рис. 5), согласно параметрам, указанным в методике исследования данной статьи.

Твердый сплав ВК8 имеет высокую прочность, хорошее сцепление покрытия и материала основы, обеспечивает отсутствие нагрева всей детали в процессе обработки (что не влияет на основную структуру металла), обладает высокой микротвердостью и износостойкостью [9]. Твёрдость основного материала матрицы 9ХС, являющегося подложкой при электроискровом легировании, была измерена на твердомере 2140TP и составила 60 HRC.



Рис. 5. Матрица с покрытием

Микротвердость нанесенного слоя карбида вольфрама ВК8 измерялась на микротвердомере ПМТ-3М (рис. 6) и была рассчитана по формуле:

$$H_N = \frac{1,8544 \cdot P}{d^2}, \quad (1)$$

где P – приложенная нагрузка, d – диагональ полученного прямоугольника после вдавливания алмазной пирамидки.

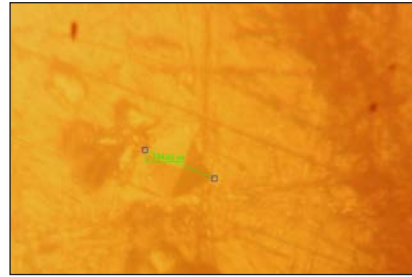


Рис. 6. Измерение твердости нанесенного покрытия

Расчет показал, что микротвердость нанесенного карбида вольфрама ВК8 равняется 1400 HV, что эквивалентно 72 HRC. Данное повышение твердости поверхности матрицы, несомненно, оказывает влияние на её эксплуатационную надежность и износостойкость.

Медь же наносилась для улучшения трибологических свойств формообразующей поверхности, доказано, что при нанесении медных или бронзовых покрытий толщиной более 10 мкм на восстановленный слой сервоитная пленка может образовываться в течение времени, превышающего ресурс нового сопряжения, тем самым обеспечивая для отремонтированного узла ресурс не ниже, чем у нового узла [10].

Результаты промышленных испытаний

Обработанная матрица была установлена на рабочий штамп, который отработал заложенный по паспорту цикл в 35 000 деталей (рис. 5). Детали прошли контроль, процент брака не превысил допустимое значение, что позволило сделать вывод о работоспособности восстановленной матрицы и штампа в целом.



Рис. 7. Восстановленная матрица в штампе

Выводы. Были проанализированы прогрессивные пути восстановления формообразующих поверхностей штамповой оснастки. Разработана

технология, базирующаяся на современных методах анализа и экономичной обработке электроискровым легированием. В результате применения рассматриваемой технологии были восстановлены формообразующие поверхности матрицы гибочного штампа. Проведены промышленные испытания рассматрива-

емого штампа, полученные детали прошли контроль и были признаны годными. Таким образом, ресурс работы штампа при использовании разработанной технологии увеличился, при этом технология является гораздо более дешевой и менее затратной по времени, в сравнении с имеющейся на производстве.

Список литературы:

1. Ямникова О.А., Якимович Е.Н. Функционально-стоимостной анализ конструкции штампа. Известия ТулГУ. Технические науки. 2009. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/funktsionalno-stoimostnoy-analiz-konstruktsii-shtampa> (дата звернення: 20.09.2018).
2. Серёжкин М.А., Мельников Э.Л. Разработка технологии повышения стойкости крупногабаритных матриц штампов. Известия МГТУ. 2014. № 1 (19). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-tehnologii-povysheniya-stoykosti-krupnogabaritnyh-matrits-shtampov> (дата звернення: 20.09.2018).
3. Самылов В.А. Использование сплавов типа сормайт для штампов. Известия ТПУ. 1961. № 2. С. 99–101.
4. Мельничук А.В., Гришин В.С., Морозенко Е.П. Разработка математической модели оценки зон критических внутренних напряжений в формообразующих деталях гибочного штампа. Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. 2016. Вип. 50 (1222). С. 133–136.
5. Верховуров А.Д., Лунева В.П. Зависимость химического, фазового состава и свойств электроискровых покрытий от состава легирующих материалов. Металлообработка. 2011. № 4 (64). С. 19–21.
6. Мельничук А.В., Гришин В.С., Морозенко Е.П., Трунов Ю.Н. Условия эффективного обеспечения параметров надежности и ресурса гибочных штампов. Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. 2017. Вип. 33 (1255). С. 94–98.
7. Галимов Э.Р., Абдуллин И.А., Беляев А.В., Сироткина Л.В. Методы восстановления изношенных элементов штампов. Вестник Казанского технологического университета. 2014. № 23. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-vostranovleniya-iznoshennyh-elementov-shtampov>. (дата звернення: 20.09.2018).
8. Иванов В.И., Бурмукулов Ф.Х. Упрочнение и увеличение ресурса объектов электроискровым методом: классификация, особенности технологии. ЭОМ. 2010. № 5 (265). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/uprochnenie-i-uvelichenie-resursa-obektov-elektroiskrovym-metodom-klassifikatsiya-osobennosti-tehnologii> (дата звернення: 20.09.2018).
9. Коротяев Д.Н., Алимбаева Б.Ш. Повышение эффективности восстановления стальных деталей методом электроискрового легирования. Вестник СибАДИ. 2012. № 5 (27). С. 30–34.
10. Бурмукулов Ф.Х., Иванов В.И., Вашкеба С.В. Электроискровые технологии для восстановления изношенных деталей тестоделителей. ЭОМ. 2005. № 1. С. 32–36.

РОЗРОБКА МЕТОДУ ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ ОСНАЩЕННЯ

Показані результати досліджень щодо підвищення експлуатаційної надійності за допомогою підвищення зносостійкості і терміну служби відновленого штампового оснащення. У роботі використовуються новітні такі методи раціонального аналізу напружень і методів відновлення оснащення, як метод кінцевих елементів і функціонально-орієнтовані технології. Для відновлення зношених поверхонь обраний найбільш економічний із наявних методів – комбінований метод електроискрового легування твердим сплавом із міддю. На підставі розроблених методик проведені промислові випробування, що підтверджують працездатність розробленої технології.

Ключові слова: штампи, метод кінцевих елементів, функціонально-орієнтовані технології, електроіскрове легування, ресурс, зносостійкість.

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR IMPROVING THE OPERATIONAL RELIABILITY OF EQUIPMENT

The article shows the research results of increase of operational reliability by increasing the wear resistance and service life of the restored die tooling. The importance of die stamp tooling is shown from the industrial point of view of considered parts. This work shows statistic of work of die stamp variety. In the paper are used the latest methods of rational stress analysis and tool recovery methods, such as the finite element method and functionally oriented technologies. To restore worn surfaces was chosen the most economical method of electric-spark doping with a copper hard alloy. Industrial tests were conducted on the base of the developed methods. Parts, which were produced with treated tools, has passed control procedure. We summary that matrix and die stamp are working well therefore it confirms the working capacity of the developed technology.

Key words: Die stamp tooling, finite element method, functionally oriented technologies, electric-spark doping, resource, wear resistance.

УДК 621.923

Сіра Н.М.

Чернігівський національний технологічний університет

Кологойда А.В.

Чернігівський національний технологічний університет

Литвин О.О.

Чернігівський національний технологічний університет

Кальченко Д.В.

Чернігівський національний технологічний університет

ТЕОРЕТИЧНЕ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДВОСТОРОННЬОГО ШЛІФУВАННЯ ТОРЦІВ ДЕТАЛЕЙ ІЗ РІЗНИМИ ДІАМЕТРАМИ

Проведено теоретичне та експериментальне дослідження процесу двостороннього шліфування торців деталей із різними діаметрами. Розроблено тривимірну модульну модель інструментальної поверхні та поверхні деталі. Запропоновані методики визначення сил різання та продуктивності при двосторонньому торцевому шліфуванні зі схрещеними осями інструмента та деталі з різними діаметрами.

Ключові слова: двостороннє шліфування, торці, сили різання, продуктивність, правка.

Постановка проблеми. На сучасних машинобудівних, зокрема автомобілебудівних та верстатобудівних, заводах широко використовуються деталі з високоточними торцевими поверхнями, остаточною якістю яких забезпечується операціями шліфування. Подальший розвиток ринкових відносин у галузі машинобудування вимагає розроблення прогресивних способів шліфування та їх впровадження у промисловість.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Провідна фірма Saturn (Німеччина) здійснює обробку торцевих поверхонь деталей одного діаметра, які в процесі шліфування не фіксуються в осьовому напрямі. Дослідження точності торцевих поверхонь деталей одного діаметра при двосторонньому торцевому шліфуванні з калібруючими ділянками абразивних кругів проведено у роботах таких науковців, як В.І. Кальченко, В.І. Венжега, О.С. Следнікова, Д.В. Кальченко [1; 2].

В.І. Кальченко, В.В. Кальченко О.С., Следнікова і Д.В. Кальченко запропонували високоефективний спосіб однопрохідного двостороннього шліфування торців деталей однакового діаметру, який забезпечує високі точність та якість обробки [3].

Однак у перелічених вище роботах не розглядається шліфування торців деталей різного діаметра з їх осьовою фіксацією в процесі обробки.

Постановка завдання. Метою статті є порівняння результатів теоретичного та експерименталь-

ного дослідження процесу шліфування торців деталей різного діаметра зі схрещеними осями деталей і кругів із калібруючими ділянками та без них.

Виклад основного матеріалу дослідження. При двосторонньому шліфуванні торців гладких циліндричних (пальці, втулки, ролики підшипників і т.д.) та деталей із різними діаметрами, типу штовхач, клапан та інші, з метою підвищення точності та продуктивності обробки проводимо орієнтування кругів та їх правку. При цьому під час входу деталі в зону обробки та при зрізанні чорнового приску деталь нерухомо закріплюється у барабані подачі [4], а при переході у зону калібруючої ділянки круга фіксація припиняється і деталь обертається навколо власної осі. Заради досягнення максимальної точності необхідно забезпечити здійснення не менше одного повного оберту.

Контроль за процесом знімання припуску та зносом абразивного інструменту здійснюється приладом активного контролю [5]. При цьому упродовж зняття припуску постійно вимірюється значення об'єму по координаті обробки та контролюється його зміна, завдяки чому можна розрахувати кількість зрізаного матеріалу та відповідне зношування інструмента.

Обробка торців деталей із різними діаметрами виконувалась на двосторонньому торцешліфувальному верстаті 3342АДО, розрахункова схема якого наведена на рис. 1.

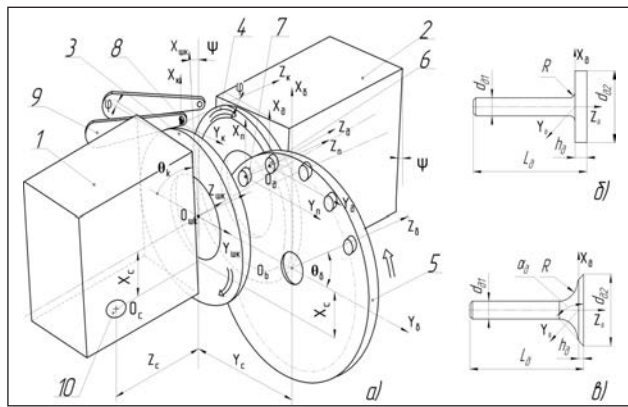


Рис. 1. Розрахункова схема шліфування торців деталей різних діаметрів

Перед початком роботи здійснюється правка шліфувальних кругів. Враховуючі високі вимоги до точності вихідних поверхонь деталі, правку проводимо у два етапи. По-перше, здійснюється попередня правка по площині, яка перпендикулярна осі обертання круга торцевих поверхонь шліфувальних кругів спеціальним пристроєм, яким комплектується верстат (рис. 2а) та закріплений на шліфувальній бабці. По-друге, калібруючі ділянки кругів правляться алмазним олівцем, що встановлюється в барабані подачі (рис. 2б).

На корпусі шліфувальної бабки знаходиться спеціальний важіль 2 (рис. 2а), який, здійснюючи маятниковий рух щодо осі 3, виконує чорнову правку шліфувального круга 1. При правці калібруючої ділянки шліфувального круга 1 (рис. 2б), алмазний олівець 5 закріплюють у барабані подачі 4, який, обертаючись навколо власної осі, вводить олівець у контакт із кругом. При цьому робочий елемент описує траєкторію, яка відповідає руху деталі в процесі шліфування.

Радіус вектор руху вершини алмазного олівця у режимі чорнової правки одного з кругів (рис. 2а)

$$R_{Пм} = C_{\theta_n \phi}^{\Phi_n} \cdot P_{Z_n Y_n X_n}^{\Pi} \cdot C_{\theta_n R_n}^{I_n} \cdot \bar{e}_4, \quad (1)$$

де $C_{\theta_n R_n}^{I_n} = M_6(\theta_n) \cdot M_2(R_n)$, – інструментальний циліндричний модуль правки чорнової ділянки інструмента; $P_{Z_n Y_n X_n}^{\Pi} = M_3(Z_n) \cdot M_2(Y_n) \cdot M_1(X_n)$, – прямокутний модуль переносу; $C_{\theta_n \phi}^{\Phi_n} = M_6(\theta_\phi)$, – циліндричний модуль формоутворення при правці; $M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6$ – матриці перетворення систем координат; θ_n – кутовий параметр поверхні шліфувального круга, що відповідає за положення точки робочої поверхні круга; R_n – радіус, на якому розташовується алмазний олівець у пристрої правки; X_n, Y_n, Z_n – координати центру правлячого пристрою у системі координат шліфувального круга; $\theta_n \phi$ – кутовий параметр

формоутворення торцевої поверхні інструмента; $e_4 = (0, 0, 0, 1)^T$ – радіус-вектор початку координат.

При правці калібруючої ділянки шліфувального круга радіус-вектор точок траєкторії руху алмазного олівця в системі координат інструмента:

$$\bar{R}_{Пк} = C_{\theta_\phi}^{\Phi_{пк}} \cdot S_{\phi \psi X_c}^O \cdot P_{Z_c Y_c X_c}^{\Pi} \cdot C_{\theta_\phi R_\phi}^{I_{пк}} \cdot \bar{e}_4, \quad (2)$$

де $C_{Z_\phi \theta_\phi R_\phi}^{I_{пк}} = M_3(-Z_\phi) \cdot M_6(\theta_\phi) \cdot M_2(R_\phi)$, – циліндричний інструментальний модуль правки калібруючої ділянки; $S_{\phi \psi X_c}^O = M_4(\phi) \cdot M_5(-\psi) \cdot M_1(-X_c)$, – сферичний модуль орієнтації шліфувальних кругів при правці; $P_{Z_c Y_c X_c}^{\Pi} = M_3(Z_c) \cdot M_2(Y_c) \cdot M_1(X_c)$, – прямокутний модуль переносу; $C_{\theta_\phi}^{\Phi_{пк}} = M_6(\theta_\phi)$, – циліндричний модуль формоутворення при правці; θ_ϕ – кутовий параметр поверхні шліфувального круга; R_ϕ – радіус, на якому розташовуються осі заготовок і алмазного олівця в барабані подачі; Z_ϕ – половина довжини заготовки; X_c, Y_c, Z_c – розміри, які визначають положення робочої площини круга щодо сферичного шарніра; ϕ, ψ – кути орієнтації шліфувальної бабки в горизонтальній та вертикальній площинах відповідно; θ_ϕ – кутовий параметр формоутворення калібруючої ділянки шліфувального круга.

Запишемо робочу поверхню шліфувального круга з використанням функції Хевісайда (рис. 3, а, б)

$$Z_{ins}(i) = L \cdot (1 - \Phi(i - i_{12})) + (L + (i - i_{12})) \cdot \sin(\alpha) \cdot (\Phi(i - i_{12}) - \Phi(i - i_{13})), \quad (3)$$

$$R_{ins}(i) = (R_1 + i) \cdot (1 - \Phi(i - i_{12})) + (R_1 + i_{12} + (i - i_{12})) \cdot \cos(\alpha) \cdot (\Phi(i - i_{12}) - \Phi(i - i_{13})), \quad (4)$$

де $R_{ins}(i), Z_{ins}(i)$ – координати профілю шліфувального круга вздовж осей $O_{уш} Y_{уш}$ та $O_{уш} Z_{уш}$ системи координат $X_{уш} Y_{уш} Z_{уш}$ відповідно; Φ – функція Хевісайда; i – i -та координата профілю шліфувального круга (рис. 3а); R_1 – радіус отвору круга; i_{12} – початок калібруючої ділянки шліфувального круга; i_{13} – кінець калібруючої ділянки круга; L – відстань від початку системи координат до торця інструмента; α – кут нахилу калібруючої ділянки.

Радіус-вектор поверхні шліфувального круга для обробки торця деталі з більшим діаметром (рис. 3в)

$$\bar{R}_I = C_{Z_{ins}(i) \theta_{ins} R_{ins}(i)}^{I_{ins}} \cdot \bar{e}_4, \quad (5)$$

де θ_{ins} – кутовий параметр поверхні круга.

$$C_{Z_{ins}(i) \theta_{ins} R_{ins}(i)}^{I_{ins}} = M_3(Z_{ins}(i)) \cdot M_6(\theta_{ins}) \cdot M_2(R_{ins}(i)), \quad (6)$$

Тривимірний модульна модель другого шліфувального круга для обробки торця з меншим діаметром аналогічна попередній, але з калібруючою ділянкою, меншою за величиною.

Номінальна поверхня деталі описується рівнянням (рис. 1 б, в):

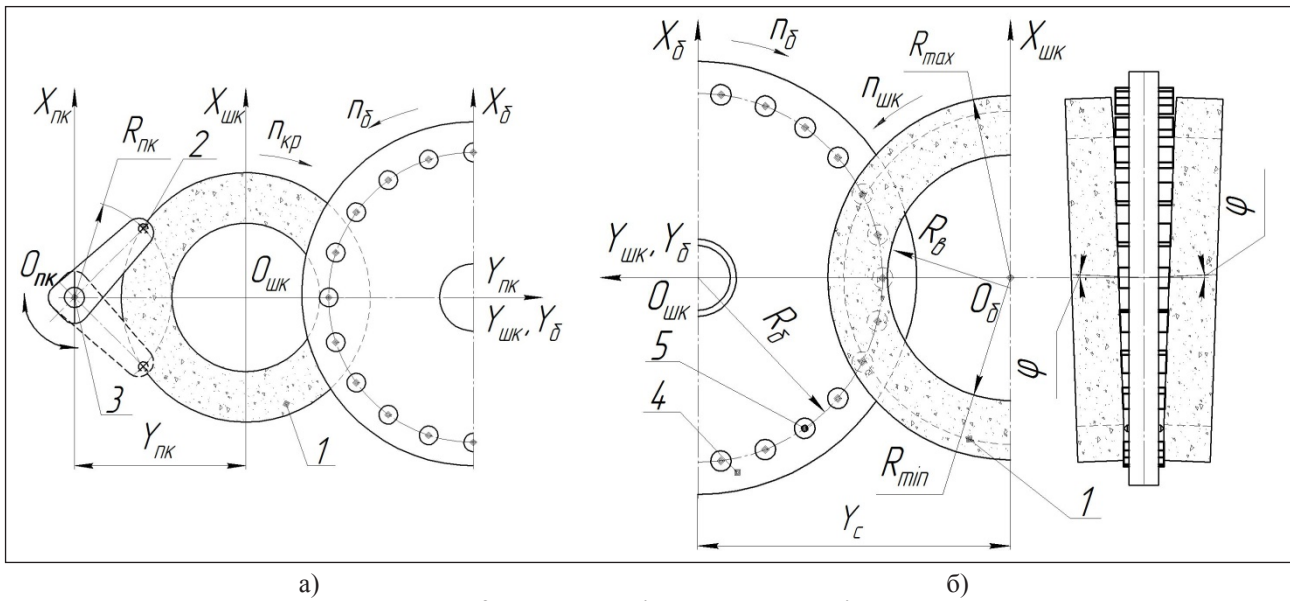


Рис. 2. Правка шліфувальних кругів

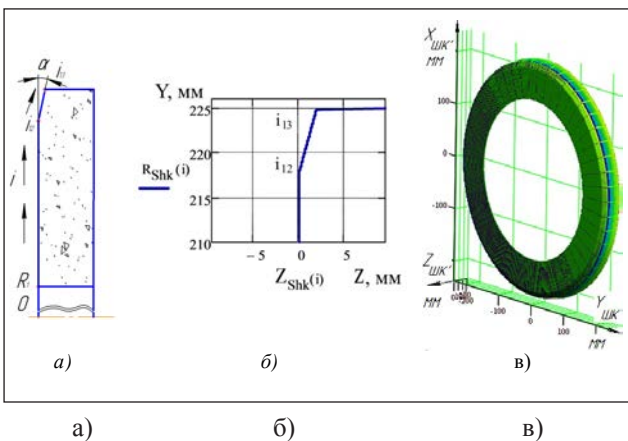


Рис. 3. Профіль шліфувального круга для обробки торця більшого діаметру

$$\bar{R}_D = M_D \cdot \bar{R}_I, \quad (7)$$

де M_D – матриця переходу з системи координат інструмента в систему координат деталі.

Підставивши вираз (5) у (7), отримаємо модульну 3D-модель формоутворення торцевих поверхонь деталей із різним діаметрами, яка описується добутком 5 модулів: циліндричного інструментального $C_{Z_{ins}(i)-\theta_{ins}-R_{ins}(i)}^I$, сферичної орієнтації $S_{\phi-\psi-X_c}^O$, прямокутного переносу $P_{Z_c-Y_c-X_c}^II$, циліндричного транспортування та подачі деталей $C_{Z_{\phi-\theta_{\phi}}-Y_{\phi}}^T$, циліндричного формоутворення $C_{Z_{\phi}-\theta_{\phi}-Y_{\phi}}^{\phi}$ та системою зв'язків

$$X_c, Y_c, Z_c = const, \quad R_{ins} = R_{ins}(i), \quad Z_{ins} = Z_{ins}(i), \quad Y_{\phi} = R_{\phi}, \\ Z_{\phi} = Z_{\phi}(\theta_{\phi}), \quad Z_{\phi} = Z_{\phi}(\theta_{\phi}), \quad \theta_{\phi} = \theta_{\phi}(\theta_{\phi}), \quad \psi, \phi = const, \quad (8)$$

де $Z_{\phi}(\theta_{\phi})$ – координата оброблюваної деталі в системі координат подаючого барабана, яка змі-

нюється в залежності від кута повороту барабана подачі виробів θ_{ϕ} ; $Z_{\phi}(\theta_{\phi})$, $\theta_{\phi}(\theta_{\phi})$ – координати формоутворення поверхні деталі.

Умова формоутворення

$$\frac{\partial \bar{R}_D}{\partial \theta_{ins}} \times \frac{\partial \bar{R}_D}{\partial i} \cdot \frac{\partial \bar{R}_D}{\partial \theta_{\phi}} = 0, \quad (9)$$

Визначним критерієм, що обмежує продуктивність шліфування, є теплонапруженість у зоні обробки. Оскільки температура поверхневого шару деталі головним чином визначає її якість та залежить від режимів різання, теплонапруженість у зоні обробки визначається з рівняння

$$\Theta^0 = \frac{q}{\sqrt{\pi \cdot \lambda \cdot c \cdot \rho \cdot \tau}} \cdot l^{-\frac{y^2}{4 \cdot a \cdot \tau}}, \quad (10)$$

де q – інтенсивність тепловиділення на одиничній площі; y – поточна координата; l – відстань між шліфувальними зернами; τ – час обробки; λ , c , ρ – коефіцієнт теплопровідності, питома теплоємність матеріалу та густина матеріалу заготовки.

Для визначення теплонапруженості процесу необхідно отримати температуру у зоні обробки:

$$\Theta(y, \tau) = 2 \cdot a \cdot \sqrt{\frac{\tau}{\pi}} \cdot \frac{q_0}{\lambda} \cdot e^{-\frac{y^2}{4 \cdot a^2 \cdot \tau}} - \frac{q_0}{\lambda} \cdot y \cdot \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{y}{2 \cdot a \cdot \sqrt{\tau}} \right) \right], \quad (11)$$

де q_0 – щільність теплового потоку, $a = \sqrt{\frac{\lambda}{c \cdot \rho}}$ – коефіцієнт температуропровідності матеріалу заготовки.

Щільність теплового потоку:

$$q(y, \tau) = -\lambda \cdot \frac{\partial \Theta}{\partial x}(y, \tau) = q_0 \cdot \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{y}{2 \cdot a \cdot \sqrt{\tau}} \right) \right], \quad (12)$$

Щільність теплового потоку визначається в залежності від зміни тимчасового опору зі зміною температури деталі Θ та податливості:

$$q(\Theta, \Pi_i) = \frac{b \cdot N(\Theta, \Pi_i)}{F}, \quad (13)$$

де b – коефіцієнт, що враховує розподіл теплового потоку, $N(\Theta, \Pi_i)$ – потужність шліфування в i -тій точці, F – площа плями контакту інструмента та заготовки.

При шліфуванні торців деталі з різними діаметрами теплонапруженість на різних ділянках деталі буде різною, а отже, буде змінюватись і напруження зсуву для кожного з торців. Напруження зсуву в залежності від температури різання для Сталі 45Х наведено в роботі таких науковців, як В.І. Кальченко, В.В. Кальченко, А.М. Єрошенко, Н.М. Сіра [6]: знайшовши за діаграмою реальне значення напруження, можна визначити сили на кожному з торців деталі. Дослідниками запропонована запропонована уточнююча методика визначення сил різання, з урахуванням різальних та деформуючих зерен [1]. На окреме зерно діють сили зсуву, тертя та інерції. При шліфуванні торця більшого діаметру деталі сили різання визначаються:

$$P_b^r(\Theta_b) = P_{c,b}^r + P_{mp,b}^r + P_{in,b}^r = \tau_{s,b}(\Theta_b) \cdot z \cdot \rho \cdot \left\{ \begin{aligned} & \frac{\sin(\beta + \phi_s)}{\sin \beta \cdot \sin \phi_s} \cdot \sqrt{2 \frac{z}{\rho}} + 2\pi\mu / (3\mu_s) + \dots \\ & + \frac{\rho_m \cdot v \cdot (v - v_c \cdot \sin \gamma)}{\tau_{s,b}(\Theta_b)} \cdot \sqrt{2 \frac{z}{\rho}} \end{aligned} \right\}, \quad (14)$$

$$P_b^n(\Theta_b) = P_{cd,b}^n + P_{mp,b}^n + P_{in,b}^n = \tau_{s,b}(\Theta_b) \cdot z \cdot \rho \cdot \left\{ \begin{aligned} & \frac{\cos(\beta + \phi_s)}{\sin \beta \cdot \sin \phi_s} \cdot \sqrt{2 \frac{z}{\rho}} + 2\pi / (3\mu_s) + \dots \\ & + \frac{\rho_m \cdot v \cdot v_c \cdot \cos \gamma}{\tau_{s,b}(\Theta_b)} \cdot \sqrt{2 \frac{z}{\rho}} \end{aligned} \right\}, \quad (15)$$

При шліфуванні торця з меншим діаметром:

$$P_m^r(\Theta_m) = P_{c,m}^r + P_{mp,m}^r + P_{in,m}^r = \tau_{s,m}(\Theta_m) \cdot z \cdot \rho \cdot \left\{ \begin{aligned} & \frac{\sin(\beta + \phi_s)}{\sin \beta \cdot \sin \phi_s} \cdot \sqrt{2 \frac{z}{\rho}} + 2\pi\mu / (3\mu_s) + \dots \\ & + \frac{\rho_m \cdot v \cdot (v - v_c \cdot \sin \gamma)}{\tau_{s,m}(\Theta_m)} \cdot \sqrt{2 \frac{z}{\rho}} \end{aligned} \right\}, \quad (16)$$

$$P_m^n(\Theta_m) = P_{cd,m}^n + P_{mp,m}^n + P_{in,m}^n = \tau_{s,m}(\Theta_m) \cdot z \cdot \rho \cdot \left\{ \begin{aligned} & \frac{\cos(\beta + \phi_s)}{\sin \beta \cdot \sin \phi_s} \cdot \sqrt{2 \frac{z}{\rho}} + 2\pi / (3\mu_s) + \dots \\ & + \frac{\rho_m \cdot v \cdot v_c \cdot \cos \gamma}{\tau_{s,m}(\Theta_m)} \cdot \sqrt{2 \frac{z}{\rho}} \end{aligned} \right\}, \quad (17)$$

де $P_b^r(\Theta_b)$, $P_b^n(\Theta_b)$, $P_m^r(\Theta_m)$, $P_m^n(\Theta_m)$ – тангенціальна та нормальна складові частини сили мікрорізання одиничним зерном для більшого та меншого діаметрів деталі; $P_{cd,b}^n$, $P_{mp,b}^n$, $P_{in,b}^n$, $P_{cd,m}^n$, $P_{mp,m}^n$, $P_{in,m}^n$ – сили зсуву, тертя, інерції, що діють на одиничне зерно для більшого та меншого діаметрів; $\tau_{s,b}(\Theta_b)$, $\tau_{s,m}(\Theta_m)$ – напруга зсуву для більшого

торця деталі та меншого, відповідно, визначається в залежності від температури в зоні різання; z , ρ – глибина проникнення вершини зерна в матеріал заготовки та радіус її округлення; ρ_m – щільність матеріалу заготовки; v – швидкість різання; $v_c = v \sin \beta / \cos(\beta - \gamma)$ – проекція швидкості руху стружки на напрям переміщення зерна щодо матеріалу заготовки; $\beta = 12^\circ$ – кут зсуву оброблюваного матеріалу; $\gamma = \arcsin(1 - z / 2\rho)$ – передній кут ріжучої кромки; α_s , α – коефіцієнти тертя в площині зсуву та на задній поверхні кромки; $\phi_s = \arctg \mu_s$ – кут тертя в площині зсуву.

Значення сили різання, що діє на одиничне абразивне зерно при шліфуванні торців, є змінним уздовж профілю різальної кромки. З метою виявлення закономірності розподілу величини сили було проведено моделювання процесу різання одиничним зерном із використанням методу скінченних елементів у програмному пакеті ABAQUS. Результати моделювання наведені на рис. 4. Розподіл сили було визначено в осьовій площині зерна, орієнтованій уздовж напрямку руху (рис. 4а) та перпендикулярній їй (рис. 4б).

Сумарна сила різання визначається інтегруванням по площі плями контакту. При шліфуванні більшого та меншого торців:

$$P_{\Sigma,b}^r(\Theta_b, \Pi) = \iint_{S_b} P_b^r(\Theta_b) \cdot n(z, \rho) ds; \quad (18)$$

$$P_{\Sigma,b}^n(\Theta_b, \Pi) = \iint_{S_b} P_b^n(\Theta_b) \cdot n(z, \rho) ds; \quad (18)$$

$$P_{\Sigma,m}^r(\Theta_m, \Pi) = \iint_{S_m} P_m^r(\Theta_m) \cdot n(z, \rho) ds; \quad (19)$$

$$P_{\Sigma,m}^n(\Theta_m, \Pi) = \iint_{S_m} P_m^n(\Theta_m) \cdot n(z, \rho) ds; \quad (19)$$

P_b^r , P_b^n , P_m^r , P_m^n – сили мікрорізання в тангенціальному та нормальному напрямках для більшого та меншого торців; $n(z, \rho)$ – кількість абразивних зерен; S_b , S_m – величина плями контакту при шліфуванні торців.

Локальну продуктивність обробки більшого та меншого торців можна визначити, знаючи загальну модульну модель формоутворення торцевих поверхонь

$$Q_{a,b}(\Theta_b, \Pi_{i,b}) = \vec{V}_{in} \cdot dF(\Theta_b, \Pi_{i,b}), \quad (20)$$

$$Q_{a,m}(\Theta_m, \Pi_{i,m}) = \vec{V}_{in} \cdot dF(\Theta_m, \Pi_{i,m}), \quad (21)$$

де \vec{V}_{in} – вектор швидкості порівняного руху; $dF(\Theta_b, \Pi_{i,b})$, $dF(\Theta_m, \Pi_{i,m})$, – елементарна площадка плями контакту деталі та круга для обробки більшого та меншого торців деталі, залежить від тимчасового опору, який, своєю чергою, визначається в залежності від температури нагрівання деталі Θ .

Об'єм, що зрізується деякою ділянкою шліфувального круга в межах i -тої точки профілю, визначає питому продуктивність Q_n

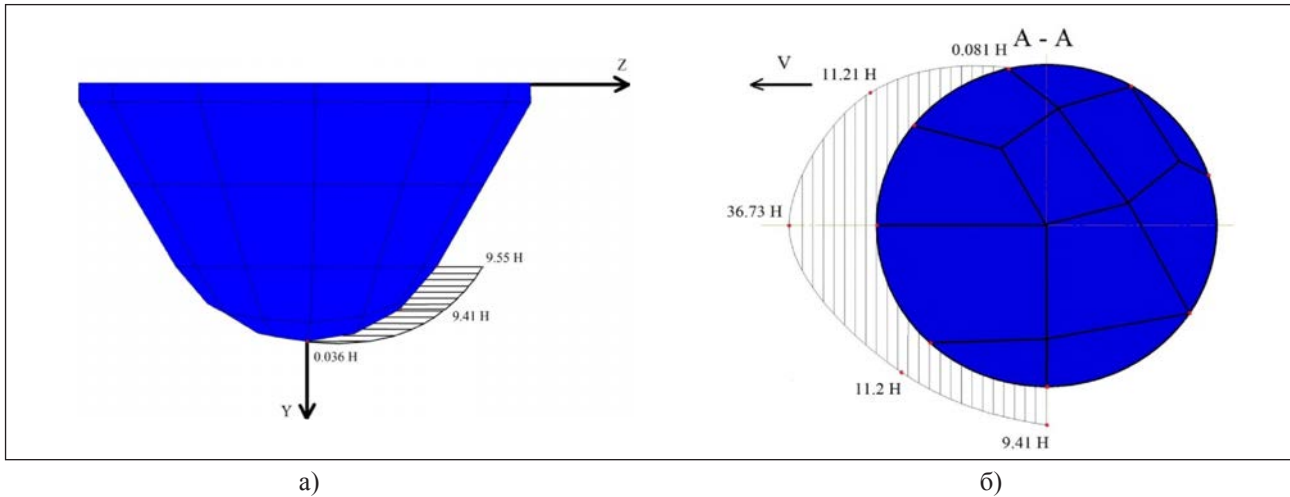


Рис. 4. Розподіл сили різання вздовж профілю абразивного зерна

$$Q_{n,b}(\Theta_b, \Pi_{i,b}) = \int_{\theta_{1ki}}^{\theta_{2ki}} \bar{V}_{in} \cdot \bar{n}_{in} \cdot (R_i - I_{in,b}(\Theta_b) \sin \alpha_{in} - \Pi_{i,b}) \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{\sum b(t, \theta_b)}{b_0}\right) \right] \cdot d\theta_{k,b}, \quad (22)$$

$$Q_{n,m}(\Theta_m, \Pi_{i,m}) = \int_{\theta_{1ki}}^{\theta_{2ki}} \bar{V}_{in} \cdot \bar{n}_{in} \cdot (R_i - I_{in,m}(\Theta_m) \sin \alpha_{in} - \Pi_{i,m}) \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{\sum b(t, \theta_m)}{b_0}\right) \right] \cdot d\theta_{k,b}, \quad (23)$$

де \bar{n}_{in} – вектор нормалі і-тої точки круга після обробки п деталей; R_i , – радіус координати і-тої точки профілю круга після правки; $I_{in,b}(\Theta_b)$, $I_{in,m}(\Theta_m)$ – знос шліфувального круга, що оброблює більший та менший торці. Величина зносу визначається в залежності від тимчасового опору та температури деталі; α_{in} – кут нахилу дотичної в і-тій точці профілю, який визначає напрям зносу шліфувального круга, що оброблює більший торець $I_{in,b}(\Theta_b)$ та менший $I_{in,m}(\Theta_m)$, залежить від температури нагрівання деталі в зоні більшого торця Θ_b та меншого Θ_m ; $\Pi_{i,b}$, $\Pi_{i,m}$ – коефіцієнт, що враховує сумарну податливість системи; θ_{1ki} , θ_{2ki} – кутові координати плями контакту на радіусі

$$\frac{R_i - I_{in,b}(\Theta_b) \cdot \sin \alpha_{in} - \Pi_{i,b}}{R_i - I_{in,m}(\Theta_m) \cdot \sin \alpha_{in} - \Pi_{i,m}}; \quad 1 - \exp\left(-\frac{\sum b(t, \theta_b)}{b_0}\right), \quad 1 - \exp\left(-\frac{\sum b(t, \theta_m)}{b_0}\right)$$

– вірогідність видалення матеріалу заготовки для більшого та меншого торців, яка розраховується за методикою Ю.К. Новоселова; $\theta_{k,b}$, $\theta_{k,m}$ – кутовий параметр для кожного з кругів.

Миттєвий об’єм металу, що зрізується на плямі контакту круга та деталі по координаті обробки, описується подвійним інтегралом по і-тій та куто-

вій координаті плями контакту та визначає миттєву продуктивність Q_m :

$$Q_{m,b}(\Theta_b, \Pi_{i,b}) = \int_{i_1}^{i_2} \int_{\theta_{1ki}}^{\theta_{2ki}} \bar{V}_{in} \cdot \bar{n}_{in} \cdot (R_i - I_{in,b}(\Theta_b) \cdot \sin \alpha_{in} - \Pi_{i,b}) \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{\sum b(t, \theta_b)}{b_0}\right) \right] \cdot d\theta_k \cdot \sqrt{\left(\frac{dR_{in}}{di}\right)^2 + \left(\frac{dZ_{in}}{di}\right)^2} di, \quad (24)$$

$$Q_{m,m}(\Theta_m, \Pi_{i,m}) = \int_{i_1}^{i_2} \int_{\theta_{1ki}}^{\theta_{2ki}} \bar{V}_{in} \cdot \bar{n}_{in} \cdot (R_i - I_{in,m}(\Theta_m) \cdot \sin \alpha_{in} - \Pi_{i,m}) \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{\sum b(t, \theta_m)}{b_0}\right) \right] \cdot d\theta_k \cdot \sqrt{\left(\frac{dR_{in}}{di}\right)^2 + \left(\frac{dZ_{in}}{di}\right)^2} di, \quad (25)$$

де i_1 , i_2 – граничні значення параметра і осьового перерізу круга в зоні контакту; R_{in} , Z_{in} – радіус осьового перерізу круга в і-тій точці профілю шліфувального круга при обробці n-ної деталі і його осьова координата, мм.

Отже, при двосторонньому торцешліфуванні продуктивність залежить від припуску на обробку, розмірів деталі, швидкості подачі виробів та податливості технологічної системи. При цьому податливість системи змінюється за координатою обробки в залежності від температури деталі.

Знос шліфувального інструмента значним чином впливає на точність обробки, він характеризується об’ємним та питомим зносом і також залежить від температури в зоні обробки та податливості системи. Об’ємний знос визначається

$$q_{1,b}(\Theta_b, \Pi_{i,b}) = \frac{Q_{a,b}}{Q_{n,b}(\Theta_b, \Pi_{i,b})} = C_q \cdot Q_{n,b}(\Theta_b, \Pi_{i,b})^{m-1}, \quad (26)$$

$$q_{1,m}(\Theta_m, \Pi_{i,m}) = \frac{Q_{a,m}}{Q_{n,m}(\Theta_m, \Pi_{i,m})} = C_q \cdot Q_{n,m}(\Theta_m, \Pi_{i,m})^{m-1}, \quad (27)$$

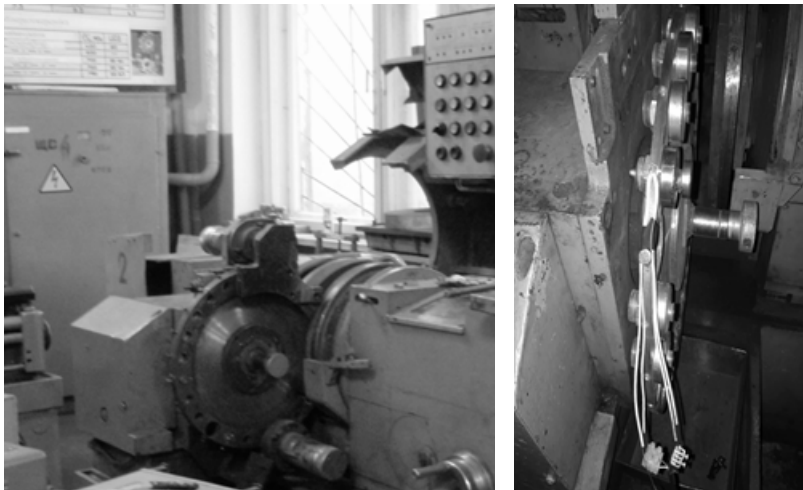


Рис. 4. Експериментально установка

де $Q_{a,b}$, $Q_{a,m}$ – об’ємна кількість зношеного абразиву за одиницю часу для шліфувального круга, що оброблює більший торець та менший відповідно; $Q_{n,b(\Theta_b, \Pi_{i,b})}$, $Q_{n,m(\Theta_m, \Pi_{i,m})}$ – швидкість знятого металу за той самий час; C_q – коефіцієнт, що дорівнює швидкості зносу при $Q_{n,b(\Theta_b, \Pi_{i,b})} = Q_{n,m(\Theta_m, \Pi_{i,m})} = 1$.

Питомий знос $I_{in,b}$, $I_{in,m}$ в i -тій точці профілю кругів, що оброблюють більший та менший торці у процесі обробки n -ної деталі, визначається за формулою

$$I_{in,b}(\Theta_b, \Pi_{i,b}) = \int_0^{T_o} \left(\frac{C_n \cdot Q_{n,b}(\Theta_b, \Pi_{i,b})^{m_1}}{k_\alpha \cdot 2 \cdot \pi \cdot R_{in}} + \frac{C_{qin} \cdot Q_{qin,b}(\Theta_b, \Pi_{i,b})^{h_1}}{k_\alpha \cdot 2 \cdot \pi \cdot R_{in}} \right) dT_o, \quad (28)$$

$$I_{in,m}(\Theta_m, \Pi_{i,m}) = \int_0^{T_o} \left(\frac{C_n \cdot Q_{n,m}(\Theta_m, \Pi_{i,m})^{m_1}}{k_\alpha \cdot 2 \cdot \pi \cdot R_{in}} + \frac{C_{qin} \cdot Q_{qin,m}(\Theta_m, \Pi_{i,m})^{h_1}}{k_\alpha \cdot 2 \cdot \pi \cdot R_{in}} \right) dT_o, \quad (29)$$

де $Q_{n,b}(\Theta_b, \Pi_{i,b})$, $Q_{n,m}(\Theta_m, \Pi_{i,m})$ – питомий об’єм металу, що знімається i -тою ділянкою n -ного профілю круга, який залежить від тимчасового опору, що залежить від температури нагрівання деталі Θ_b , Θ_m та піддатливості в i -тій точці $\Pi_{i,b}$, $\Pi_{i,m}$; $Q_{qin,b}(\Theta_b, \Pi_{i,b})$, $Q_{qin,m}(\Theta_m, \Pi_{i,m})$ – питомий об’єм деформованого металу абразивними зернами i -тої ділянки n -го профілю кругів, що оброблюють більший та менший торці деталі; a_{zmin} – мінімальна товщина шару, що зрізується ріжучою кромкою; C_{yin} , C_{qin} – коефіцієнти питомого зносу в i -тій точці n -го профілю круга при $Q_{yin}(\Theta, \Pi_i) = 1$ та $Q_{qin}(\Theta, \Pi_i) = 1$, які визначаються експериментально для кожної i -тої ділянки круга; m_1 – кое-

фіцієнт, що враховує інтенсивність режиму шліфування та стан ріжучої поверхні круга; h_1 – коефіцієнт, що враховує інтенсивність режиму деформування металу без його зняття; k_α – коефіцієнт, що враховує перекриття ріжучих кромки; $T_{o,b}$, $T_{o,m}$ – час обробки для кожного з торців деталі за частину її оберту, один оберт чи число обертів, необхідних для обробки n -ної деталі ділянкою круга в межах i -тої точки його профілю, с.

Перевірка теоретичних розрахунків здійснювалась із використанням стенду, створеного на базі двостороннього торцешліфувального верстату 3342 АДО (рис. 4).

Як експериментальний зразок було використано товчач, виготовлений зі сталі 45Х, загартований до твердості HRC 40...45. Обробка проводилась шліфувальними кругами 1-450×305×63-25А40СТ1Б8 зі швидкістю різання 35 м/с. Круги правились за вище описаною методикою, проводилась їх орієнтація за допомогою спеціального механізму. При цьому кути орієнтації у горизонтальній та вертикальній площинах вибирались таким чином, щоб при вході деталі в зону обробки вона спочатку не торкалась калібруючих ділянок кругів, а переходила в зону чорнового різання. Після зняття чорнового припуску, точність та шорсткість штовхача забезпечувалась калібруючими ділянками інструментів.

Під час експерименту було визначено зміну активної потужності по координаті обробки для правого та лівого шліфувальних кругів, за визначеними значеннями побудовано ряд графіків (рис. 5) залежності потужності обробки від часу шліфування. На рис. 5 зображено криву зміни потужності для правого шліфувального круга, який оброблює торець більшого діаметру, та для лівого, що обробляє торець меншого діаметру. Як видно з рисунків, потужність на правому крузі дещо більша, ніж на лівому, це пояснюється різними значеннями діаметра оброблюваної частини деталі.

За отриманими значеннями потужності на приводі головного руху визначимо сили різання, використовуючи загальновідому формулу:

$$N = P_z \cdot V, \quad (30)$$

де N – активна потужність різання; P_z – складова частина сили різання; V – швидкість обертання круга.

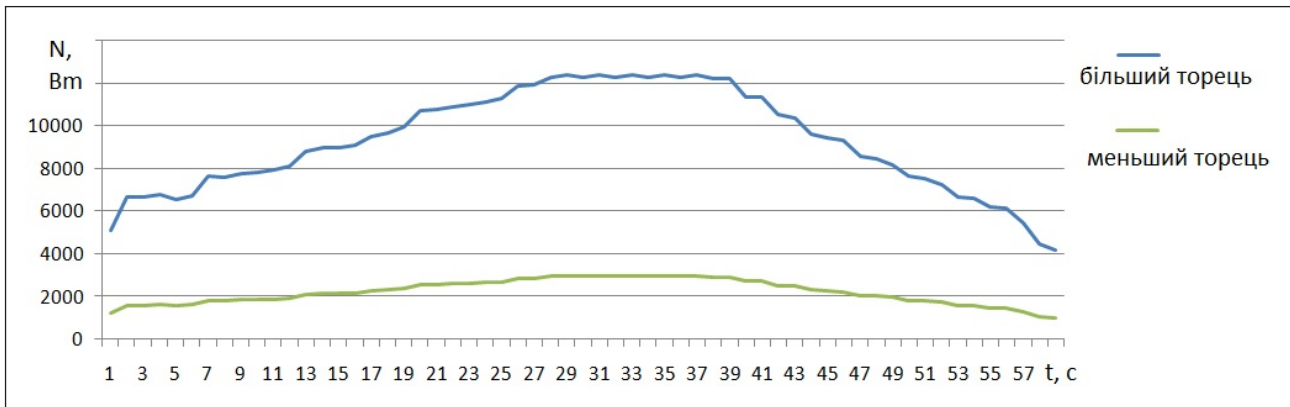


Рис. 5. Графіки зміни активної потужності шліфування від часу обробки на правому та лівому шліфувальних кругах

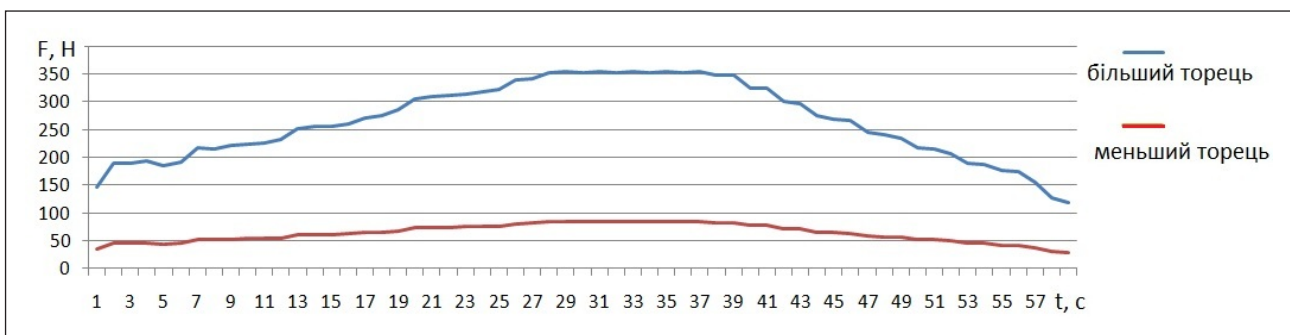


Рис. 6. Графіки зміни сили різання від часу обробки на правому та лівому шліфувальних кругах



Рис. 8. Круглограма торцевої поверхні штовхача

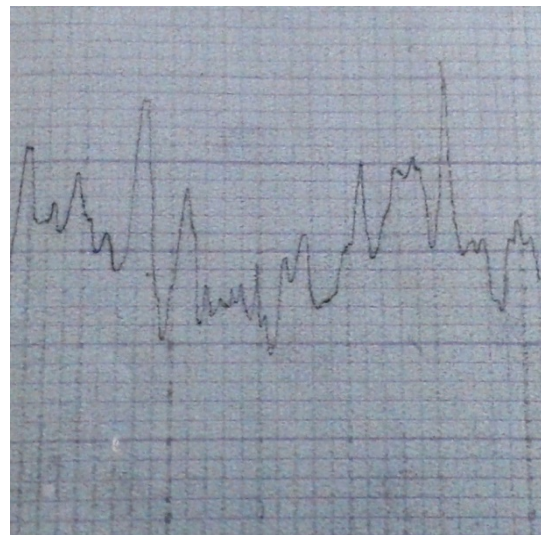


Рис. 9. Профілограма торцевої поверхні штовхача

Аналіз графіків зміни потужності (рис. 5) та сили різання (рис. 6) на шліфувальних кругах показує, що в процесі обробки відбувається незначне коливання сил різання та потужності завдяки зміні величини припуску по координаті обробки. При цьому сила різання та потужність, що витрачається на обробку лівим шліфувальним кругом,

значно менші, ніж правим, це пояснюється різними діаметрами оброблюваних деталей.

Після обробки деталей були перевірені радіальне биття на приладі «TALYROUND» (рис. 8) та шорсткість обробленої торцевої поверхні штовхача з використанням профілографа-профілометра моделі 201 (рис. 9).

Висновки. У роботі проведено теоретичне та експериментальне дослідження процесу двостороннього торцевого шліфування зі схрещеними осями інструмента та деталі з різними діаметрами. Запропоновано подвійну схему правки шліфувальних кругів із використанням вбудованого приладу правки на верстаті та встановленням алмазного олівця у барабан подачі. Визначені загальні модульні 3D-моделі для процесу чорнової та чистової правки, інструментальної поверхні та торцевої поверхні деталі. Запропоновано методику визначення сил різання при двосторонньому шліфуванні торців деталі з різними

діаметрами. При цьому враховується вплив температури у зоні шліфування. Побудовані діаграми розподілення сил різання, що діють на одиничне абразивне зерно вздовж його профілю. Уточнені формули визначення продуктивності обробки та зносу інструмента з урахуванням теплонапруженості процесу для кожного з кругів. Наведені результати експериментального дослідження, на прикладі обробки товкача зі Сталь 45, шліфувальними кругами 1-450×305×63-25A40CT1B8. Під час експерименту отримані діаграми зміни активної потужності та визначені експериментальні значення сил різання по координаті обробки.

Список літератури:

1. Кальченко В.І., Венжега В.І., Следнікова О.С., Кальченко Д.В. Теоретичне та експериментальне дослідження процесів зняття припуску, зносу кругів, точності формоутворення та теплонапруженості під час шліфування торців деталей. *Технічні науки та технології: науковий журнал*. 2016. №4 (6). С. 25–34.
2. Следнікова О.С. Модульне моделювання профілів кругів, зняття припуску та формоутворення при двосторонньому шліфуванні торців некруглих деталей. *Технічні науки та технології: науковий журнал*. 2016. № 3 (5). С. 76–84.
3. Кальченко В.І., Кальченко В.В., Следнікова О.С., Кальченко Д.В. Модульне 3D моделювання процесу двостороннього шліфування торців кругами з конічними калібруючими ділянками. *Вісник ТНТУ*. 2016. Вип. № 4(84). С. 82–92.
4. Прилад для фіксації циліндричних деталей при двосторонній обробці торців: пат. 39969 Україна: МПК51 В24В7/00; 200809761; заявл. 25.07.08; опубл. 25.03.09, Бюл. № 6. 4 с.
5. Прилад активного контролю довжини циліндричних деталей в процесі шліфування торців: пат. 39968 Україна: МПК51 G01В7/02; 200809759; заявл. 25.07.08; опубл. 25.03.09, Бюл. № 6. 4 с.
6. Кальченко В.І., Кальченко В.В., Єрошенко А.М., Сіра Н.М. Дослідження способу шліфування валків стрічкопрокатних станів зі схрещеними осями інструмента та деталі. *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2016. № 4. С. 80–87.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДВУХСТОРОННЕГО ШЛИФОВАНИЯ ТОРЦОВ ДЕТАЛИ С РАЗНЫМИ ДИАМЕТРАМИ

Проведено теоретичне та експериментальне дослідження процесу двохстороннього шліфування торців деталей з різними діаметрами. Розроблена трьохмерна модульна модель інструментальної поверхності та поверхності деталі. Предложено методику определения сил резания и производительности при двустороннем торцевом шлифовании со скрещивающимися осями инструмента и детали с разными диаметрами.

Ключевые слова: *двухстороннее шлифование, торцы, силы резания, производительность, правка.*

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE TWO-SIDE SILIFFING PROCESS OF THE BURNS OF DIFFERENT DYNAMIC PARTS

A theoretical and experimental study of the process of bilateral sanding of the ends of parts with different diameters has been carried out. A three-dimensional modular model of instrumental surface and part surface has been developed. The proposed methods for determining the cutting forces and productivity for double-faceted grinding with crossed axes of the tool and parts with different diameters have been proposed.

Key words: *two-sided grinding, ends, cutting forces, productivity, editing.*

ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

УДК 621.3.07

Гаврилов С.А.

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова

Кимстач О.Ю.

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова

Новогрецкий С.Н.

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова

Подымака В.И.

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова

Прудников А.А.

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова

РЕАКТОР ТРАНСФОРМАТОРНОГО ТИПА С ИЗМЕНЕНИЕМ КОЭФФИЦИЕНТА ВЗАИМОИНДУКЦИИ МЕЖДУ ОБМОТКАМИ

Рассмотрен реактор трансформаторного типа, в котором регулирование тока в первичной обмотке осуществляется посредством уменьшения коэффициента взаимоиנדукции между отдельными частями вторичной обмотки. Анализ электрической схемы замещения реактора показал возможность регулирования тока первичной обмотки с кратностью, равной пяти. Предложена конструкция реактора с аксиальным симметричным трехстержневым магнитопроводом, в котором части вторичных обмоток электрически соединены последовательно, замкнуты накоротко и отделены друг от друга в пространстве магнитным шунтом, регулируемым поперечным подмагничиванием. Рассмотрена схема замещения магнитной цепи реактора предложенной конструкции. Показано, что намагничивающая сила первичной обмотки прямо пропорционально зависит от магнитного сопротивления шунта.

Ключевые слова: реактор, намагничивающая сила, магнитный шунт, поперечное подмагничивание, кратность регулирования.

Постановка проблемы. В энергосистемах находят применение шунтирующие реакторы для компенсации зарядной мощности линий [1, с. 10], реакторы в составе фильтров для подавления высших гармоник, реакторы для регулирования емкостной мощности конденсаторных батарей с целью емкостного возбуждения и стабилизации напряжения асинхронных генераторов [2, с. 43]. При изменении режимов работы и конфигурации энергосистемы соответствующим образом должны меняться и индуктивные сопротивления реакторов.

Анализ последних исследований и публикаций. Известными способами регулирования реактора является продольное или поперечное подмагничивание его магнитной системы, что приводит к уменьшению магнитной проницаемости и, как

следствие, к уменьшению индуктивного сопротивления [3, с. 18; 4, с. 29]. Для осуществления продольного подмагничивания стержень магнитопровода реактора делится на две равные секции, которые подмагничиваются постоянным током в противоположных направлениях, что исключает наличие в суммарной намагничивающей силе обмотки переменного тока четных гармоник [5, с. 1; 6, с. 6]. Также известны конструкции аксиального симметричного реактора с подмагничиванием противоположно расположенных ярем в одном направлении, а также радиального симметричного шестистержневого реактора с расположением обмоток на трех стержнях и подмагничиванием ярем в одном направлении по окружности. Указанные конструкции позволяют скомпенсировать четные гармоники в токе обмотки, однако

секционирование стержней и удвоение системы подмагничивания обмотками встречного включения значительно увеличивает массу активных материалов, а наличие прямой индуктивной связи между основной обмоткой и обмотками управления приводит к повышению инерционности регулирования. Отмеченные недостатки отсутствуют в конструкциях с поперечным подмагничиванием [7, с. 71; 8, с. 2]. Известны конструкции трехфазных индукционных статических преобразователей и аппаратов с аксиальными симметричными магнитопроводами, в которых осуществляется поперечное подмагничивание стержней [8, с. 2; 9, с. 33]. Для уменьшения массогабаритных показателей предложено стержни конструктивно разделять на две симметричные секции с отверстиями для установки обмотки подмагничивания. Однако при этом увеличивается длина среднего витка и материалоемкость основной обмотки, охватывающей стержень. Также известна радиальная симметричная конструкция индукционного статического преобразователя, которая состоит из трех одинаковых витых секций [7, с. 74]. Фазы основной трехфазной обмотки охватывают смежные участки – стержни витого магнитопровода. Обмотка подмагничивания располагается на индукторе, который, имея вид скобы, охватывает внешнюю часть магнитопровода и замыкает магнитный поток подмагничивания в поперечном направлении по отношению к магнитному потоку основной обмотки. Однако в этом случае тоже не удастся значительно уменьшить массогабаритные показатели в связи с применением массивных скоб, охватывающих магнитопровод секций. Поэтому представляют интерес реакторы трансформаторного типа [10, с. 5], в которых каждая фаза содержит замкнутый магнитопровод с зазорами в стержне и три обмотки (сетевую (первичную), обмотку управления (вторичную), замкнутую тиристорным блоком, и компенсационную обмотку, предназначенную для компенсации третьей гармоники в токе реактора путем соединения обмоток трех фаз в треугольник). Значительным недостатком подобной конструкции считаем наличие тиристорного блока, который предполагает возникновение дополнительных высших гармоник в токе реактора.

Постановка задания. Целью работы является анализ особенностей конструктивной реализации реактора трансформаторного типа с симметричной конструкцией магнитопровода при регулировании тока электромагнитным путем за счет уменьшения коэффициента взаимной индукции между отдельными частями вторичной обмотки.

Изложение основного материала исследования. Рассмотрим возможность использования статического индукционного преобразователя трансформаторного типа для регулирования реактивной мощности индуктивного характера.

В общем случае такой преобразователь состоит из первичной и вторичной обмоток, расположенных на одном сердечнике, а также дополнительной вторичной обмотки, отделенной от основных обмоток магнитным шунтом. Дополнительная и основная вторичные обмотки соединяются последовательно и замыкаются накоротко. При увеличении магнитного сопротивления шунта (например, путем подмагничивания) соответствующим образом меняется и реактивное сопротивление трансреактора за счет увеличения потоков рассеяния и уменьшения коэффициента взаимной индукции между обмотками. Таким образом, получаем регулируемый источник реактивной мощности.

Для анализа в первом приближении электрических свойств конструкции примем следующие положения:

- а) активные сопротивления обмоток считаем пренебрежительно малыми в сравнении с индуктивными и принимаем их равными нулю;
- б) коэффициент взаимной индукции между основными обмотками считаем величиной постоянной и не зависящей от магнитного состояния шунта;
- в) коэффициенты взаимных индукций между дополнительной обмоткой и основными обмотками зависят только от магнитного сопротивления шунта;
- г) полные индуктивные сопротивления обмоток при изменении магнитного сопротивления шунта остаются постоянными.

Тогда для схемы замещения, представленной на рис. 1, можно записать следующую систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= j\omega L_1 \dot{I}_1 - j\omega(M_{12} - M_{13}) \dot{I}_2; \\ 0 &= j\omega L_2 \dot{I}_2 + j\omega L_3 \dot{I}_2 - 2j\omega M_{23} \dot{I}_2 - j\omega(M_{12} - M_{13}) \dot{I}_1, \end{aligned} \right\}$$

где L_1, L_2, L_3 – полные индуктивности основной первичной, основной и дополнительной вторичных обмоток соответственно; M_{12}, M_{13}, M_{22} – взаимные индуктивности обмоток; I_1, I_2 – токи в

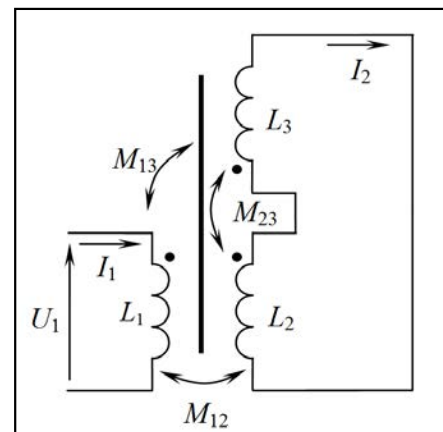


Рис. 1. Схема замещения трансреактора

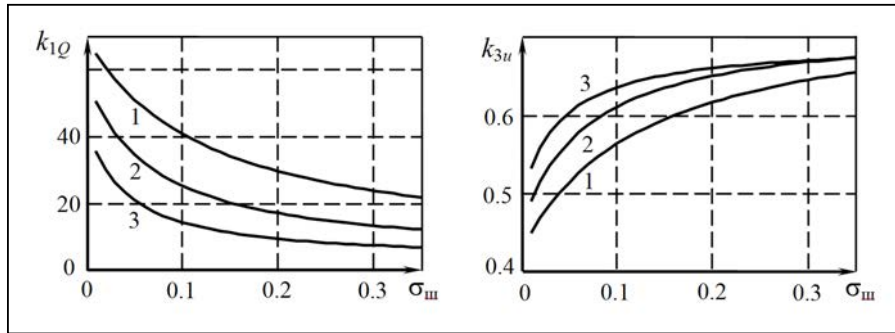


Рис. 2. Зависимость безразмерных коэффициентов изменения реактивной мощности k_{1Q} и напряжения на дополнительной вторичной обмотке k_{3u} от коэффициента рассеяния $\sigma_{ш}$ (1 – $x = 0,2$; 2 – $x = 0,25$; 3 – $x = 0,3$)

первичной и вторичной обмотках соответственно; U_1 – фазное напряжение на первичной обмотке; $\omega = 2\pi f$; f – частота напряжения.

Решим систему уравнений относительно токов:

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_1}{j\omega L_1} k_{1i}; k_{1i} = \frac{1}{1 - \frac{(M_{12} - M_{13})^2}{(L_2 + L_3 - 2M_{23}) L_1}};$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_1}{j\omega L_1} k_{2i}; k_{2i} = \frac{(M_{12} - M_{13})}{(L_2 + L_3 - 2M_{23}) - \frac{(M_{12} - M_{13})^2}{L_1}},$$

где k_{1i} и k_{2i} – безразмерные коэффициенты изменения токов в первичной и вторичной цепях соответственно.

Тогда реактивная мощность установки и напряжение на дополнительной вторичной обмотке определяется так:

$$Q_1 = \frac{3j\dot{U}_1^2}{\omega L_1} k_{1Q}; k_{1Q} = k_{1i} \frac{1}{1 - \frac{(M_{12} - M_{13})^2}{(L_2 + L_3 - 2M_{23}) L_1}}; \quad (1)$$

$$\dot{U}_2 = \frac{\dot{U}_1}{\omega L_1} k_{2i} (\omega L_3 - \omega M_{23}) + \frac{\dot{U}_1}{\omega L_1} k_{1i} \omega M_{13} = \dot{U}_1 k_{3u};$$

$$k_{3u} = k_{2i} \frac{(L_3 - M_{23})}{L_1} + k_{1i} \frac{M_{13}}{L_1},$$

где k_{1Q} и k_{3u} – безразмерные коэффициенты изменения реактивной мощности, потребляемой из сети, и изменения напряжения на дополнительной вторичной обмотке.

Введем следующие обозначения:

$$L_1 = L_{2\Sigma} (w_1/w_{2\Sigma})^2 = L_{2\Sigma} k_{тп}^2; L_3 = L_{2\Sigma} \cdot x^2;$$

$$L_2 = L_{2\Sigma} \cdot (1-x)^2;$$

$$M_{12} = \sqrt{(1-\sigma_{12})L_1L_2} = \sqrt{(1-\sigma_{12})L_1L_{2\Sigma}} \cdot (1-x);$$

$$M_{13} = \sqrt{(1-\sigma_{13}-\sigma_{ш})L_1L_3} = \sqrt{(1-\sigma_{13}-\sigma_{ш})L_1L_{2\Sigma}} \cdot x;$$

$$M_{23} = \sqrt{(1-\sigma_{23}-\sigma_{ш})L_2L_3} = \sqrt{(1-\sigma_{23}-\sigma_{ш})L_{2\Sigma}} \cdot x(1-x),$$

где w_1 и $w_{2\Sigma}$ – количество витков в первичной и суммарно во вторичных обмотках соответ-

ственно; $k_{тп}$ – коэффициент трансформации без учета влияния магнитного шунта; $L_{2\Sigma}$ – суммарная индуктивность основной и дополнительной вторичных обмоток при отсутствии шунта; x – соотношение витков дополнительной вторичной обмотки и суммарных витков вторичных обмоток; σ_{12} , σ_{13} , σ_{23} – коэффициенты электромагнитного рассеяния между соответствующими парами обмоток при отсутствии шунта; $\sigma_{ш}$ – коэффициент электромагнитного рассеяния, обусловленный действием магнитного шунта.

Исходя из представленных выражений, напряжение на дополнительной вторичной обмотке, как и реактивная мощность, потребляемая из сети, являются функциями двух переменных (соотношения витков x и коэффициента рассеяния $\sigma_{ш}$):

$$k_{1Q} = k_{1i} = \frac{1}{1 - \frac{(\sqrt{(1-\sigma_{12})} \cdot (1-x) - \sqrt{(1-\sigma_{13}-\sigma_{ш})} \cdot x)^2}{((1-x)^2 + x^2 - 2\sqrt{(1-\sigma_{23}-\sigma_{ш})} x(1-x))}}; \quad (2)$$

$$k_{2i} = \frac{(\sqrt{(1-\sigma_{12})} \cdot (1-x) - \sqrt{(1-\sigma_{13}-\sigma_{ш})} \cdot x) k_{тп}}{\left(\frac{((1-x)^2 + x^2 - 2\sqrt{(1-\sigma_{23}-\sigma_{ш})} x(1-x))}{-(\sqrt{(1-\sigma_{12})} \cdot (1-x) - \sqrt{(1-\sigma_{13}-\sigma_{ш})} \cdot x)^2} \right)};$$

$$k_{3u} = k_{2i} \frac{(x^2 - \sqrt{(1-\sigma_{23}-\sigma_{ш})} x(1-x))}{k_{тп}^2} + k_{1i} \frac{\sqrt{(1-\sigma_{13}-\sigma_{ш})} \cdot x}{k_{тп}}. \quad (3)$$

Для проведения численного анализа примем следующие параметры: $\sigma_{12} = \sigma_{13} = \sigma_{23} = 0,01$; $k_{тп} = 1$. Графики зависимостей, рассчитанных по формулам (2) и (3), представлены на рис. 2.

Из формулы (1) видно, что для определения потребляемой реактивной мощности коэффициент k_{1Q} умножается на реактивную мощность, которую потребляет трансреактор в режиме холостого хода, то есть при разомкнутой вторичной цепи. Для трансформаторов ток холостого хода (а значит, и с достаточной степенью

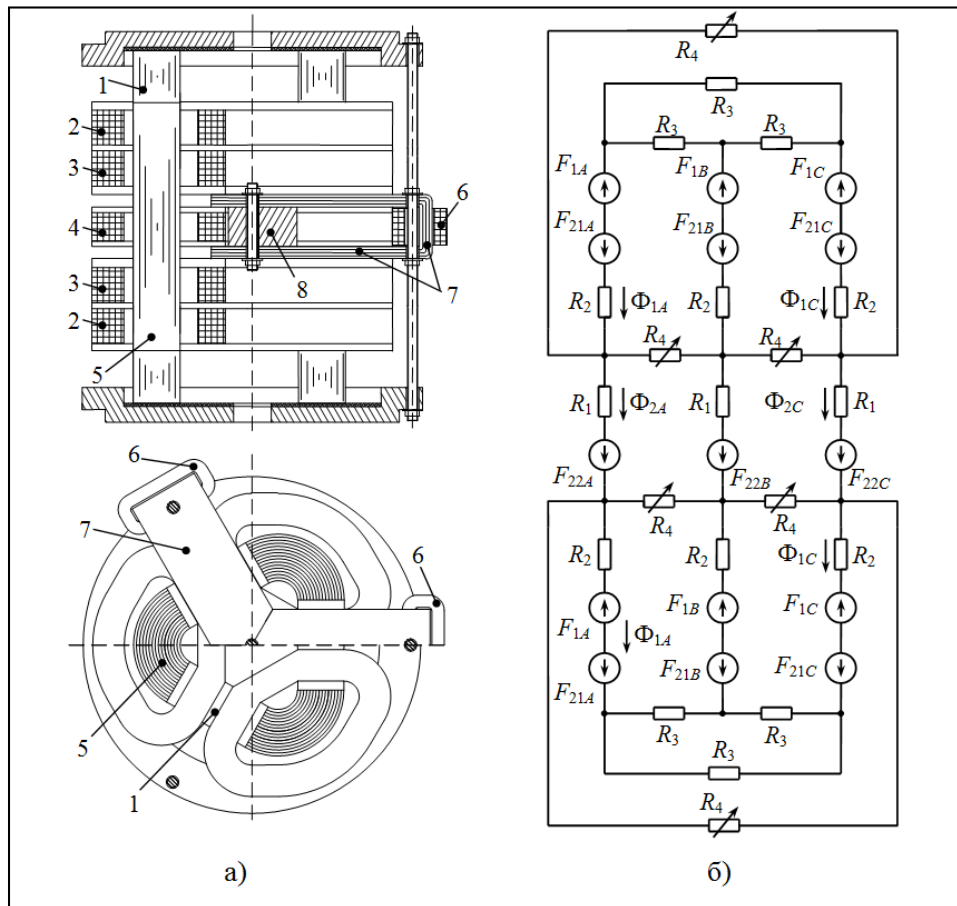


Рис. 3. Конструкція трьохфазного трансреактора (а), управляемого подмагничиванием, и схема замещения его магнитной цепи (б)

точности – потребляемая реактивная мощность) обычно составляет 1,5...4,5% от номинального значения. Таким образом, предельное значение коэффициента $k_{1Q} = 66...22,5$. Из рис. 3 видно, что при $x = 0,2$ параметр k_{1Q} изменяется в границах 22...65, а при $x = 0,3$ – в границах 7...36, то есть кратность регулирования составляет 3...5 раз, что является удовлетворительным для задач регулирования реактивной мощности. Если же предусмотреть возможность ступенчатого изменения количества витков вторичной дополнительной обмотки, кратность регулирования можно увеличить и до 10.

На рис. 3 (а) представлена возможная аксиальная конструкция подобного трехфазного трансреактора, который состоит из двух ярем (1), между которыми располагаются три стержня (5). На каждом стержне находятся две части основной первичной обмотки (3), две части основной вторичной обмотки (2) и дополнительная вторичная обмотка (4), которая в обмоточном окне охвачена скобообразным магнитным шунтом (7), совмещенным с индуктором. Обмотки подмаг-

ничивания (б) всех трех фаз предполагается соединять последовательно и питать от источника постоянного тока. Для замыкания магнитного потока подмагничивания используется призма (8) из ферромагнитного материала. Во избежание протекания тока в обмотке подмагничивания от высших гармоник, кратных трем, можно разместить компенсационные обмотки на индукторах шунтов, замкнутые в треугольник. Основные и дополнительная вторичные обмотки соединяются последовательно и замыкаются накоротко. При отсутствии подмагничивания дополнительную вторичную обмотку будет пронизывать лишь незначительная часть магнитного потока первичной обмотки, большая часть которого будет ответвляться в шунт. В результате ток в первичной обмотке будет минимальный. При увеличении тока подмагничивания магнитное сопротивление шунта будет увеличиваться, что приведет к возрастанию части магнитного потока, пронизывающей дополнительную вторичную обмотку, а значит, и к увеличению тока первичной обмотки реактора.

Рассмотрим схему замещения магнитной цепи данного трансреактора (рис. 3б). Здесь приняты следующие обозначения: R_1 – магнитное сопротивление участка стержня, на котором находится дополнительная вторичная обмотка; R_2 – магнитное сопротивление участка стержня, на котором находится половина основных обмоток; R_3 – магнитное сопротивление участка ярма между двумя соседними стержнями; R_4 – магнитное сопротивление шунта; F_{1A} , F_{1B} , F_{1C} – намагничивающие силы первичных обмоток; F_{21A} , F_{21B} , F_{21C} – намагничивающие силы основных вторичных обмоток; F_{22A} , F_{22B} , F_{22C} – намагничивающие силы дополнительных вторичных обмоток; Φ_{1A} , Φ_{1C} – магнитные потоки в стержнях первичных обмоток; Φ_{2A} , Φ_{2C} – магнитные потоки в стержнях дополнительных вторичных обмоток.

Полагая, что намагничивающие силы разных фаз образуют трехфазные симметричные системы ($F_{xyA} + F_{xyB} + F_{xyC} = 0$), можно легко получить следующие соотношения:

$$\Phi_{2A} = \frac{2/3 R_4 \Phi_{1A} + F_{22A}}{2/3 R_4 + R_1}; \quad (4)$$

$$F_{1A} = F_{21A} + \frac{\Phi_{2A} R_4 - \Phi_{1A} (3 R_2 + R_3 + R_4)}{3} \quad (5)$$

Заданным параметром изначально можно считать магнитный поток Φ_{1A} , так как он определяется поданным напряжением на первичную обмотку. Магнитный поток Φ_{2A} можно выразить через поток Φ_{1A} , если пренебречь активным сопротивлением вторичных обмоток и предположить, что установившийся режим в первом приближении наступит при взаимной компенсации электродвижущих сил, которые будут наводиться в основной и дополнительной вторичных обмотках:

$$(1-x)\Phi_{1A} = x\Phi_{2A}; \quad \Phi_{2A} = (1-x)\Phi_{1A}/x \quad (6)$$

Так как через основную и дополнительную вторичные обмотки протекает один и тот же ток, соотношение их намагничивающих сил можно также выразить через соотношение количества витков в них:

$$F_{21A}/F_{22A} = -(1-x)/(2x) \quad (7)$$

Знак «минус» в формуле 7 вытекает из встречного включения основных и дополнительной вторичных обмоток, в то время как F_{22A} и F_{21A} на рис. 3 направлены согласно.

Совместно решая уравнения 4–7, можно выразить намагничивающие силы F_{22A} и F_{1A} через магнитный поток Φ_{1A} :

$$F_{22A} = \Phi_{1A} \left[R_4 \frac{2(1-2x)}{3x} + R_1 \frac{1-x}{3x} \right];$$

$$F_{1A} = -\Phi_{1A} \left[R_4 \frac{(1-2x)^2}{3x^2} + R_1 \frac{(1-x)^2}{2x^2} + \frac{3R_2 + R_3}{3} \right].$$

Как можно видеть из полученных зависимостей, F_{1A} изменяется пропорционально магнитному сопротивлению шунта R_4 и имеет сложную зависимость от параметра x . При изменении x в пределах от 0 до 0,5 множитель при R_4 изменяется от ∞ до 0. Дальнейшее увеличение параметра x от 0,5 до 1 приводит к незначительному монотонному росту множителя, максимальное значение которого в указанном диапазоне равно 0,33. Это же значение множителя достигается при $x = 0,33$, из чего можно сделать вывод о нецелесообразности применения параметра x более 0,33.

Очевидно, что полученные зависимости подтверждают возможность регулирования реактивной мощности реактора предложенной конструкции путем изменения сопротивления магнитного шунта R_4 поперечным подмагничиванием. Однако в связи с неучетом потоков рассеяния обмоток и их активных сопротивлений, а также нелинейности сопротивления R_4 , реальные соотношения рассмотренных параметров будут иметь несколько иные количественные показатели, хоть и сохраняют качественную картину.

Выводы. 1. Предложена концепция управляемого реактора трансформаторного типа, в котором изменяется реактивная мощность за счет изменения коэффициента взаимной индукции между основными и дополнительной вторичными обмотками. При этом основная и дополнительная вторичные обмотки соединяются последовательно и замыкаются накоротко. 2. Анализ упрощенной электрической схемы замещения позволил получить зависимость тока реактора от коэффициента электромагнитного рассеивания между дополнительной вторичной обмоткой и основными обмотками, обусловленную действием магнитного шунта. Показана возможность регулирования с кратностью до 5 единиц. 3. Предложена конструкция трехфазного реактора с аксиальным симметричным трехстержневым магнитопроводом, в котором основные обмотки разделены на две части и располагаются по краям стержня, а дополнительная вторичная обмотка располагается посередине стержня и отделяется от основных обмоток магнитным шунтом, который подмагничивается в поперечном направлении. 4. Анализ схемы замещения магнитной цепи реактора предложенной конструкции позволил получить зависимость тока первичной обмотки реактора от магнитного сопротивления шунта и от параметра x (доли витков дополнительной в общей вторичной обмотке). 5. Показано, что целесообразно параметр x принимать в диапазоне 0,2...0,3 единицы.

Список литературы:

1. Дмитриев М.В., Карпов А.С., Шескин Е.Б., Долгополов А.Г., Кондратенко Д.В. Управляемые подмагничиванием шунтирующие реакторы; под ред. Г.А. Евдокунина. СПб.: Родная Ладога, 2013. 280 с.
2. Торопцев Н.Д. Асинхронные генераторы для автономных электроэнергетических установок. М.: НТФ «Энергопрогресс», 2004. 88 с.
3. Соколов С.Е., Долгополов А.Г. Управляемые реакторы. Обзор технологий. Информационно-справочное издание «Новости электротехники». СПб, 2012. Вип. 3 (75). С. 18–22.
4. Цыганов С.И., Кондратенко Д.В. Управляемые подмагничиванием шунтирующие реакторы как средство повышения эффективности работы электроэнергетических систем. ЭЛЕКТРО. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. М.: Электрозавод, 2008. № 1. С. 28–32.
5. Электричний реактор з підмагнічуванням: пат. 104244 Україна: МПК H01F 27/26, H01F 29/14. № а201213911; заявл. 18.02.2011 г.; опубл. 10.01.2014 г., Бюл. № 1. 9 с.
6. Брянцев А.М. Управляемые подмагничиванием электрические реакторы. Сборник статей / Под редакцией докт. техн. наук, профессора А.М. Брянцева. М.: Знак, 2010. 288 с.
7. Ставинский А.А., Новогрецкий С.М., Прудников А.А. Трехфазный реактор с радиальным магнитопроводом, управляемый поперечным подмагничиванием ярма. Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал. Кременчук, КрНУ, 2016. Вип. 2/2016 (34). С. 71–77.
8. Электромагнитная система с регулированием подмагничивания: пат. 70866 Україна: МПК H01F 29/00. № 20031213110; заявл. 30.12.2003 г.; опубл. 15.10.2004 г., Бюл. № 10. 3 с.
9. Ставинский А.А., Ставинский Р.А., Платирь О.О. Способы обеспечения специальных требований к силовому электрооборудованию на основе трансформаторов и трансформаторных преобразователей с пространственной структурой активной части. Електротехніка і електромеханіка. Харків: НТУ ХПІ, 2005. Вип. 4. С. 30–36.
10. Александров Г.Н., Лунин В.П. Управляемые реакторы. СПб.: Третье издание Центра подготовки кадров энергетики, 2005. 200 с.

**РЕАКТОР ТРАНСФОРМАТОРНОГО ТИПУ
ЗІ ЗМІНОЮ КОЕФІЦІЄНТА ВЗАЄМОІНДУКЦІЇ МІЖ ОБМОТКАМИ**

Розглянуто реактор трансформаторного типу, у якому регулювання струму в первинній обмотці здійснюється за допомогою зменшення коефіцієнта взаємодукації між окремими частинами вторинної обмотки. Аналіз електричної схеми заміщення реактора показав можливість регулювання струму первинної обмотки з кратністю, що дорівнює п'яти. Запропонована конструкція реактора з аксіальним симетричним тристрижневим магнітопроводом, у якому частини вторинних обмоток електрично з'єднані послідовно, замкнуті накоротко й відокремлені одна від одної в просторі магнітним шунтом, що регулюється поперечним підмагнічуванням. Розглянуто схему заміщення магнітного кола реактора запропонованої конструкції. Показано, що намагнічуюча сила первинної обмотки прямо пропорційно залежить від магнітного опору шунта.

Ключові слова: реактор, намагнічуюча сила, магнітний шунт, поперечне підмагнічування, кратність регулювання.

**THE TRANSFORMER TYPE REACTOR
WITH CHANGING MUTUAL INDUCTION COEFFICIENT BETWEEN WINDINGS**

The transformer type reactor in which the primary winding current regulation is carried out by reducing the mutual induction coefficient between the individual parts of the secondary winding is considered. The analysis of the reactor electrical equivalent scheme showed the regulating possibility of the primary winding current with a multiplicity of five. The reactor design with an axial symmetrical three-limb core with the secondary windings parts electrically connected in series, short-circuited and separated from each other by a magnetic shunt controlled by transverse bias is proposed. The equivalent scheme of the proposed construction reactor magnetic circuit is considered. It is shown that the primary winding magnetizing force is proportional to the shunt magnetic resistance.

Key words: reactor, magnetizing force, magnetic shunt, transverse bias, regulation multiplicity.

ПРИЛАДИ

УДК 621.38

Батурін А.П.

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

Терещенко М.Ф.

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

ВПЛИВ УЛЬТРАЗВУКУ НА РЕОГРАФІЧНІ ПОКАЗНИКИ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН ПІД ЧАС ФІЗІОТЕРАПЕВТИЧНИХ ПРОЦЕДУР

У статті досліджується розробка оптимальних способів та засобів реографії за умов дії зовнішніх чинників на біологічний об'єкт (ультразвуку, магнітного поля). Розглядається огляд та аналіз сучасних методів і засобів, реографія. Створення перспективних напрямів розвитку світової реографії. Дослідження методів і засобів експрес-реєстрації периферичного кровотоку реографії. Експериментальні дослідження та реєстрація змін до реограми кінцівок або певної зони БТ під впливом зовнішніх факторів (ультразвук, магнітне поле). Розробка та дослідження перспективних високоточний метод периферичного кровотоку реографія, розробка дослідного зразка портативного реографа.

Ключові слова: ультразвук, реографія, імпедансна плетизмографія, тетраполярна методика, дикротична хвиля.

Постановка проблеми. За кількістю смертей у світі впевнено лідирують захворювання серця та кровоносної системи. Поширеність серцево-судинних захворювань визначає актуальність розроблення нових і ефективних комп'ютерних технологій для діагностики, лікування і прогнозування, тобто для оцінки функціонального стану системної гемодинаміки і рідких середовищ організму. Тому розробка нових методів досліджень, що забезпечують ефективну діагностику функціонального стану серцево-судинної системи, є крайнє актуальною і полягає в пошуку доступних для широкого застосування нових методів і показників кількісного визначення інтенсивності кровопостачання [1]. Натепер функціональна діагностика використовує прямі та непрямі методи оцінки стану серцево-судинної системи [1].

Реографія аорти і легеневої артерії широко використовується в клінічній практиці для кількісного аналізу значень параметрів правого і лівого шлуночків серця, який оцінює скоротливу функцію міокарда [1]. Збільшений інтерес фізіологів і лікарів до непрямих методів дослідження кровонаповнення органів людини

свідчить про актуальність реографії. Але на достовірність отриманих реограм впливає дія зовнішніх факторів, зокрема температура середовища, електромагнітні поля та акустичні коливання.

Оцінці впливу на дійсні значення отриманих реограм у середовищі дії ультразвукових коливань присвячена ця робота.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Процесом визначення пульсових коливань кровонаповнення судин різних органів і тканин, заснований на графічній реєстрації змін повного електричного опору тканин досліджували наукові школи США, Європейського Союзу, України, Росії, Білорусії та такі дослідники, як А.А. Кедрів, М.М. Савицький, А.І. Науменко, В.В. Скотарів, Х.Х. Яруллин, Г.І. Енін, Б.І. Биск, Ю.Т. Пушкар, Л.Г. Терехова, М.І. Тищенко, М.А. Осколкова, М.А. Ронкін, Л.Б. Іванов, В.А. Макаров, С.Ю. Єрмолов, Б.С. Агте і багато ін. [1; 2; 3; 4].

Натепер різні варіанти реографічних методів знайшли застосування для оцінки стану периферичного кровообігу в головному мозку, хребті, кінцівках, легких, а також в органах репродуктивної і видільної систем. Особлива галузь реографії

пов'язана з її застосуванням для визначення складу тіла людини, про що вичерпно викладено в монографії Д.В. Миколаєва і співавт. [5].

Постановка завдання. Сьогодні використовується велика кількість методик, щоб забезпечити ефективну діагностику функціонального стану серцево-судинної системи. Перспективним напрямом є розробка оптимальних способів та засобів реографії під час дії зовнішніх чинників (ультразвуку, магнітного поля). Ефективність такого підходу була показана попередніми дослідниками, але системи ще знаходяться не на належному рівні розвитку, розробці й дослідженню приділено недостатньо уваги, що потребує подальших теоретичних і експериментальних досліджень.

Тому завдання роботи – оцінити реографічні показники під дією зовнішніх чинників (ультразвуку, магнітного поля).

Виклад основного матеріалу дослідження. Метод реографії забезпечує можливість вивчення гемодинаміки будь-якого органу, доступного дослідженню, і ділянки кінцівки. Реографія дозволяє дати характеристику артеріального кровонаповнення, стану тонуусу артеріальних судин, венозного відтоку, колатерального кровообігу, мікроциркуляції. Реографічна методика дозволяє визначити величини ударного і хвилинного обсягів кровообігу. За умов синхронного запису ЕКГ, ФКГ і реограми аорти або легеневої артерії можна отримати інформацію про скорочувальну здатність міокарда лівого і правого шлуночків. Використовуючи багатоканальний реограф і проводячи одночасно запис реограм різних ділянок тіла, можна судити про перерозподіл крові в момент дослідження [5].

До сьогоднішнього дня склалася більш-менш визнана методика проведення реографічних досліджень і структура описової частини висновку [5], що включає оцінку рівня кровонаповнення судин досліджуваного регіону, оцінку тонуусу на рівні артерій розподілу й артерій опору, оцінку еластичності судин, рівня периферичного опору, стану венозного відтоку і т.д.

Оцінка рівня кровонаповнення судинного русла

Для оцінки рівня кровонаповнення використовується амплітуда реосигнала.

Для більш предметного подальшого розгляду зупинимось коротко на найпростішій моделі ділянки тіла, наприклад, верхньої кінцівки у поздовжній реографії.

Уявімо найпростішу модель ділянки тіла у вигляді чотирьох паралельно з'єднаних резисторів,

один із яких моделює опір магістральних артерій за умов діастолічного тиску P_d .

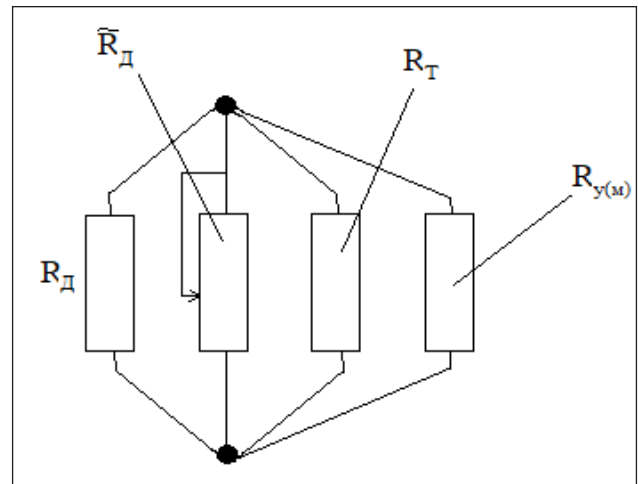


Рис. 1. Модель ділянки тіла людини

$R_A = p_k \frac{L_A}{S_A}$, де p_k – питомий опір крові, L_A – довжина ділянки тіла між потенціальними електродами, S_A – площа поперечного перерізу артерій, $R_{y(m)}$ – опір, що виникає в результаті дії ультразвукових чи магнітних полів.

У такій моделі амплітуда реографічного сигналу буде дорівнювати різниці результуючому опору (тобто опір чотирьох паралельно з'єднаних резисторів) при тиску діастолічному P_d і результуючий опір при тиску P_c .

$$\delta R_{A \max} = ((R_d - R_c) \cdot k_{\text{енл}}) = \left(\frac{p_T^2 L_A \delta S_{A \max}}{p_k S_T^2} \right) \cdot k_{\text{енл}} \quad (1)$$

Як бачимо, амплітуда реосигнала визначається величиною максимальної зміни поперечного перетину артерії $\delta S_{(A \max)}$, тобто кровонаповнення, але, крім цього, вона залежить від відстані між потенціальними електродами L_A , еластичності й тонуусу артерії (оскільки $\delta S_{(A \max)}$ залежить від еластичності і тонуусу також), залежить від квадрату поперечного перерізу тіла S_T^2 , залежить від серцевого викиду і від коефіцієнта впливу ультразвуку чи магнітного поля $k_{\text{енл}}$. Зауважимо, що під час уведення норм ніхто з розглянутих нами авторів не аналізує значень усіх цих параметрів. Зрозуміло, що в цих умовах норми можуть бути самими різними і корисність використання такого параметра, як амплітуда реосигнала для оцінки кровонаповнення досить сумнівна.

Спробуємо отримати параметр придатний для оцінки кровообігу шляхом поступового виключення впливу «зайвих» змінних. Від параметра $\delta R_{(A \max)}$ перейдемо до параметру $\delta S_{(A \max)}$ – максимальній зміні площі поперечного перерізу судини під впливом пульсової хвилі.

$$\delta S_{A \max} = \frac{p_k L_A \delta R_{\max}}{R_{zA}^2} \quad (2)$$

L_A – відстань між потенційними електродами;
 R_{zA} – базовий опір.

Зважаючи на обчислення $\delta S_{(A \max)}$ конкретне, вимірювання відстаней між електродами L_A і величину базового опору R_{zA} , ми відразу ж обмежили вплив двох змінних, тобто врахували геометрію накладення электродів і опір тканин в оточенні.

Параметр $\delta S_{(A \max)}$ можна використовувати для оцінки абсолютного кровонаповнення артерій розподілу досліджуваної галузі. Він буде змінюватися зі зміною величини серцевого викиду і тонуусу судин, тому що зміна тонуусу буде приводити до перерозподілу серцевого викиду між окремими аспектами судинної системи і зміни ступеня розкриття судин, але $\delta S_{(A \max)}$ буде відображати реальну кількість крові, що потрапила в артерії розподілу досліджуваної галузі.

На жаль, цей параметр теж важко нормувати, тому що його нормальна величина буде залежати від конкретного місця накладення электродів, тобто від конкретної судинної області, від величини серцевого викиду.

Більш легко піддається нормуванню параметр

$$\frac{\delta S_{A \max}}{S_T},$$

де S_T – площа поперечного перерізу тіла в місці накладення электродів

$$\frac{\delta S_{A \max}}{S_T} = \frac{\delta R_{A \max}}{R_{zA}} \cdot k_{\text{впл}}, \quad (3)$$

Очевидно, що кровопостачання регіону має визначатися масою тканин цього регіону, тому тиск $\delta S_{A \max}$ на S_T можна розглядати спробою приведення $\delta S_{A \max}$ до якогось стандарту для зменшення залежності від конкретної області установки электродів, $k_{\text{впл}}$ – коефіцієнт впливу ультразвуку чи магнітного поля.

Певно, цей параметр можна цілком використовувати в реовазографії для оцінки кровонаповнення кінцівок, його використовували Kunert! (1961) і Lifshitz (1970), а й в ньому залишається залежність від величини серцевого викиду.

Для усунення залежності від величини серцевого викиду перейдемо до параметру $\frac{\delta S_{A \max}}{\delta S_{O \max}}$,

де $\delta S_{O \max}$ – максимальна зміна площі поперечного перерізу аорти під впливом пульсової хвилі

$$\frac{\delta S_{A \max}}{\delta S_{O \max}} = \frac{p_k \delta R_{A \max} L_A R_{zO}^2}{R_{zA}^2 p_k \delta R_{O \max} L_O} = \frac{L_A \delta R_{A \max} R_{zO}^2}{L_O \delta R_{O \max} R_{zA}^2} \quad (4)$$

L_O – відстань між потенційними електродами під час реографічного дослідження аорти;

$R_{O \max}$ – амплітуда реохвилі аорти;

R_{zO} – базовий опір, отриманий під час дослідження аорти.

Еластичність і тонуус судин

Наступні параметри, які визначаються за стандартною методикою дослідження, це еластичність і тонуус судин різного рівня.

Л.Б. Іванов цілком справедливо пише про складність розмежування цих двох характеристик судин [1], але нам здається, що було б корисно все-таки визначати еластичність і тонуус, оскільки еластичність визначає ступінь збереження властивостей стінок судин, а тонуус – функціональний стан судинного русла в цей момент і в даних умовах.

Периферичний опір

Розглянемо найпростішу модель досліджуваної ділянки судинної системи, в якій еластичні властивості великої артерії відобразимо у вигляді деякої ємності C_1 , інерційність маси крові між артерією, а також середніми і дрібними артеріями представимо у вигляді індуктивності L_{KP} , еластичні властивості середніх і дрібних артерій – у вигляді ємності C_2 і, нарешті, периферичний опір – у вигляді деякого активного опору $R_{\text{неп}}$.

Як було зазначено вище, тиск в артерії можна записати у вигляді $P_A(t) = K \delta R_A(t)$, де $\delta R_A(t)$ – реосигнал;

$$K = \frac{P_C - P_D}{\delta R_{A \max}} - \text{коефіцієнт перетворення } \delta R_A(t) \text{ в } P_A(t)$$

Струм на ділянці артерія – середні й малі артерії позначимо $I(t)$, тиск в місці середніх і дрібних артерій позначимо $P_{MA}(t)$ і струм через периферію – $I_{\text{неп}}(t)$.

Можна записати, що:

$$P_{MA}(t) = P_D + P_A(t) - L_{KP} I'(t) \quad (5)$$

$$I_{\text{неп}}(t) = \frac{P_{MA}(t)}{R_{\text{неп}}} \quad (6)$$

$$\int_0^T I_{\text{неп}}(t) dt = \frac{P_D T + K \int_0^T \delta R_A(t) dt}{R_{\text{неп}}} = \text{СОК}, \text{ де} \quad (7)$$

СОК – систолічний обсяг кровотоку за період T , звідки

$$R_{\text{неп}} = \frac{P_D T + K \int_0^T \delta R_A(t) dt}{\text{СОК}} \quad (8)$$

Для визначення СОК можна використовувати або методику стискання вени і оцінки приросту кровонаповнення вени за період, або спільне оброблення реосигналів досліджуваної артерії й аорти.

У першому випадку для визначення СОК скористаємося співвідношенням:

$$\text{СОК} = y \frac{p_k L^2 \delta R_{\text{СОК}}}{R^2} \cdot k_{\text{впл}}, \text{ де} \quad (9)$$

L – відстань між потенційними електродами;

$\delta R_{\text{СОК}}$ – приріст опору між потенційними електродами у перетиснутій вені за період;

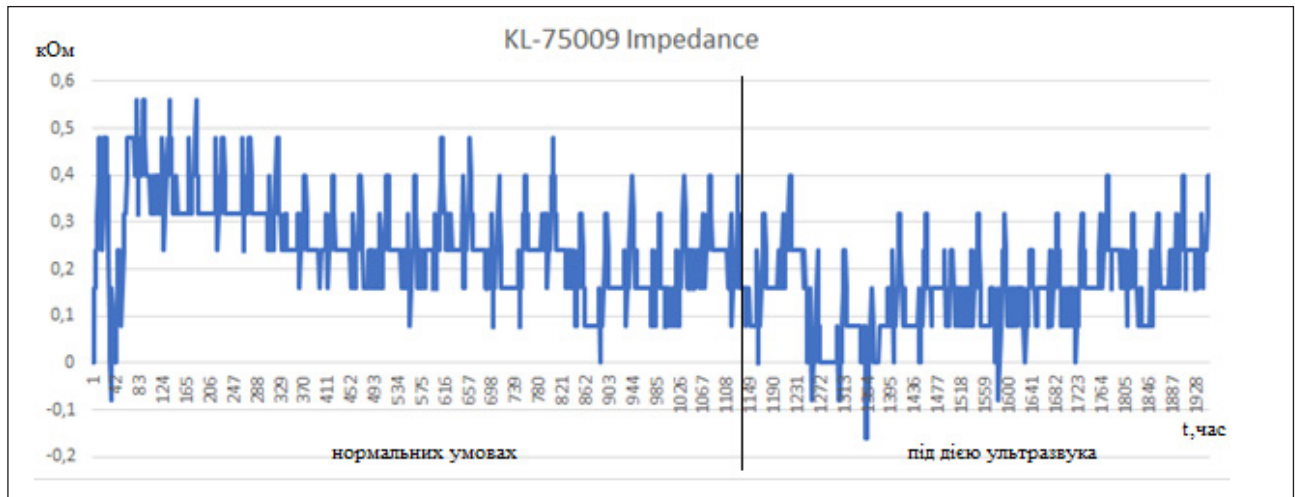


Рис. 2 Результати реограми

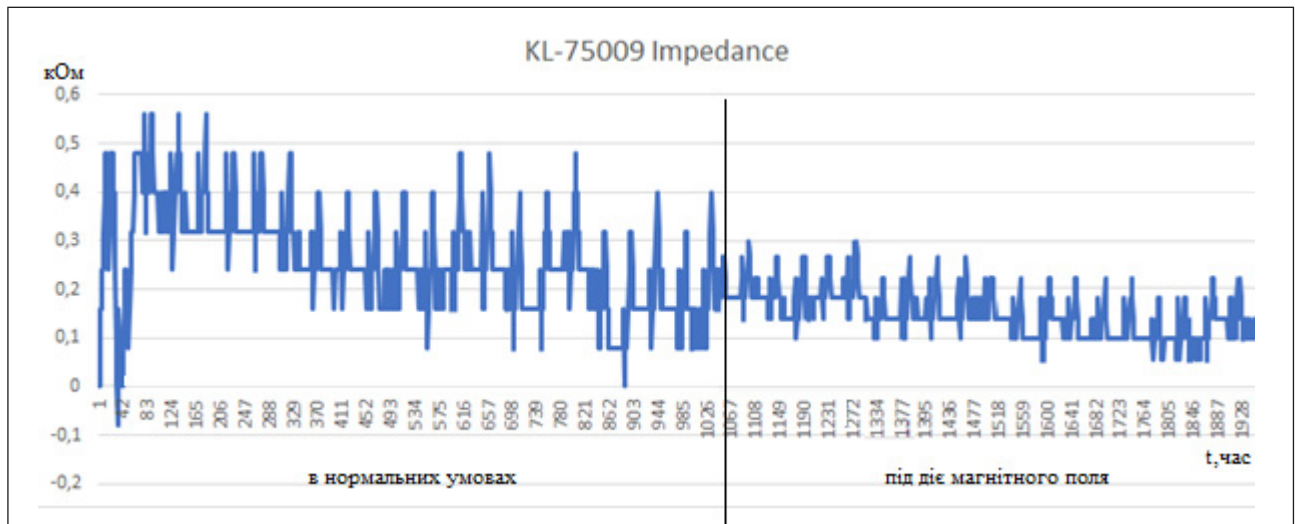


Рис. 3 Результати реограми

$R_{сА}$ – базовий опір відповідного моменту визначення значення $\delta R_{сок}$;

y – коефіцієнт, що враховує співвідношення повного обсягу досліджуваної ділянки судинної системи й обсягу між потенційними електродами;

$k_{впл}$ – коефіцієнт впливу ультразвуку чи магнітного поля .

Останнім часом у медицині все більше використовують фізіотерапевтичну дію, основану на використанні енергії ультразвуку [6].

Був проведений експеримент, коли під час зняття реограми у пацієнта на судини вливав ультразвук від 0,1 Вт / см² до 1,0 Вт / см². Експеримент показав, що при місцевій дії ультразвуку збільшується швидкість потоку крові, кровонаповнення органів, пульс. На рис. 2 показана реограма в нормальних умовах і реограма під впливом ультразвуку, видно тін зміну графіків в амплітуді, оскільки у впливі

ультразвуку кровонаповнення судин и органів зростає, а електроди реографа фіксують ці зміни, тому на реограмі видно, що амплітуда змінилась [7].

Реографічна крива складається з висхідної частини, вершини, низхідної частини, інцизури і дикротичної хвилі (рис. 2). Під час аналізу реограм ураховують якісні характеристики і кількісний показник. Якісні характеристики засновані на описі форми реографічної кривої і вимірі її амплітудних і часових відрізків. Кількісний показник реограм визначають під час використання тетраполярної методики на підставі розрахунку пульсового обсягу кровотоку в тканинах [8].

Експеримент показав, що при місцевій дії магнітного поля (до 30 мТл, 10–20 хв, 6–8 процедур) тиск крові в системі глибоких і підшкірних вен кінцівок пацієнта знижувалися

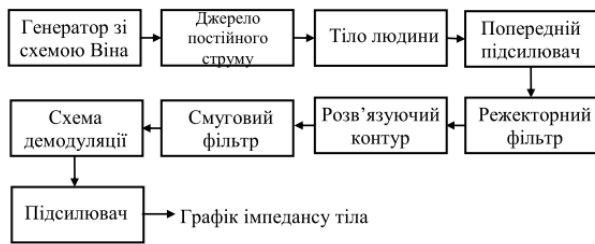


Рис. 4 Блок-схема вимірювання опору тіла

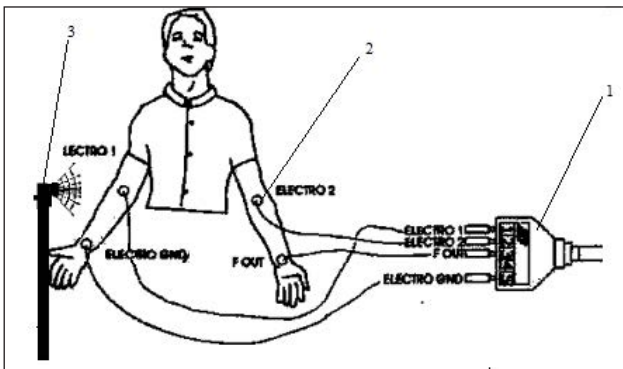


Рис. 5. Схема розташування електродів (1–5 – провідниковий кабель KL-79101, 2 – електроди, що накладаються на поверхню тіла, 3 – ультразвуковий випромінювач)

на 11–17%, а в артеріях – на 6% щодо вихідного рівня. При цьому спостерігалось підвищення тонуусу стінок артерії і збільшувалось кровонаповнення судин кінцівок, указува- досліджено вплив УЗ на зміну реограми.

лося також на зміну пружно еластичних властивостей електричного опору кровоносних судин в області впливу магнітним полем на тлі зниження електричного опору інших тканин [9]. На рис. 3 показана реограма в нормальних умовах і реограма під впливом магнітного поля, плмітна зміна графіків в амплітуді, оскільки у впливі магнітного поля кровонаповнення судин й органів зростає, електроди реографа фіксують ці зміни і на реограмі видно, що амплітуда зменшилась.

На основі проведених експериментів виміру опору кровотоку ділянки руки встановлено, що під впливом ультразвуку і магнітного поля значення опору зменшились (порівняно з вимірами без зовнішнього впливу), що показано на графіках.

Висновки. Сьогодні реографія – сучасний неінвазивний метод діагностування кровотоку в певних тканинах, конкретних органах або всього організму в цілому. У цій роботі розглянуто те, що таке реографія, актуальність, історія виникнення, перспективи методу, завдання методу, класифікація методів реографії, а також екскременти, зокрема вплив ультразвуку і магнітного поля на зміну реограми. Під час виконання роботи ми переконалися, що УЗ і МП впливає на результати дослідження діагностування кровотоку. Також проведено експеримент у лабораторії кафедри виробництво приладів,

Список літератури:

1. Ронкін М.А., Іванов Л.Б. Реографія в клінічній практиці. Москва 1997. 250 с.
2. Яруллин Х.Х. Клінічна реоенцефалографія. Реографічні установки: монографія. 1967. С. 254–276.
3. Науменко О.І., Скотников В.В. Основи електроплетізографії. Харків, 1975. 214 с.
4. Каро К. Механіка кровообігу: монографія / за ред. Регірера С.А. і Хаютина В.М. Київ, 1981. 624 с.
5. Миколаїв Д.В., Смирнов А.В., Бобринський І.Г., Руднев С.Г. Біоімпедансний аналіз складу тіла людини. Вісник Науки. 2009. № 4. С. 34–37.
6. Терещенко М.Ф., Кирилова А.В. Дослідження впливу параметрів ультразвукового сигналу на біологічні структури. Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Приладобудування». 2011. Вип. 41. С. 152–161.
7. Терещенко М.Ф., Тимчик Г.С., Чухраєв М.В., Кравченко А.Ю. Ультразвукові фізіотерапевтичні апарати та пристрої. Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Приладобудування». 2018. Вип. 87. С. 212–223.
8. Терещенко М.Ф., Кирилова А.В. Принципи побудови сучасних ультразвукових терапевтичних апаратів. Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Приладобудування». 2010. Вип. 40. С. 137–145.
9. Кирилова А.В., Терещенко М.Ф., Тимчик Г.С., Рудик В.Ю. Алгоритм автоматизованого оцінювання впливу ультразвуку на біологічну тканину. Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Приладобудування». 2013. Вип. 5. С. 98–102.
10. Терещенко М.Ф., Кирилова А.В. Дослідження параметрів впливу ультразвукового сигналу на біологічні структури. Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Приладобудування». 2010. № 40. С. 137–145.

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКА НА РЕОГРАФИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ ПРИ ФИЗИОТЕРАПЕВТИЧЕСКИХ ПРОЦЕДУРАХ

В статье исследуется разработка оптимальных способов и средств реографии при воздействии внешних факторов на биологический объект (ультразвука, магнитного поля). Рассматривается обзор и анализ современных методов и средств, реография. Создание перспективных направлений развития

мировой реография. Исследование методов и средств экспресс-регистрация периферического кровотока реографии. Экспериментальные исследования и регистрация изменений в реограмма конечностей или определенной зоны БТ, под влиянием внешних факторов (ультразвук, магнитное поле). Разработка и исследование перспективных высокоточный метод периферического кровотока реография, разработка опытного образца портативного реографа.

Ключевые слова: *ультразвук, реография, импедансная плетизмография, тетраполярная методика, дикротична волна.*

INFLUENCE OF ULTRASOUND ON PEOPLE PERFORMANCE OF BIOLOGICAL TISSUE AT PHYSIOTHERAPEUTIC PROCEDURES

The article investigates the development of optimal methods and means of rheography under the influence of external factors on a biological object (ultrasound, magnetic field). The review and analysis of modern methods and means, rheography are considered. The creation of perspective directions of development of the world rheography. Research methods and tools Express check in peripheral blood rheography. Experimental studies and registration of changes in the rheogram of limbs or a certain zone of BT, under the influence of external factors (ultrasound, magnetic field). Development and research of advanced high-precision method of peripheral blood flow rheography, development of a prototype of a portable rheograph.

Key words: *ultrasound, rheography, impedance plethysmography, tetrapolar technique, mikrotechna wave.*

УДК 681.335

Дегтярук В.І.

Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова
Національної академії наук України

Будник М.М.

Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова
Національної академії наук України

Ходаковський М.І.

Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова
Національної академії наук України

Мудренко М.І.

Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова
Національної академії наук України

Мєшков В.В.

Науково-виробниче підприємство «Метекол»

РОЗРОБЛЕННЯ ФОТОМЕТРИЧНИХ ПРИЛАДІВ ДЛЯ ПУЛЬСОМЕТРІЇ

Наведено результати розроблення фотоплетизмографів – приладів для вимірювання сигналів пульсуючої артеріальної крові, тобто пульсової хвилі в різних ділянках тіла людини. Вимірювання проводиться неінвазивно за допомогою зондуючого пучка світла, без пошкодження шкіри та відбору крові. За допомогою комп'ютерного оброблення пристрій надає великий об'єм інформації про стан судин і рух крові в різних ділянках тіла. Модуль аналізу та розрахунку параметрів пульсових хвиль дозволяє виконувати функцію усереднення пульсового циклу. Прилад дозволяє без великих зусиль і витрат повернути ендотелій судин до здорового стану.

Ключові слова: фотоплетизмограф, пульсова хвиля, коефіцієнт оберненого світлорозсіювання, диференційна пульсографія, фотометрична система.

Постановка проблеми. Фотометричний метод реєстрації пульсових хвиль поєднує в собі всі переваги традиційних методів. Крім високої інформативності, він дозволяє виконувати дослідження протягом тривалого часу без впливу на перебіг досліджуваних процесів. Це дає можливість аналізувати досить тривалі відрізки записів пульсу, що дозволяє відслідковувати та давати цифрову чи кількісну оцінку окремих компонентів пульсових кривих, які мають самостійний характер, і за аналогією з ритмологічним підходом до динаміки серцевої діяльності [1; 2] з'являється можливість визначити вплив нервової та гуморальної регуляції на скорочувальну активність як судинної системи, так і серця. Аналіз повільних процесів у серцево-судинній системі може дати можливість виявити динаміку, яка пов'язана зі збудженням вазомоторного центру в центральній нервовій системі, гуморальний і метаболічний вплив на клітини гладких м'язів судинних стінок, які дуже чутливі до нього. Ще один надзвичайно

важливий аспект таких досліджень – оцінка функції ендотелію судин. Нещодавно вчені прийшли до висновку, що ендотеліальна дисфункція – одне з перших свідчень захворювання серцево-судинної системи, яке визначається клінічно і є його предиктором за кілька років до проявів захворювання. Ендотеліальна дисфункція вражає майже 50% людей віком за 40 років. Але рання діагностика цієї патології дозволяє без великих зусиль і витрат повернути ендотелій судин до здорового стану [3; 4].

Постановка завдання. Для одержання в повному об'ємі діагностичної інформації виникає необхідність оброблення й аналізу великих масивів даних. Це передбачає використання в складі фотометричних приладів сучасних засобів електронно-обчислювальної техніки, яка дозволить отримувати не тільки кількісні значення окремих параметрів, а й розпізнавати образи, що стосовно дослідження серцево-судинної системи дозволяє вирішити широке коло задач (від розпізнавання

окремих елементів кривих до постановки діагнозу).

Виклад основного матеріалу дослідження.
Призначення та принцип роботи приладу.
 Фотоплетизмограф – це медичний прилад, призначений для діагностики й локальної точкової реєстрації зміни оптичної густини досліджуваної ділянки тіла людини за допомогою двох монохроматичних джерел у червоних областях спектра світла й оптоелектричного перетворювача віддзеркаленого світла у відбитому світлі, розміщених з одного боку поверхні тіла людини. Такий прилад реєструє сигнали пульсуючої артеріальної крові, тобто пульсову хвилю, у різних ділянках тіла із записом даних у пам'ять персонального комп'ютера з подальшим обробленням результатів і візуалізацією в цифровій і графічній формах [5; 6]. Склад вимірювального модуля фотоплетизмографа поданий на рис. 1.

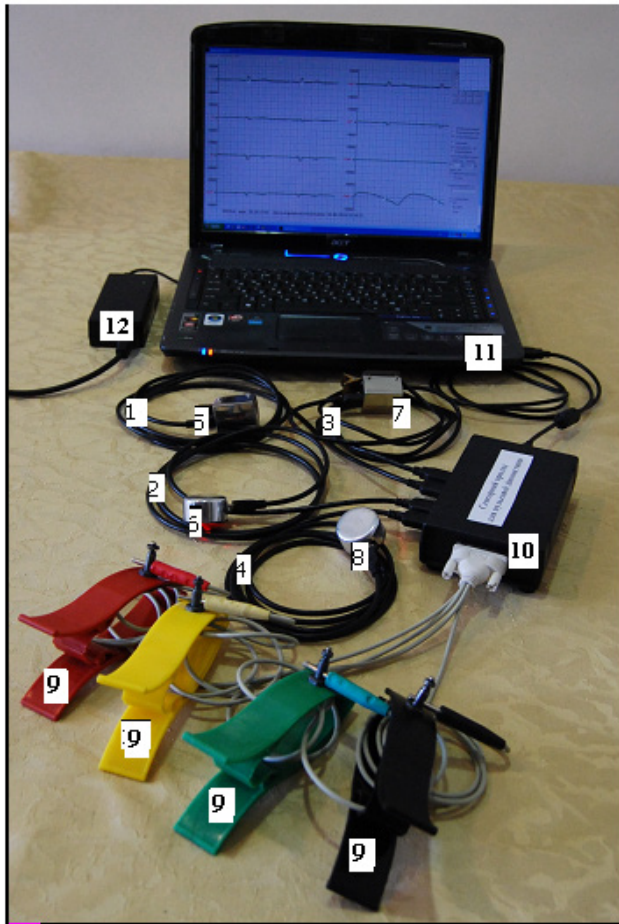


Рис. 1. Загальний вигляд фотоплетизмографа:
 1–4 – кабелі USB до оптичних головок;
 5–8 – оптичні головки; 9 – ЕКГ електроди;
 11 – ноутбук; 12 – адаптер живлення;
 10 – блок оброблення сигналів

Вимірювання проводять неінвазивно зонду-ючим пучком світла, без пошкодження шкіри та

відбору крові. Процес одержання інформаційного сигналу показаний на рис. 2.

Особливості пульсової хвилі в системі кровообігу полягають у тому, що порівняно із загальним кровонаповненням досліджуваної ділянки тіла вони мають надзвичайно малу амплітуду, і для того, щоб їх розрізнити, необхідно компенсувати постійну складову частину сигналу, яка може змінюватися залежно від багатьох факторів у дуже широких межах.

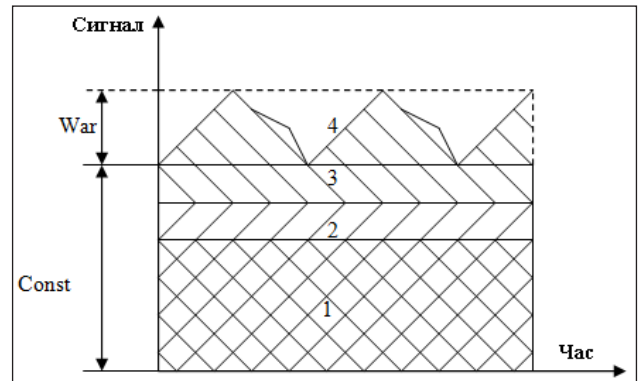


Рис. 2. Формування інформаційного сигналу:
 1 – компоненти біотканини пальця (епідерміс, дерма, жирова тканина, м'язова тканина, кісткова тканина); 2 – венозна кров; 3 – неппульсуюча артеріальна кров; 4 – пульсуюча артеріальна кров. Const – постійна складова частина кровонаповнення досліджуваної ділянки тіла; Var – змінна складова частина кровонаповнення

Пристрій може збиратися за багатоканальною схемою й дозволяє в реальному часі спостерігати перебіг пульсових хвиль як у кінцівках, так і в інших ділянках тіла. Два опромінювачі направляють світловий потік у досліджувану ділянку тіла. Частина світла розсіюється, частина – віддзеркалюється, частина – поглинається гемоглобіном крові. Зворотний потік світла, промодульований кровонаповненням, потрапляє на вхід оптоелектричного перетворювача, у якому відбувається підсилення сигналу, і на його виході формується електричний еквівалент кровонаповнення.

Фотоплетизмограф може виконувати операцію віднімання постійної складової частини (позначено “Const” на рис. 3) від суміші сигналів і виділяє змінну складову частину, яка використовується для одержання результату дослідження. Для виконання такого віднімання джерело випромінювання – червоний світлодіод – розташовується навпроти чутливого елемента оптико-електронного приладу (далі – ОЕП). На вхід еталонного джерела випромінювання подається струм, який забезпечує інтенсивність випромінювання, що відповідає середній величині кровонаповнення.

Віднімання постійної складової частини відбувається так. Аналоговий сигнал подається з виходу вихідного підсилювача за допомогою фільтра інфранизьких частот, який виділяє частину вхідного сигналу в червоній частині спектра. Таким чином на вхід вхідного підсилювача приходить сигнал, від якого віднімається змінний складник. Синхронне використання двох каналів дозволяє встановлювати амплітудні та фазові характеристики пульсових процесів, які відбуваються в різних ділянках тіла.

Оптичні головки дозволяють отримувати інформацію про перебіг пульсових процесів у різних ділянках тіла й виконати контурний аналіз пульсової хвилі. Набір оптичних головок дозволяє отримати інформацію з диференційної пульсографії, діагностики ендотеліальної дисфункції, визначення швидкості розповсюдження пульсових хвиль, ригідності судин, контурного аналізу пульсових хвиль. Для одержання інформаційного сигналу використовують чотири фотоплетизмографічні (далі – ФПГ) головки з чотирма оптичними каналами. Два сенсорних датчики одягаються на пальці рук, а інші два прикладаються до поверхні тіла пацієнта.

Будова та робота приладу. Фотоплетизмограф складається з блоку оброблення сигналів, джерела живлення, ноутбука, програмного забезпечення, ЕКГ кабелю, чотирьох оптичних головок, чотирьох ЕКГ електродів; блок-схема наведена на рис. 3.

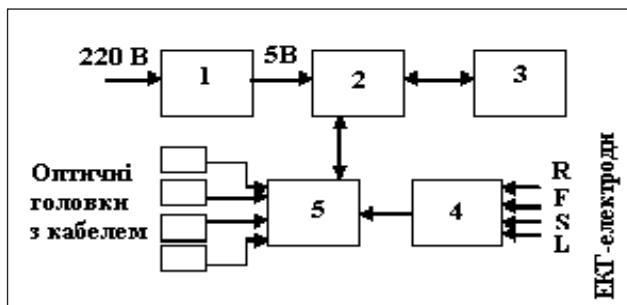


Рис. 3. Блок-схема фотоплетизмографа:
1 – джерело живлення; 2 – ноутбук;
3 – програмне забезпечення; 4 – ЕКГ кабель;
5 – блок оброблення сигналів

Сигнали, які надходять з оптичних головок і ЕКГ електродів, надходять для оброблення в блок обробки сигналів. На рис. 4 наведена блок-схема блоку обробки сигналів. Із ФПГ каналу напруга 5В подається в оптичну головку для живлення опромінювача. Опромінювач направляє світловий потік вибраної довжини хвилі в досліджувану ділянку тіла. Сигнали від ЕКГ модуля 9 і ФПГ модуля надходять у мультимікроскоп 9, де проходять обробку на мультимікроскопі 2, АЦП 3 і мікро-

процесорі 4. Із мікроконтролера 9 сигнал у цифровому вигляді через гальванічну розв'язку 5, роз'єм USB 7 надходить на оброблення в комп'ютер.

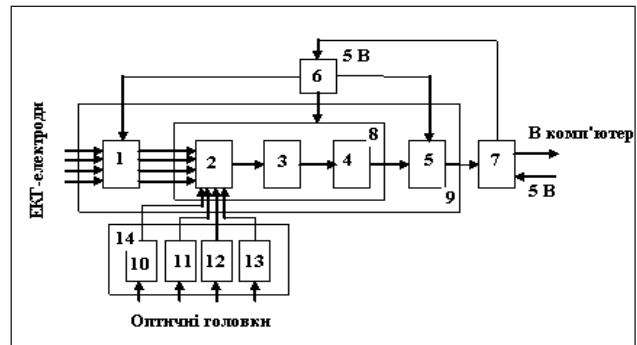


Рис. 4. Схема блоку оброблення сигналів:
1 – аналоговий інтерфейс ADAS 1000;
2 – мультимікроскоп; 3 – АЦП; 4 – мікропроцесор;
5 – гальванічна розв'язка AD M 4160;
6 – перетворювач напруги LP 2992; 7 – USB роз'єм;
8 – мікроконтролер ADUC 842 Analog Devices; 9 – ЕКГ модуль; 10–13 – ФПГ канали;
14 – ФПГ модуль

У мікроциркуляторних дослідженнях обираються ділянки, у яких відсутні великі судини (наприклад кінцеві фаланги пальців). Частина світла розсіюється, частина – віддзеркалюється, частина – поглинається гемоглобіном крові.

Зворотний потік світла потрапляє на вхід оптоелектричного перетворювача, і на його виході формується електричний еквівалент кровонаповнення. Опромінювач і оптоелектричний перетворювач розташовані в одному корпусі, який являє собою оптичну головку.

До складу ФПГ каналів входить вхідний підсилювач, фільтр низьких частот, вихідний підсилювач, фільтр інфранизьких частот, буферний підсилювач і балансувальний підсилювач. На рис. 5 наведена блок-схема ФПГ каналу.

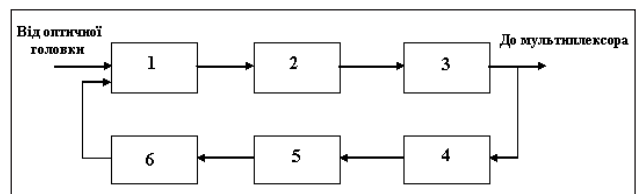


Рис. 5. Блок-схема ФПГ каналу:
1 – вхідний підсилювач; 2 – фільтр низьких частот;
3 – вихідний підсилювач; 4 – фільтр інфранизьких частот;
5 – буферний підсилювач;
6 – балансувальний підсилювач

Сигнал підсилюється вхідним підсилювачем 1 і потрапляє на фільтр нижніх частот 2, який обмежує спектр вихідного сигналу для зменшення рівня шумів, які супроводжують корисний

сигнал. Далі відфільтрований сигнал підсилюється до необхідного рівня вихідним підсилювачем 3 і передається на оброблення в комп'ютер. Аналоговий сигнал із виходу вихідного підсилювача 3 за допомогою фільтра інфранизких частот 4, який виділяє частину вхідного сигналу в червоній частині спектра, через буферний підсилювач 5 потрапляє на вхід балансувального підсилювача 6. Таким чином, на вхід вхідного підсилювача 1 приходиться сигнал, від якого віднімається змінна складова частина.

Синхронне використання двох каналів дозволяє встановлювати амплітудні та фазові характеристики пульсових процесів, які відбуваються в різних ділянках тіла. Після оброблення графік процесу та його цифрові параметри відображаються на моніторі й використовуються лікарем у якості діагностичної інформації.

Оптичні головки дозволяють отримувати інформацію про перебіг пульсових процесів у різних ділянках тіла й виконати контурний аналіз пульсової хвилі. Набір оптичних головок дозволяє отримати інформацію з диференційної пульсографії, діагностики ендотеліальної дисфункції, визначення швидкості розповсюдження пульсових хвиль, ригідності судин, контурного аналізу пульсових хвиль. На рис. 6 показаний принцип взаємодії оптичної головки з біооб'єктом.

Оптичні головки складаються з двох світлодіодів 630нм LUR 3333H Ligitek Electronics і оптоелектронного перетворювача – фотоприймача OPT 101 Texas Instruments. Опромінювач і ОЕП розташовані в одному корпусі головки. Два світлодіоди необхідні для отримання сигналу з досліджуваного об'єкта (палець або поверхня тіла людини), оскільки сигнал формується під час взаємодії червоного випромінювання з гемоглобіном шкіри людини.

Оптичні головки складаються з двох світлодіодів 630нм LUR 3333H Ligitek Electronics і оптоелектронного перетворювача – фотоприймача OPT 101 Texas Instruments. Опромінювач і ОЕП розташовані в одному корпусі головки. Два світлодіоди необхідні для отримання сигналу з досліджуваного об'єкта (палець або поверхня тіла людини), оскільки сигнал формується під час взаємодії червоного випромінювання з гемоглобіном шкіри людини.

Траєкторії проходження світла від світлодіодів зумовлені багатократними його розсіюваннями на

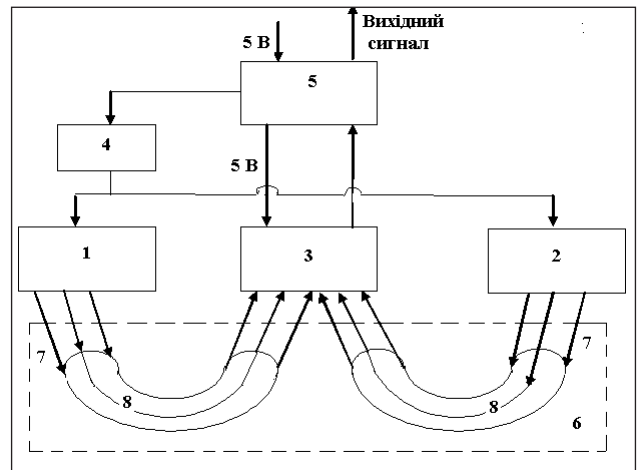


Рис. 6. Принцип взаємодії оптичної головки з біооб'єктом: 1, 2 – світлодіоди; 3 – оптоелектронний перетворювач OPT 101; 4 – вузол регулювання яскравості світлодіодів; 5 – роз'єм USB; 6 – досліджуваний об'єкт; 7 – промені світла від світлодіода; 8 – область дифузного розсіювання в біотканині

малі кути. Пучок найбільш імовірних траєкторій групується навколо траєкторії, близької до дуги кута, уздовж якої багатократні розсіювання відбуваються на однакові найменші можливі кути. Такий пучок траєкторій створює зону у формі банана [7].

Модуль аналізу та розрахунку параметрів пульсових хвиль дозволяє виконувати функцію усереднення пульсового циклу, автоматичне розміщення основних кодуєчих точок пульсової кривої, визначення частоти серцевих скорочень.

Висновки. Створено прилад фотоплетизмограф для дослідження пульсу пацієнта, зокрема в мікроциркуляторному руслі. Прилад виконує діагностику й точкову реєстрацію зміни оптичної густини крові досліджуваної ділянки тіла людини. Відфільтрований сигнал підсилюється до необхідного рівня вихідним підсилювачем і передається на оброблення в комп'ютер. За допомогою комп'ютерної обробки й програмного забезпечення пристрій надає великий об'єм інформації про стан судин і рух крові в різних ділянках тіла, що може бути використано для медичної діагностики. Під час виконання досліджень із розроблення фотоплетизмографа було виготовлено 10 дослідних зразків. Три зразки пройшли державну метрологічну атестацію. Два зразки проходять випробовування для отримання медичного сертифіката.

Список літератури:

1. Самойленко А.В., Орлов В.А. Использование вычислительных методов и моделирования при изучении сердечно-сосудистой системы. Методы исследования кровообращения. Л.: Наука. 1976. 270 с.

2. Дегтярук В.І. Пульсові процеси в серцево-судинній системі людини та їх використання для діагностики. Зб. наук. праць Ін-ту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України «Комп'ютерні засоби, мережі та системи». Київ, 2014, № 13. С. 43–52.
3. Дегтярук В.І., Будник М.М., Штефан І.В. Спосіб аналізу для неінвазивної діагностики системи кровообігу. Патент України на винахід UA 75040, опубл. 26.11.2012 г.
4. Дегтярук В.І., Будник М.М., Чайковський І.А. й ін. Спосіб реєстрації пульсових хвиль в організмі людини. Патент України на винахід UA 111744, опубл. 25.11.2016 г.
5. Ходаковський М.І., Будник М.М., Лебедева Т.С., Шпильовий П.Б., Мержвинський П.А., Дегтярук В.І., Риженко Т.М., Тимошенко Я.М., Грищенко Л.В., Расчектаєва А.І., Тимофєєв Є.П. Оптичні біомедичні прилади та їх метрологічне забезпечення. Тези X міжнародної науково-технічної конференції «Метрологія та вимірвальна техніка». 5–7 жовтня 2016 р. Ін-т метрології. Харків. 2016. С. 120.
6. Ходаковський М.І., Будник М.М., Лебедева Т.С., Шпильовий П.Б., Мержвинський П.А., Дегтярук В.І., Риженко Т.М., Тимошенко Я.М., Грищенко Л.В., Расчектаєва А.І., Тимофєєв Є.П. Забезпечення єдності вимірювань у біомедичних оптичних приладах. Метрологія та прилади. 2017, № 1. С. 25–36.
7. Войтович І.Д., Корсунський В.М. Інтелектуальні сенсори. Київ: Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України. 2007. 513 с.

РАЗРАБОТКА ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ ДЛЯ ПУЛЬСОМЕТРИИ

Приведены результаты разработки фотоплетизмографов – приборов для измерения сигналов пульсирующей артериальной крови, то есть пульсовой волны в различных участках тела человека. Измерение проводится неинвазивно с помощью зондирующего пучка света, без повреждения кожи и отбора крови. С помощью компьютерной обработки прибор предоставляет большой объем информации о состоянии сосудов и движении крови в различных участках тела. Модуль анализа и расчета параметров пульсовых волн позволяет выполнять функцию усреднения пульсового цикла. Прибор позволяет без больших усилий и затрат вернуть эндотелий сосудов в здоровое состояние.

Ключевые слова: фотоплетизмограф, пульсовая волна, коэффициент обратного светорассеяния, дифференциальная пульсография, фотометрическая система.

DEVELOPMENT OF PHOTOMETRIC DEVICES FOR PULSOMETRY

The results of development of the photoplethysmographs – devices for measuring signals from pulsed arterial blood, that is the heart pulse wave in different parts of the human body, are presented. Non-invasive measurement is performed based on test light beam, without damage to the skin and invasive blood test. Based on computer processing the device provides a large amount of information about the the state of vessels and blood flow in different parts of the body. The module for analysis and calculation of pulse wave parameters allows performing the function of averaging the pulse cycle. The device allows you to return the endothelium of the vessels to a healthy state without much effort and expense.

Key words: photoplethysmograph, heart pulse wave, inverse light scattering coefficient, differential pulsography, photometric system.

УДК 615.849.11

Плакса Д.В.

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

Терещенко М.Ф.

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

ОЦІНКА ВПЛИВУ НАДВИСОКОЧАСТОТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА БІОЛОГІЧНІ ТКАНИНИ

Проведено дослідження впливу електромагнітного надвисокочастотного (НЗВЧ) випромінювання міліметрового діапазону на біологічні тканини та оцінено його тепловий вплив. Виконано вимірювання інтенсивності НЗВЧ-випромінювання апарату «Поріг-3» у всіх режимах роботи. Встановлено відмінності впливу випромінювання залежно від виду біологічної тканини та параметрів навколишнього середовища. Визначено залежність зміни температури біологічного об'єкта від часу експозиції. Розроблена методика підбору оптимальних параметрів НЗВЧ-терапії. Отримано формули визначення дози та інтенсивності випромінювання з урахуванням температурних градієнтів середовища. Проведені порівняльні розрахунки. Встановлено та проаналізовано похибки значень дози та інтенсивності випромінювання. Обґрунтовано можливість зменшення доз опромінення без втрати лікувального ефекту.

Ключові слова: НЗВЧ-терапія, параметри випромінювання, тепловий вплив.

Постановка проблеми. Одним з основних завдань сучасної медицини є пошук засобу лікування, який має мінімальну кількість протипоказань і побічних ефектів та доволі широку область клінічного використання. Нині такі вимоги можуть забезпечуватись фізіотерапевтичними апаратами різного призначення, при чому як у режимі монотерапії, так і у комбінації з іншими апаратними і/чи фармакологічними засобами [1].

Широкого поширення набули радіофізичні методи впливу на біологічні об'єкти і системи з метою фізіологічної, імунної та психомоторної корекції процесів функціонування живих структур. Перспективним напрямом досліджень є розробка та вдосконалення апаратів, що базуються на низькоінтенсивній стимуляції електромагнітним випромінюванням міліметрового діапазону біологічної тканини [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За порівняно короткий термін існування методу міліметрової резонансної терапії (МРТ) у світі проведено багато досліджень у цій галузі та опубліковано наукових праць. У цих роботах порушувались питання ефективності лікування цим методом, пошук областей клінічного застосування, можливості поєднання МРТ з іншими видами фізіотерапії, такими як лазеротерапія, фоно- або ендоеміофорез [3; 4].

Також широкого поширення набули дослідження в області створення апаратів із біологіч-

ним зворотнім зв'язком. У таких апаратах лікар отримує інформацію про реакцію організму пацієнта на вплив міліметрового (ММ) випромінювання безпосередньо під час сеансу лікувальної процедури. У числі перших така ідеологія була застосована в апараті «Електроніка-КВЧ-ОС» [5].

Класичним напрямом є пошук нових терапевтичних резонансних частот, відмінних від трьох основних: 53,5 ГГц (довжина хвилі $\lambda=5,6$ мм), 42,2 ГГц ($\lambda=7,1$ мм), 61,2 ГГц ($\lambda=4,9$ мм) [6].

Досліджується питання оптимального підбору параметрів МРТ: терапевтичної частоти, зони впливу, час процедури, їх кількість, оптимальної терапевтичної дози, частоти модуляції [7].

Вчені-біофізики, фізіологи, лікарі продовжують науковий пошук, досліджуючи механізми біологічних ефектів і наближаються до дедалі більш повного розуміння ролі низькоінтенсивних ММ-випромінювань у процесах життєдіяльності біологічних систем різного рівня організму. Технічний прогрес сприяє мініатюризації апаратури і різноманітності сервісних функцій, що включають вибір частоти і виду модуляції, програмування сеансу користувачем і від ЕОМ, пристрої спряження з діагностичними комп'ютерними комплексами, індикатори працездатності і режимів, таймер, енергозберігаючі режими тощо [8].

Розробляються компактні переносні апарати з автономними джерелами живлення, зі спеціальними конічними насадками, що дають змогу кон-

центрувати випромінювання в області до кількох долей міліметрів, зі змінними насадками і спеціальними опромінюючими головками для використання апарату під час терапії широкого набору нозологій [9].

Постановка завдання. У зв'язку з індивідуальним характером чутливості людини до такого фізіотерапевтичного впливу для того щоб отримати максимальний лікувальний ефект та контролювати безпеку пацієнта, необхідно обрати оптимальні параметри впливу та проводити їх контроль, за необхідності – коригувати протягом тривалості процедури.

Міліметрові хвилі характеризуються невисокою проникністю (0,1–0,2 мм) у біологічні тканини та високим поглинанням у воді та середовищах, що її містять. Таке випромінювання має низку властивостей, які дають змогу його безпечно та ефективно використовувати з терапевтичною метою [10].

Встановлено, що НЗВЧ-випромінювання має пороговий характер стосовно зміни його потужності та часу випромінювання. У такому разі біологічний вплив випромінювання не змінюється при збільшенні густини потужності щодо встановленого порогового значення. При цьому враховується час випромінювання, адже час відклику для кожної частини біологічної тканини організму є різним [11].

Вагому дію на результат терапії мають параметри випромінювання: експозиція, довжина хвилі, локалізація, густина потоку потужності, довго тривалість курсу та початковий стан організму. Для досягнення найкращого ефекту при застосуванні цих методів терапії враховують взаємодію клітин із зовнішнім електромагнітним полем на частотах, однакових або кратних їх власним, для встановлення резонансного впливу на «хворі» клітини організму людини. Лікувальними та найбільш часто використовуваними частотами НЗВЧ-терапії вважають: 42,2 ГГц (довжина хвилі $\lambda=7,1$ мм), 53,5 ГГц ($\lambda=5,6$ мм) та 61,2 ГГц ($\lambda=4,9$ мм) та низку інших [12].

Тому задачею цієї роботи є експериментальне дослідження та оцінка впливу електромагнітних хвиль міліметрового діапазону на біологічні тканини, розробка математичної моделі підбору оптимальних параметрів терапії з метою максимізації лікувального ефекту та безпеки пацієнта.

Виклад основного матеріалу дослідження. Перед фізіотерапевтичною процедурою для апаратів МРТ встановлюють терапевтичну частоту, зону впливу, час процедури, кількість сеансів,

оптимальну терапевтичну дозу та частоту модуляції. Терапевтична частота обирається з низки рекомендованих для найбільш поширених захворювань чи патологій, але при цьому варіюється та уточнюється час впливу індивідуально, в процесі виконання самої процедури. Згідно з даними клінічних досліджень найбільший лікувальний ефект досягається в діапазоні частот 52–78 ГГц [13].

Зона впливу визначається після постановки діагнозу за допомогою пошукових електричних апаратів. Час процедури має тривати від 10–15 до 40–50 хвилин, але враховують, щоб одна зона опромінювалась не більше 10–15 хвилин. Кількість процедур у середньому становить від 7 до 14. Значення оптимальної терапевтичної дози визначається за формулою [13]:

$$D = kP_{\alpha} / (\gamma\eta S), \quad (1)$$

де D – оптимальна терапевтична доза, k – коефіцієнт поглинання середовища, в якому поширюється випромінювання, P – потужність падаючого випромінювання, t – час опромінення, α – коефіцієнт модуляції, γ – індивідуальна біологічна чутливість об'єкта, η – ступінь ураження хворої ділянки, S – площа зони впливу. Частота модуляції визначається згідно з частотами ритмічних процесів, що відбуваються в організмі людини [13].

Але ця формула неповною мірою характеризує процес дії НЗВЧ-випромінювання на біологічну тканину. Не враховані зміни температурних градієнтів навколишнього середовища ΔT_c . Таким чином, більш достовірна формула має вид:

$$D_1 = kP_{\alpha} \Delta T_c / (\gamma\eta S), \quad (2)$$

де ΔT_c – коефіцієнт, що враховує зміни температурного градієнту навколишнього середовища $\Delta T_c = T_1 - T_0$; T_0 , T_1 – температура на початку та по завершенню одного виміру в експерименті.

Проведені нами експериментальні дослідження показали, що результати опромінення відрізняються залежно від виду біологічної тканини та параметрів навколишнього середовища. Це означає, що коригування дози випромінювання, з огляду на зміни температурного градієнту навколишнього середовища ΔT_c , виправдано для оцінки запланованих доз і забезпечення достовірності лікувального ефекту. Проведене математичне моделювання визначення дози опромінення за формулами (1) та (2). Для визначення розбіжності результатів розрахунків за класичною формулою (1) та отриманою нами (2), що містить коефіцієнт врахування впливу градієнту температури навколишнього середовища, розраховано абсолютну Δ та порівняну δ похибки.

Параметри, що входять до обох формул, задані за методикою лікування НЗВЧ-випромінюванням трофічної виразки [14]. Як температурний градієнт середовища обраховано та встановлено $\Delta T_c = 1,2^\circ\text{C}$ – середня величина коливання температури у приміщенні для більшої наочності порівняння. Згідно з проведеними розрахунками при зміні температури середовища на $1,2^\circ\text{C}$ доза опромінення, визначена за формулою (2) щодо дози за (1), має абсолютну похибку $\Delta = 12,9$ Дж/мм² та порівняну $\delta = 17\%$, що означає змогу значно зменшити дозу опромінення без втрати лікувального ефекту.

У медичній практиці частіше використовують не значення оптимальної терапевтичної дози, а значення інтенсивності НЗВЧ-випромінювання, яку визначають за формулою Релея-Джинса [14]:

$$J_\omega = \frac{8\pi f^2}{c^2} \beta k T = \frac{8\pi}{\lambda^2} \beta k T, \quad (3)$$

де f – частота коливань, k – постійна Больцмана, T – термодинамічна температура тіла, c – швидкість світла, β – коефіцієнт випромінюючої здатності тіла, λ – довжина хвилі.

Оскільки на покази приладу для вимірювання температури біологічного зразка значним чином впливає температура навколишнього середовища, ці варіації необхідно врахувати при виконанні фізіотерапевтичних процедур чи моделюванні процесу змін інтенсивності НЗВЧ-випромінювання. Таким чином, з урахуванням температур $T_{\text{середовища}}$ навколишнього середовища формула визначення інтенсивності набуває вигляду:

$$J_{1\omega} = \frac{8\pi f^2}{c^2} \beta k T K_{\text{середовища}} \quad (4)$$

де $K_{\text{середовища}} = T_{\text{середовища}} / T$ – коефіцієнт, що враховує зміну температур $T_{\text{середовища}}$ навколишнього середовища.

За отриманими виразами (2, 4) проведено математичне моделювання та практичні виміри впливу НЗВЧ-випромінювання на різні типи біологічної тканини залежно від частот та градієнтів температур.

При порівнянні отриманих результатів з урахуванням температурного градієнту можна стверджувати, що досягнуто більш достовірну оцінку лікувального ефекту через більш точне та достовірне значення оптимальних терапевтичних доз та інтенсивності НЗВЧ-випромінювання, з урахуванням параметрів навколишнього середовища та дійсних значень впливу. Це забезпечує точне виконання Регламенту та Протоколу проведення фізіотерапевтичної процедури НЗВЧ-опромінення у допустимих межах безпеки пацієнта.

Необхідність оцінки теплового впливу МРТ на біологічну тканину спонукає те, що цей вид лікування належить до напряму електротерапії, а значить, треба забезпечити безпеку проведення процедури (попередити можливість перегріву тканин) і зафіксувати зміни для оцінки ефективності терапії. Проведено низку експериментів з оцінки впливу НЗВЧ-випромінювання з урахуванням вікових змін шкіряного покриву та статевого розподілу зі змінами температури тканини залежно від тривалості процедури. Дослідження проводились в 5 цільових групах, розділених по віку, статі та характеру біологічної тканини:

- жінки віком до 30 років;
- жінки віком від 30 років;
- чоловіки віком до 25 років;
- чоловіки віком від 25 років;
- нежива тваринна тканина.

Зоною впливу для дослідження людей було обрано долоню руки, а для тваринних біологічних тканин – шкіру, жирову та м'язову тканини окремо. Блок-схему установки для дослідження показано на рис. 1.

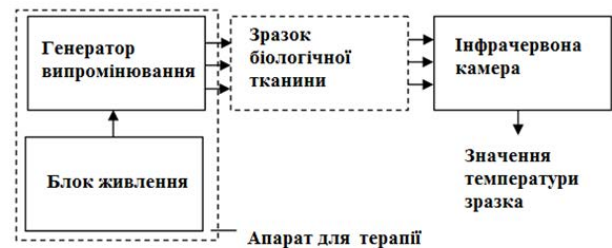


Рис. 1. Блок-схема установки для дослідження НЗВЧ-випромінювання

Для реалізації методу НЗВЧ-терапії використовуються різні типи апаратів: прилади, що утворюють гармонічні сигнали незмінної частоти («Явь-1», «Електроніка-НЗВЧ», «РАМЕД-ЭКСПЕРТ»), широкосмугові апарати, що утворюють шумові сигнали («Поріг-1», «Поріг-3», «Поріг-3М», «Арцах», «Шлем»), апарати, що утворюють і шумові, і гармонічні сигнали («АМРТ-01», «Арцах»), апарати, що можуть формувати квазішумові сигнали («АМТ-Коверт-04», «ARIA-SC») [15].

У цих дослідженнях терапії НЗВЧ-опромінення використовувався апарат «Поріг-3», який має робочий діапазон частот 54–78 ГГц і потужність випромінювання 0,1–1 нВт. Це портативний апарат для НЗВЧ-терапії, який складається з генератора НЗВЧ-випромінювання і блоку живлення. Як пристрій для вимірювання температури випромінювання було вибрано матричний Mobic 3M та

диференціальний FLIR E75 тепловізори. Ці прилади мають температурну чутливість порядку 0,1 та 0,01°C відповідно. На рис. 2 наведено фото установки для досліджень НЗВЧ-випромінювання.

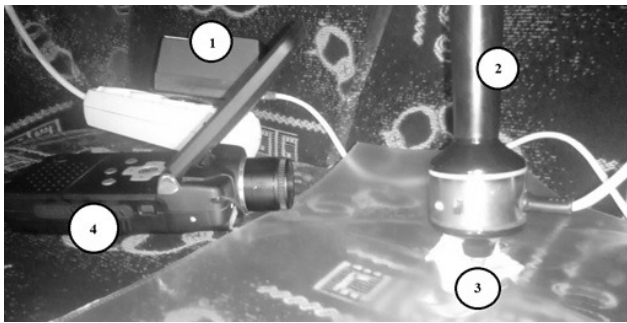


Рис. 2. Установка дослідження НЗВЧ-випромінювання: 1 – блок живлення, 2 – генератор НЗВЧ-випромінювання, 3 – біологічна тканина, 4 – інфрачервона (ІЧ)-камера Mobir 3M

При проведенні досліджень були виміряні інтенсивності випромінювання на різних частотах. Досліди проводились у НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», в лабораторії мікрохвильової радіометрії. Як вимірююча система використана їх метрологічно атестована установка [15].

Результати експериментів використані в подальших математичних розрахунках та порівняні з теоретичними значеннями при моделюванні.

Отримані результати експерименту наведено у вигляді графіків залежно від зміни температури від тривалості терапії, обрано графіки, що усе-реднюють результати дослідження по кожній із цільових груп (рис. 3).

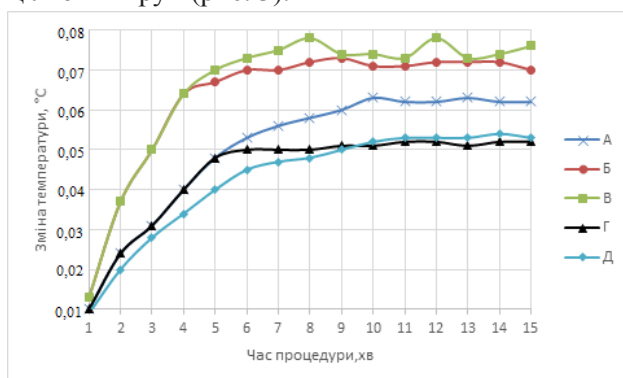


Рис. 3. Середні значення результатів досліджень по кожній із цільових груп: А – чоловіки до 25 років, Б – чоловіки від 25 років, В – жінки до 30 років, Г – жінки від 30 років, Д – біологічна тканина тварини

Як видно з наведених графіків, спочатку відбувається зростання температури досліджуваної тканини зі збільшенням часу терапії, а починаючи з деякого моменту часу (5–7 хвилин) температура практично не змінюється. Для різних цільових груп

форма графіків є подібною, але різняться максимальні амплітуди зміни температури та час, починаючи з якого вона переходить у стан стабілізації.

При відповідному регулюванні вихідної потужності генератора надвисоких частот і тривалості опромінення різні тканини, що містять кровоносні судини, можуть бути нагріті до різних температур. Температура тканин починає підвищуватися відразу ж після підведення до неї енергії НЗВЧ-випромінювання. Суттєве зростання температури триває 5–8 хвилин, далі до 15–20 хвилин триває коливання температури в межах 0,01°C підвищення температури тканини порівняно з середньою температурою тіла, після чого температура починає спадати. Падіння температури в опроміненій ділянці відбувається в результаті різкого збільшення в ній потоку крові, що призводить до відповідного відведення теплоти.

Відсутність кровоносних судин у деяких частинах тіла робить їх особливо вразливими до опромінення надвисокими частотами. У цьому випадку теплота може поглинатися тільки оточуючими судинними тканинами, до яких вона може надходити тільки шляхом теплопровідності. Це, зокрема, справедливо для тканин ока і таких внутрішніх органів, як жовчний міхур, сечовий міхур і шлунково-кишковий тракт. Мала кількість кровоносних судин у цих тканинах ускладнює процес саморегулювання температури. Крім того, відображення від граничних поверхонь порожнин тіла і областей розташування кісткового мозку при певних умовах призводить до утворення стоячих хвиль. Надмірне зростання температури в окремих ділянках дії стоячих хвиль може викликати ушкодження біологічної тканини. Відображення такого роду викликаються також металевими предметами, розташованими всередині або на поверхні тіла в зоні дії НЗВЧ-випромінювання.

При інтенсивному опроміненні цих тканин НЗВЧ-хвилями спостерігається їх перегрів, що може призвести до незворотних змін. У той же час НЗВЧ-хвилі малої потужності благотворно впливають на організм людини, що використовується в медичній практиці як мікрохвильова резонансна та інформаційна терапія.

Вирішальне значення при впливі електромагнітних хвиль надвисокочастотного діапазону мають характер і інтенсивність опромінення, його тривалість, площа опромінюваної поверхні тіла, довжина хвилі, індивідуальні особливості живої системи, зокрема конституційні параметри, тип нервової системи, вік, спадковість, шкідливі звички, стан імунітету, біологічний ритм,

наявність у діапазоні резонансних частот для різних частин та систем тіла (шия, голова, нижні і верхні кінцівки, кровоносна, лімфо- та нервова системи).

З огляду на багатошарову будову тканин і систем умовно вважають, що при мікрохвильовій терапії глибина проникнення електромагнітних хвиль становить 0,1–0,2 мм від зони дії НЗВЧ-випромінювання на поверхні тіла [16].

Для неживої біологічної тканини тварин та жінок віком від 30 років характерний найменший поверхневий нагрів біотканин та доволі швидкий перехід зміни температури у стан стабілізації. Це може бути викликано ступенем кровонасичення тканини чи його відсутністю, ослабленою регенераційною здатністю та поглинальною здатністю шкіри, втраченою вологості, процесами старіння шкіри для людей та дійсним станом неживого – злипанням ліпідних шарів мембран клітин для тварин.

Максимальний нагрів тканин спостерігається у груп В та Б – жінки до 30 років та чоловіки від 25 років, але вони мають різний час до переходу температури у практично незмінний стан. Це може пояснюватись двома факторами: більш молода біотканина має більшу сприйнятливості до нагріву (для жінок до 30) та зміни умов середовища проведення експерименту – з зимньої пори року на весняну (для чоловіків від 25), що означає вагомий вплив температурних градієнтів як біотканини, так і навколишнього середовища на результати вимірювання.

Як видно з графіків, для груп до 25–30 років більший нагрів тканин та швидший перехід температури у стан стабілізації спостерігається для жінок, а для груп від 25–30 років – для чоловіків. Це може пояснюватись швидшим процесом регенерації для жіночої шкіри. Тваринна тканина займає найменші показники за усіма критеріями. Це може бути викликано і тим, що це нежива біотканина, зліплені ліпідні шари мембран клітин і те, що вимірювання для неї проводились взимку, при нижчих температурах.

За отриманими результатами можна зробити висновок про доволі високу безпеку процедури, адже нагрів тканини перебуває в межах 0,1°C, а найінтенсивніший нагрів відбувається в перші 5–8 хвилин терапії, далі НЗВЧ-терапія в основному характеризується нетепловою дією, температура практично не змінюється.

Подібні результати отримали й інші дослідники [17; 18].

Результати експериментів по визначенню значення інтенсивності наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Результати вимірювання інтенсивності.

Частота, ГГц	Інтенсивність, дБ
53	29
52	37
51	27
50	37
49	26
47	30
45	26
40	32
37	22

Проведемо математичне моделювання змін інтенсивності залежно від частоти та температури, визначимо характер процесів впливу НЗВЧ-терапії. Розрахуємо параметри НЗВЧ-випромінювання за формулами (3) і (4) та порівняємо їх зі значеннями інтенсивностей, отриманими експериментально. Отримані результати приведені у вигляді графіків.

Для визначення розбіжності результатів розрахунків за класичною формулою (3) та отриманою (4), що містить коефіцієнт врахування впливу температур навколишнього середовища та біотканини, розраховано абсолютну Δ та порівняну δ похибки.

Згідно з проведеними розрахунками, інтенсивність, визначена за формулою (4) щодо інтенсивності за (3) має абсолютну похибку $\Delta=5,65$ дБ та порівняну $\delta=18\%$, що означає змогу значно зменшити інтенсивність опромінення без втрати лікувального ефекту.

Як значення частоти використані виміряні попередньо дійсні параметри впливу НЗВЧ-терапії. Як значення температури обрано початкові виміряні температури за цільовими групами.

Як видно з наведених графіків, інтенсивність змінюється практично лінійно, зростаючи від збільшення як температури, так і частоти. Обраховані значення інтенсивностей знаходяться в середині виміряного діапазону (табл. 1).

Оскільки більші значення температур біологічної тканини були виміряні при більш теплій порі року, тобто умовах більших температур навколишнього середовища, при цьому згідно з графіками зросла і інтенсивність, розрахована як за класичною формулою (3), так і введеною у процесі досліджень (4), це означає доцільність поправки на вплив навколишнього середовища. Практично лінійний характер зміни інтенсивності дає змогу ефективно контролювати цей параметр шляхом вибору середовища (приміщення) прове-

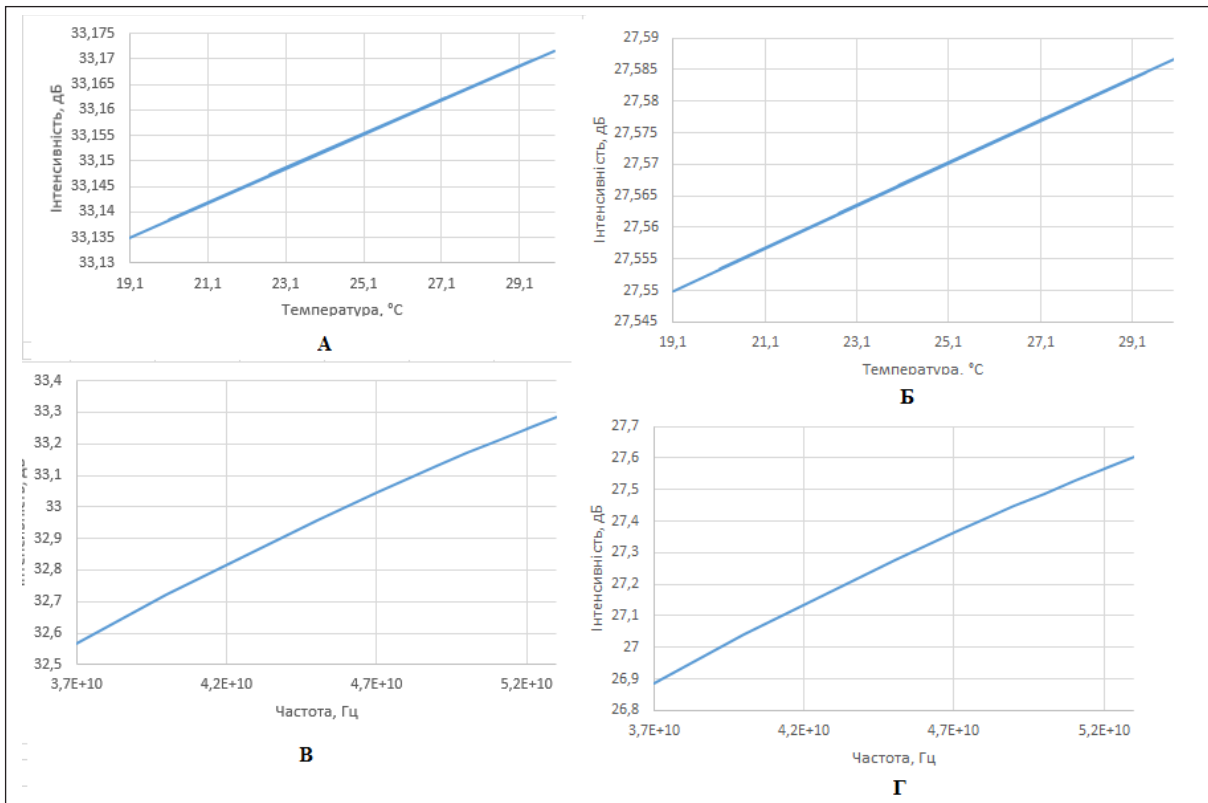


Рис. 4. Графіки зміни обчислених значень інтенсивності залежно від:
А – температури (без врахування температури середовища); Б – температури
(з врахуванням температури середовища); В – частоти (без врахування температури
середовища); Г – частоти (з врахуванням температури середовища)

дення терапії з відповідним оптимальним температурним режимом.

Висновки. У цій статті проведено дослідження та оцінку впливу – випромінювання на біологічні тканини, особливості, аспектів та принципів побудови апаратів НЗВЧ-терапії. Результати експериментів з оцінки теплового впливу НЗВЧ-випромінювання на різні типи біологічних тканин та вимірюванню інтенсивності такого випромінювання показали, що відбувається незначне зростання температури досліджуваної тканини зі збільшенням часу терапії, а починаючи з деякого моменту часу (5–8 хвилин) температура практично не змінюється. Для різних цільових груп форма графіків є подібною, але різняться максимальні амплітуди зміни температури та час, починаючи з якого вона переходить у стан стабілізації.

Виконано математичне моделювання впливу сигналів НЗВЧ-випромінювання на різні типи біологічної тканини залежно від частот та гра-

дієнтів температур. Проведено порівняння розрахунків з та без урахування температурних градієнтів. Середнє значення абсолютної та порівняної похибки для дози опромінення становило $\Delta=12,9$ Дж/мм² та $\delta=17\%$, для інтенсивності $\Delta=5,65$ дБ та $\delta=18\%$.

Таким чином, врахування коефіцієнтів впливу температур навколишнього середовища $K_{\text{середовища}}$ дасть змогу зменшити параметри опромінення на 17–18% без зниження лікувального ефекту терапії.

Лінійний характер зміни інтенсивності дає змогу ефективно контролювати цей параметр шляхом вибору середовища (приміщення) проведення терапії з відповідним оптимальним температурним режимом.

Отримані дані використані для вдосконалення реальної математичної моделі, яка в подальшому може бути використана для максимізації лікувального ефекту шляхом підбору найбільш оптимальних безпечних параметрів терапії.

Список літератури:

1. Терещенко М.Ф., Тимчик Г.С., Чухраєв М.В., Кравченко А.Ю. Ультразвукові фізіотерапевтичні апарати та пристрої: монографія. Київ: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2018. 184 с.
2. Chukhraiev N.V., Vladimirov A.A., L. Vilcahuaman, W. Zukow, Samosyuk N.I., Chukhraieva E., Butskaya L.V. Application of ultrasonic waves, magnetic fields and optical flow in rehabilitation. Kyiv, 2017. 324 p.

3. Домашевская Н.В. КВЧ и КВЧ - лазеротерапия в комплексном амбулаторном лечении гипертонической болезни: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.00.06. Самара, 2000. 21с.
4. Лобзовская Н.П. Комплексное лечение больных витилиго и использованием фоно-, эндоионофореза меди и КВЧ-волн: дис. ... канд. мед. наук : 14.00.51. 2003. 234 с.
5. Корнаухов А.В., Максимов Г.А., Анисимов С.И., Гуревич М.Л. Аппараты КВЧ-терапии с шумовым спектром в диапазоне частот 25-110 ГГц и биологической обратной связью. Вестник Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского. Серия «Биология». 2001. Вып. 2. Ч. 4. С. 22–26.
6. Ситько С.П., Мкртчян Л.Н. Введение в квантовую медицину. Київ, 1994. 146 с.
7. Москаленко В.Ф., Ситько С.П., Горбань С.М., Грубник Б.П., Яненко О.П. Квантова медицина: від фундаментальних основ до практичного використання. Український медичний часопис. 2002. № 28. С. 106–109.
8. Бецкий О.В., Беляков С.В., Яременко Ю.Т. Состояние и тенденции развития аппаратуры для КВЧ-терапии. Биомедицинская радиоэлектроника. 1998. № 3. С. 50–56.
9. Бецкий О.В. Миллиметровые волны в биологии и медицине. Радиотехника и электроника. 1993. Т. 38. № 10. С. 1760–1782.
10. Терещенко М.Ф., Матвієнко С.М. Математическая модель взаимодействия источников излучения КВЧ-диапазона с биологическими средами. Актуальні питання біологічної фізики та хімії: матеріали VII міжнар. наук.-техн. конф. (Севастополь, 26–30 квітня 2011 р.). Севастополь: СевНТУ, 2011. С. 130–132.
11. Яненко О.П., Перегудов С.М. Вимірювання низькоінтенсивних сигналів біологічних об'єктів у мм-діапазоні. Радиотехнічні поля, сигнали, апарати та системи (теорія, практика, історія, освіта): матеріали конф. (Київ, 22–29 лютого 2012 р.). Київ, 2012. С. 112–113.
12. Бецкий О.В., Кислов В.В., Лебедева Н.Н. Миллиметровые волны и живые системы. Москва, 2004. 272 с.
13. Матяш М.Н., Чухраев Н.В., Шимков Г.Е. КВЧ-акупунктура. Киев, 2001. 152 с.
14. Яненко О.П., Ваганов О.А. Методи та засоби контролю фізичних параметрів текстильних матеріалів. Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Приладобудування». 2009. Вип. 38. С. 107–111.
15. Яненко О.П., Куценко В.П., Перегудов С.М. Електронна апаратура лікувально-діагностичних технологій: навч. посібник. Донецьк: ППШ «Наука і освіта», 2011. 212 с.
16. Ситько С.П., Скрипник Ю.А., Яненко А.Ф. Аппаратурное обеспечение современных технологий квантовой медицины. Киев, 1999. 199 с.
17. Плакса Д.В., Терещенко Н.Ф. Оценка теплового воздействия микроволновой резонансной терапии на биологическую ткань. Новые направления развития приборостроения: материалы 11 междунар. науч.-техн. конф. (Минск, 18–20 апреля 2018 г.). Минск: БНТУ, 2018. С. 78.
18. Бецкий О.В., Лебедева Н.Н. Биологические эффекты миллиметровых волн низкой интенсивности. Microwave&Telecommunication Technology: материалы конф. (Севастополь, 9–13 сентября 2002 г.). Севастополь, 2002. С. 67–71.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КРАЙНЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ ТКАНИ

Проведено дослідження впливу електромагнітного випромінювання крайньої високої частоти (КВЧ) на біологічні тканини та оцінено його теплове вплив. Виконано вимірювання інтенсивності КВЧ-випромінювання апарату «Порог-3» во всіх режимах роботи. Встановлено розходження впливу випромінювання в залежності від виду біологічної тканини та параметрів середовища. Визначено залежність зміни температури біологічного об'єкта від часу експозиції. Розроблено методику підбору оптимальних параметрів КВЧ-терапії. Отримано формули визначення дози та інтенсивності випромінювання з урахуванням температурних градієнтів середовища. Проведено порівняльні розрахунки. Встановлено та проаналізовано похибки значень дози та інтенсивності випромінювання. Обґрунтовано можливість зменшення доз облучення без втрати лікувального ефекту.

Ключевые слова: КВЧ-терапия, параметры излучения, тепловое воздействие.

ASSESSMENT OF THE EFFECT OF HIGH-FREQUENCY RADIATION ON BIOLOGICAL TISSUES

The exploration of the influence of high frequency electromagnetic radiation on biological tissues was carried out and its thermal influence was estimated. The measurement of the intensity of the high frequency radiation of the "Porog-3" apparatus is performed in all modes of operation. Differences in radiation exposure depending on the type of biological tissue and environmental parameters are established. The dependence of the temperature change of the biological object on the time of exposure is determined. The method of selection of optimal parameters of microwave therapy is developed. Formulas for determining the dose and intensity of radiation are taken into account the temperature gradients of the environment. Conducted comparative calculations. Errors of dose and radiation intensity were established and analyzed. The possibility of decreasing irradiation doses without losing of therapeutic effect is substantiated.

Key words: high-frequency therapy, parameters of influence, thermal influence.

УДК 617.3

Цапенко В.В.Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Терещенко М.Ф.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ БІОМЕХАНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СТОПИ ЛЮДИНИ

У статті запропонований метод оцінки біомеханічних властивостей стопи з використанням апаратно-програмного комплексу, що базується на зіставленні середньої величини максимальних значень навантаження на опорну поверхню стопи в статичному та динамічному положенні людини, і метод кількісної оцінки стану вираженості вальгусної деформації стопи, що характеризується рівним зводом і величиною зрушення п'яти назовні, де в якості кількісного показника використовується розширений фронтальний динамічний індекс (ФДІ) f , із подальшим аналізом діаграм динамічних кривих.

Ключові слова: стопа людини, метод біомеханічної оцінки, статичне й динамічне положення стопи, біомеханічні параметри стопи, латеральний край, медіальний край, склепіння стопи.

Постановка проблеми. Аналіз людської ходи нині є об'єктом багатьох науково-дослідних проєктів. Різні захворювання та пошкодження органів опори нерідко супроводжуються серйозними функціональними порушеннями рухового апарату людини, зниженням сили та тонусу м'язів, утратою здатності до нормальних рухів, що призводить до інвалідності та подальшої втрати працездатності. Діагностика осанки людини не була б повною без вимірювання й оцінок стану опорно-ресорних властивостей її стопи. Протягом останніх років кількість захворювань опорно-рухового апарату стрімко та суттєво зростає, серед них провідне місце займають різноманітні деформації стопи [1].

Стопа є структурним сегментом опорно-рухового апарату людини, який забезпечує його стаго-локомоторний зв'язок і являє собою цілісний морфофункціональний об'єкт, від якого залежить рухова функція людини [2]. Виділяють три основні функції стопи:

- **ресорна** – здатність до пружного розпластування під дією навантаження;
- **балансуюча** – участь у регуляції пози та позиційної активності під час стояння та ходьби;
- **поштовхова (відштовхувальна)** – передача прискорення загального центру мас (далі – ЗЦМ) тіла при рухах і локомоціях.

Важливою конструктивною особливістю стопи людини є її склепінчаста конструкція. Така конструктивна будова підтримується й укріплюється м'язами стопи та гомілки, тому її демпфуючо-амортизаційні властивості визначаються не

тільки анатомічними особливостями кісток, але й активною роботою прилеглих м'язів (рис. 1) [3].

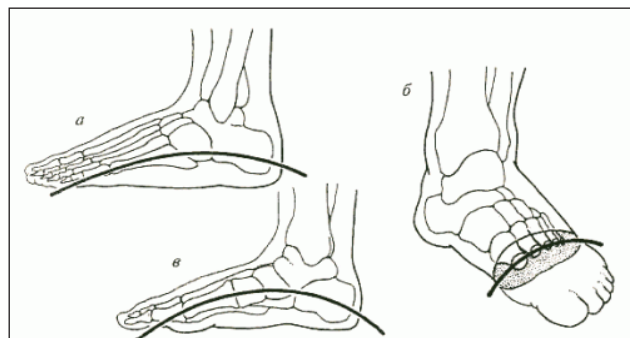


Рис. 1. Орієнтація склепінь стопи людини
а) зовнішнє поздовжнє склепіння;
б) внутрішнє поздовжнє склепіння;
в) поперечне склепіння

Під час ходьби стопа приймає на себе ударне навантаження, сумірне з масою тіла. Із кожним кроком по різному жорсткому покриттю вона отримує прискорення, рівні $18\text{--}20 \cdot g$ (де g – прискорення вільного падіння, $g = 9,80665 \text{ м/с}^2$). Оскільки поздовжні та поперечні склепіння стопи розташовані випуклостями доверху, то у вертикальній позі тиск на підошву розподіляється зазвичай на три основні точки (п'ятковий бугор, головки I та V плюсневих кісток) і зовнішній край підошви. Цю траєкторію вважають класичною метатарзальною формулою [3] (рис. 2). Тому площа ефективної опори, яка припадає на згадані вище 3 точки та зовнішній край стопи, має менший вплив, ніж площа підошви.

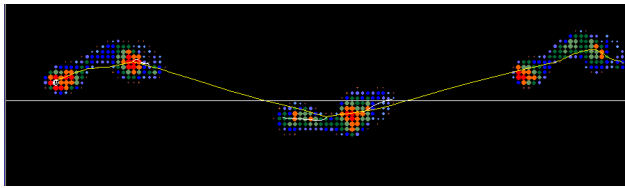


Рис. 2. Класична метатарзальна бароподометрична формула

У нормі завдяки склепінчастій будові стопи та її ресорній функції до 70% прискорення гаситься й амортизується. При нормальному розвитку опорно-рухового апарату людини навантаження на стопу розподіляться так: через тіло таранної кістки на п'ятковий бугор, човноподібну та клиновидну кістку, на головки I–III плюсневих кісток, утворюючи при цьому зовнішню поздовжню дугу. Таким чином, можна уявити дві поздовжні осі стопи. Одна проходить через середину п'яти й проміжок між I та II плюсневими кістками – це вісь сили (опорний вектор), по якій передаються основні навантаження при ходьбі; інша, яка проходить через середину п'яти й проміжок між II та III плюсневими кістками, – вісь рівноваги та балансу, якою проходять рухи стопи під час стояння. Положення цієї осі визначається як рівна довжина важелів від цієї осі до головок I та V плюсневих кісток. При плоско-вальгусній деформації опорний вектор стопи зміщується латерально (до зовнішнього краю стопи). Це змінює характер ходьби, є причиною посилення динамічного навантаження на весь опорно-руховий апарат (рис. 3) [3; 4].



Рис. 3. Форми постановки стоп при різних деформаціях

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомі способи визначення біомеханічних властивостей м'яких тканин опорної поверхні стопи, засновані на оцінці величин, прикладених зовні, значень параметрів тиску, достатнього для перекриття артеріального судинного русла тканин, що

визначається за зміною кольору поверхні шкіри чи зникненням пульсації артеріол у судинах [5]. Однак ці способи мають низку обмежень, зокрема не можуть використовуватися під час ходьби. У процесі ходьби виникають додаткові короточасні ударні навантаження переднього та заднього поштовху, у демпфуванні яких можуть брати участь різні біологічні середовища, зокрема, крім м'язо-скелетного, суттєву роль відіграють рідинні крово-лімфатичні середовища [5].

Таким чином, нині в практиці медичних досліджень накопичений величезний досвід використання спеціальних методів і засобів вимірювання, контролю рухової функції стопи людини й оцінки параметрів біологічних тканин [6; 7]. Однак серед різноманіття наукових підходів до вирішення цього питання не вивченими повною мірою залишаються особливості анатомо-функціональних властивостей стопи людини залежно від її статуту, віку та рівня фізичної активності.

Постановка завдання. Вивчення анатомо-патологічних змін у суглобах стопи є особливо складною задачею у зв'язку зі специфічною просторовою орієнтацією її осей і невеликими габаритними розмірами досліджуваного сегмента, що ускладнює установку спеціальних реєструючих датчиків і пристроїв. Ці особливості змушують використовувати складні пристрої, які часто вносять свої апаратні похибки та порушують нормальну дійсну біомеханіку суглобів стопи [3].

Актуальною науково-технічною задачею є розроблення комплексного методу дослідження просторових біомеханічних параметрів стопи людини. Для об'єктивізації контролю розвитку етапів патологій стопи в дітей виникає гостра необхідність використання методу, який не має іонізуючо-променевої дії, а також дозволяє виконувати кількісну оцінку та контроль функцій стопи не тільки в статичності, а й у динаміці, оскільки максимум питомого навантаження на підошовну поверхню при ходінні значно вище, ніж у положенні стоячи на обох кінцівках. Таким чином, із урахуванням цих факторів достовірність запропонованої оцінки набагато вища.

Виклад основного матеріалу дослідження. Пропонується метод, заснований на зіставленні середньої величини максимальних значень навантаження на опорну поверхню стопи в статичному та динамічному положеннях обстежуваного, і метод кількісної оцінки вираженості вальгусної деформації стопи, де в якості кількісного показника використовується розширений показник фронтального динамічного індексу (ФДІ) f ; для

його розрахунку підошовну частину стопи ділять на рівні за шириною медіальну та латеральну зони з подальшим розрахунком співвідношення тиску P_l у латеральній зоні до суми тиску ($P_l + P_m$) у латеральній і медіальній зонах і аналізом діаграм динамічних кривих.

У результаті функціональних тренувань змінюється структурна основа та біомеханічні властивості тканин опорної поверхні стопи, що призводить до підвищення можливості їх статичного навантаження. Для оцінки пружних властивостей стопи людини виникає необхідність введення діагностичного показника демпфуючих властивостей тканин (далі – ДВТ). Показник ДВТ (d) обчислюється як частка від ділення середніх значень максимального навантаження на стопу в статичному та динамічному положенні:

$$d = \frac{P_{avg\ st}}{(P_{avg\ dyn\ l} + P_{avg\ dyn\ r})} \cdot 100\%, \quad (1.1)$$

де $P_{avg\ st}$ – показник навантаження в статичному положенні (середнє значення між лівою та правою стопами);

$P_{avg\ dyn\ lr}$ – показник навантаження в динамічному положенні для лівої та правої стопи відповідно.

Чим вище значення показника d , тим вища здатність м'яких тканин стопи протидіяти руйнуючій дії навантаження за рахунок перерозподілу тиску по всій площі опорної поверхні стопи.

У якості об'єкта для дослідження було обрано декілька груп пацієнтів: 15 людей, хворих на цукровий діабет, 15 людей без яскраво виражених патологій стопи та 15 із різноманітними патологіями стопи після 3-х і більше місяців використання індивідуальних ортезів стопи.

Під час дослідження використовувався метод бароподометрії [4]. У ході клінічного обстеження пацієнтів фіксували скарги, відомості про попереднє лікування, оцінювали загальний вигляд стопи, установку п'яtkової кістки, стан поздовжнього та поперечного склепінь, мобільність деформації. Дослідження виконувалося за допомогою цифрової біометричної системи в складі бароподометра та планшетного сканера стоп [1; 4]. Обстежуваний знаходився у фізіологічній позі стоячи (статичне положення), спираючись обома стопами на опорну поверхню першого модуля бароподометра. Реєструється середнє значення ($\text{кг}/\text{см}^2$) максимального навантаження на всю поверхню стопи та визначаються локалізації точок максимального тиску, загального центру мас (далі – ЗЦМ) і локальних центрів для кожної кінцівки. Потім процедура вимірювання повторюється при ходьбі –

динамічне дослідження (5–6 проходів у звичайному, спокійному темпі). Оцінюється структура графіків динамічних кривих, траєкторія переміщення ЗЦМ, розподіл навантаження по підошовній поверхні. При цьому також визначалися кут Кларка, індекс Годунова, індекси передньої та задньої опори (рис. 4) [5].

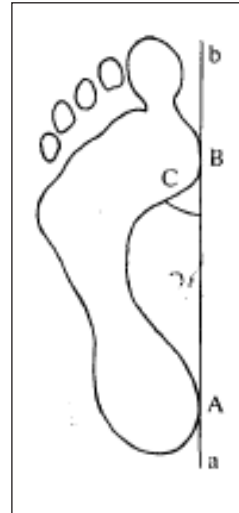


Рис. 4. Схема вимірювання кута Кларка [3]

Кутовий індекс Кларка β визначає стан підошовного вигину стопи та лежить між дотичною до медіального краю відбитка стопи та лінією, яка з'єднує найбільш випуклу точку, що перетинається з дотичною до медіального краю плюсни. Отримані відбитки оцінюють за допомогою спеціальних графіко-розрахункових методів та індексів [3].

Бароподометр працює у двох режимах.

– Бароподометрія статичного положення

Бароподометрія статичного положення визначає розподіл зон навантаження, окреслює периметр опорного полігону, фіксує центри положення стопи та проекцію центру тяжіння тіла і його зміщення, розраховує відсоткові співвідношення опорної поверхні та сили тиску, зокрема й перевантаження кінцівки чи ротацію тазу. До подібного аналізу належить тест на стабілометрію, проте тут головною метою є запис руху центру маси тіла та центрів навантаження стоп. Траєкторія цієї кривої відображає стан рівноваги пацієнтів, що значно впливає на опоростійкість і власне стереотип руху в динаміці. Визначають напрями, швидкість, нахил, розкачування вперед-назад і зліва направо, індекс К'єті, індекс Ромберга, індекс ексцентриситету по загальній площі. Тест може проводитися з відкритими та закритими очима для аналізу впливу зорової системи, коректної інтерпретації віддаленості об'єктів.

– Бароподометрія динамічного положення

Бароподометрія в динаміці показує, як розподіляється тиск під час перекачу кожної стопи. Точка приземлення, контакту та поштовху в нормі мають чітку послідовність, швидкість і силу. Траєкторія руху переднього відділу стопи вказує на тазостегновий суглоб, а гомілковостопний та під таранний суглоби визначаються на середині відбитку стопи. За графічним відображенням руху можна чітко

відслідкувати стабільність суглобів, латеральні чи медіальні відхилення руху. Різниця руху, наприклад, колінного суглобу й напрям руху стопи може спричинити розбалансованість або травму суглобів. Фіксуються цикли руху з часовими характеристиками моноопори та подвійної опори. Визначаються подовження стопи при динамічній опорі, її розширення в передньому відділі під час руху. Три відбитки аналізують повний кроковий цикл, два – це напівкрок. Повний кроковий цикл завжди є більш інформативним за одиночні відбитки, оскільки аналіз повного крокового циклу дозволяє досліджувати перекочування стопи на кожному окремо взятому відбитку, виражене в абсолютному значенні, порівняно зі значеннями точок тиску інших відбитків одного й того самого прямокутника крокового циклу (рис. 5).

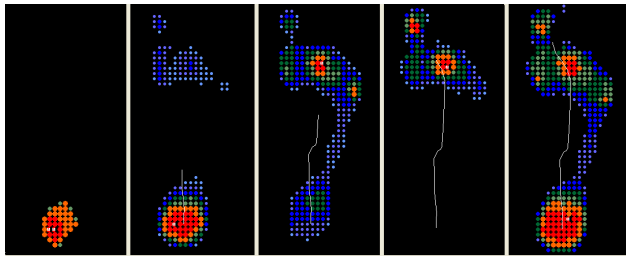


Рис. 5. Окремі фази перекочування й повне зображення стопи (останнє праворуч)

Якісний розгляд окремого відбитка підкреслює нестійкість при опорі чи значні відмінності між окремими відбитками й усередненим. Це впливає на загальну статистику та помітно відображається на ефективності ортезів, спроектованих на основі діагностичної інформації, отриманої за запропонованою методикою.



Рис. 6. Розподіл навантаження на стопу при динамічному та статичному положенні

- 1 – динамічне положення досліджуваних із діабетичною стопою;
- 2 – динамічне положення досліджуваних без патологій стопи;
- 3 – статичне положення досліджуваних із діабетичною стопою;
- 4 – статичне положення досліджуваних без патологій стопи

Проведемо визначення розподілу навантаження на стопу при динамічному та статичному положенні двох груп досліджуваних (рис. 6):

У дослідженні брали участь 30 обстежуваних, які були поділені на 2 підгрупи – 15 пацієнтів із синдромом діабетичної стопи та 15 без яскраво виражених патологій. Для експерименту пацієнти були підібрані з однаковою попарно вагою відповідно для двох підгруп, тобто кожному обстежуваному підгрупі із синдромом діабетичної стопи (досліджувана група) відповідав обстежуваний підгрупі без яскраво виражених патологій (контрольна група). На графіках показаний розподіл середньої величини навантаження на опорну поверхню двох стоп досліджуваних у статичному (положення спокою) і динамічному положеннях (положення руху) для двох груп пацієнтів. Із графіків видно практично однакову картину розподілу в статичі й обернену в динаміці.

Проводимо дослідження залежності показника демпфуючих властивостей тканин від ваги обстежуваних для двох обраних вище груп пацієнтів (рис. 7):

Це дослідження проводилося аналогічно до попереднього. У результаті експерименту було встановлено, що показник ДВТ вищий у пацієнтів із діабетичною стопою порівняно з другою – контрольною підгрупою обстежуваних без яскраво виражених патологій стопи. Більш високі показники ДВТ, зумовлені жорсткістю шкірних покривів, наявністю мозолів і локальними змертвіннями м'яких тканин опорної поверхні стопи, відмічені у хворих на цукровий діабет ($50,7\% \pm 5\%$ проти $46,9\% \pm 5\%$ у пацієнтів без яскраво виражених патологій стопи).

Проведене дослідження динаміки змін значень показника демпфуючих властивостей тканин пацієнтів із різноманітними захворюваннями стопи до та після використання індивідуальних ортезів, спроектованих за запропонованою методикою (рис. 8):

Динаміка змін значень показника ДВТ пацієнтів із різноманітними захворюваннями стопи фіксувалася до обстеження та після використання індивідуального ортезу, розробленого на основі отриманої діагностичної інформації за запропонованою методикою. Дослідження показали, що макси-

мальна лікувальна ефективність ортезу настає після 6 місяців використання.

Згідно з дослідженнями Гурфінкеля встановлено, що у вертикальній позі в нормі маса тіла на стопу розподіляється так: 20,5% – на передньо-внутрішній відділ стопи, 18,4% – на передньо-зовнішній відділ стопи, 5,5% – на область зводу, а на п'яту – 55,6%. За даними Давидової, під час ходьби маса тіла людини розподіляється так: на п'яту припадає 33,2%, на середню частину – 5%, на передньо-зовнішню частину стопи – 26%, на передньо-внутрішню – 35,8% [6].

Під час аналізу підошовного тиску вальгусна деформація стопи виявляється на основі зміщення його до латерального краю, збільшення навантаження в області поздовжнього склепіння, медіальної поверхні стопи. Однак цей метод є суб'єктивним і більше залежить від особистого досвіду спеціаліста [6; 7].

Пропонується більш об'єктивний метод для кількісної оцінки вираженості вальгусної деформації стопи. У якості кількісного показника використовуємо фронтальний динамічний індекс f . Для його розрахунку стопу ділять на рівні по ширині медіальну та латеральну зони з подальшим розрахунком співвідношення тиску P_l у латеральній зоні до суми тиску ($P_l + P_m$) у латеральній і медіальній зонах (рис. 9) [6].

$$f = \frac{P_l}{P_l + P_m} \cdot 100\%, \quad (1.2)$$

де P_l – тиск у латеральній зоні стопи (Па);
 P_m – тиск у медіальній зоні стопи (Па).

Як видно зі схеми (рис. 9), для запропонованого методу в процесі аналізу стопа розбивається на медіальну та латеральну зони, які теж доцільно розділяти ще на 3 окремі області кожну (передній, середній і задній відділи стопи відповідно) для наочності впливу зміни значень розподілу тиску в кожній області підошовної поверхні стопи на загальну картину патології. Як відомо, передній відділ стопи відповідає за колінний суглоб, а гомілковостопний і підтаранний визначаються на середині відбитку стопи. Із урахуванням цієї закономірності розширена формула розрахунку фронтального динамічного індексу f матиме такий вигляд:

$$f = \frac{P_{lf} + P_{lm} + P_{lr}}{(P_{lf} + P_{lm} + P_{lr}) + (P_{mf} + P_{mm} + P_{mr})} \cdot 100\% \quad (1.3)$$



Рис. 7. Залежність показника ДВТ від ваги обстежуваних
 1 – досліджувані із синдромом діабетичної стопи;
 2 – досліджувані без патології стопи

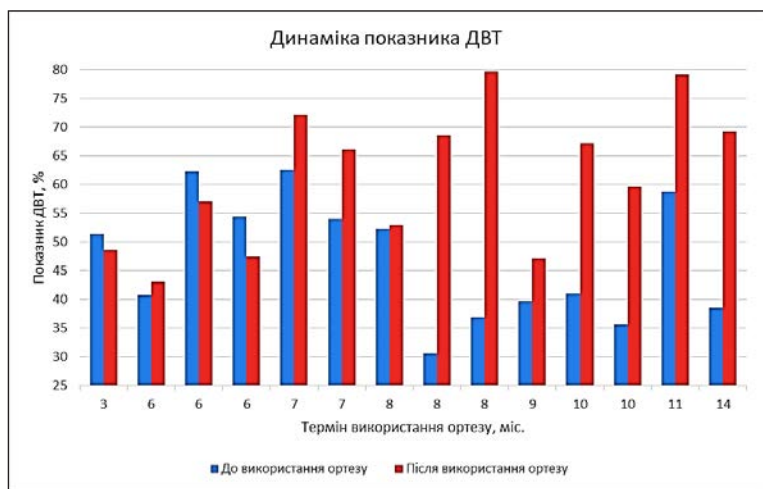


Рис. 8. Динаміка коливань значень показника ДВТ пацієнтів із захворюваннями стопи

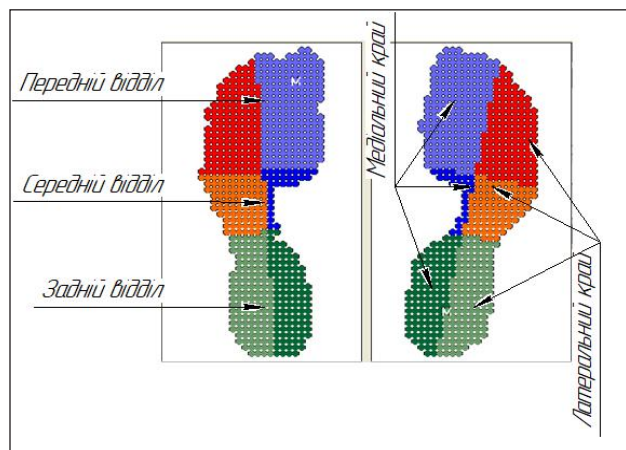


Рис. 9. Схема розділення стопи на латеральну та медіальну зони для обчислення розширеного фронтального динамічного індексу

В отриманій формулі індекси f , m , r позначають значення тиску в передньому, середньому та задньому відділах латерального та медіального краю стопи відповідно.

У процесі дослідження за допомогою бароподометричного комплексу було виявлено певну частоту однакових або подібних між собою зображень тиску, які не повністю вписуються у вигляд відомої метатарзальної формули (рис. 2). Ці відомості демонструють появу надлишкового центрального навантаження при опорі на дві ступні, на II, III і IV плюсові головки. У динаміці ж, навпаки, ми виявили, що велика частина навантаження припадає на центральні плюсові головки й майже ніколи не переноситься на I або V. Вивчення значень показників, отриманих під час різних досліджень, показало, що параметри підшовного тиску залежать від ваги, віку, швидкості ходьби тощо. Для уніфікації розрахунків, об'єктивізації отриманих даних запропоновано розраховувати значення питомого навантаження (відсоткове розподілення тиску) із 6 зон щодо всієї стопи.

У якості об'єкта дослідження виступили 50 людей із двосторонньою плоско-вальгусною деформацією стоп у віці 17–21 року. Контрольну групу склали 50 людей без яскраво виражених патологій стопи аналогічної вікової категорії. Значення розширеного фронтального динамічного індексу під час ходьби в пацієнтів із плоско-вальгусною деформацією стопи порівняно з даними обстеження здорових людей представлено в таблиці 1.

Таблиця 1

Дані бароподометричного обстеження здорових людей і людей із плоскостопістю

Показник	Здорові люди, %	Люди з плоскостопістю, %
ФДІ, %	51,055 (53,478/ 47,632)	50,365 (54,085/ 46,645)

Із таблиці 1 випливає, що спостерігається зниження показника ФДІ, що свідчить про медіальне зміщення підшовного тиску, особливо в середньому відділі стопи.

Проведемо статистичне опрацювання отриманих результатів із використанням ROC-аналізу та побудовою характеристичної кривої, яка відображає залежність чутливості (S_e) і специфічності (S_p) від точки розподілення. Розрахунки проводимо за допомогою програми Statistica. Оцінивши площу під ROC-кривою показників тиску, можна констатувати, що для вибраної вікової підгрупи (17–21 рік) площа під характеристичною кривою для показника ФДІ – 0,699 (95%, довірчий інтервал – 0,567–0,772). Визначимо оптимальну точку розподілу, яка забезпечує чітке відокремлення

здорових пацієнтів від пацієнтів із плоско-вальгусною деформацією стопи. В обраній віковій групі оптимальною точкою розподілу, яка забезпечує максимум чутливості та специфічності для показника ФДІ, є значення 50,05%.

Наступним етапом дослідження є аналіз стану діаграм динамічних кривих, побудованих на основі запропонованого методу.

Аналіз перекату окремої стопи представлений у графічному вигляді за допомогою прямокутної декартової системи координат, на якій вісь абсцис показує час, а на осі ординат відкладені окремі величини. Графіки зазвичай називають «динамічними кривими» з огляду на їх поведінку з плином часу. Початкова точка кожної кривої, як правило, повинна відповідати точці опори п'яти, центральна частина – середнього відділу стопи, а кінцева – великого пальця ноги; варіації амплітуди кривої описують варіації руху (рис. 10).

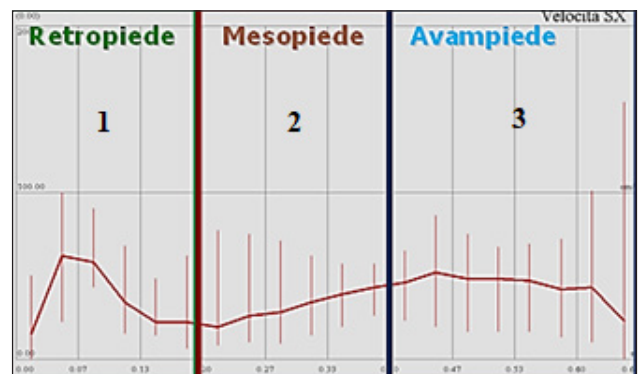


Рис. 10. Динамічні криві (швидкість лівої стопи) 1 – опора на п'яту; 2 – середній відділ стопи; 3 – передній відділ стопи (опора на великий палець)

Слід пам'ятати, що варіації кривої (спостерігаються на початку або в кінці) можуть бути зумовлені як відривом ноги, так і контактом із протилежного боку контралатерально: наприклад, у пацієнтів із геміплегією патологічна сторона може вплинути на всю криву «здорової» сторони (стабілізуюча кінцівка). Отримані відомості дозволяють представити середню динамічну криву для кожного графіка, виділяючи стандартне відхилення, із метою можливості зіставлення, яке показує різні моделі, прийнятні при кожній опорі. Зображення середньої динамічної кривої показує вертикальні сегменти, які графічно описують зміну (стандартне відхилення) значення на кожному окремому відбитку різних зареєстрованих кроків. Криві представлені на одному зображенні для правої ноги (рис. 11a) і для лівої ноги (рис. 11b).

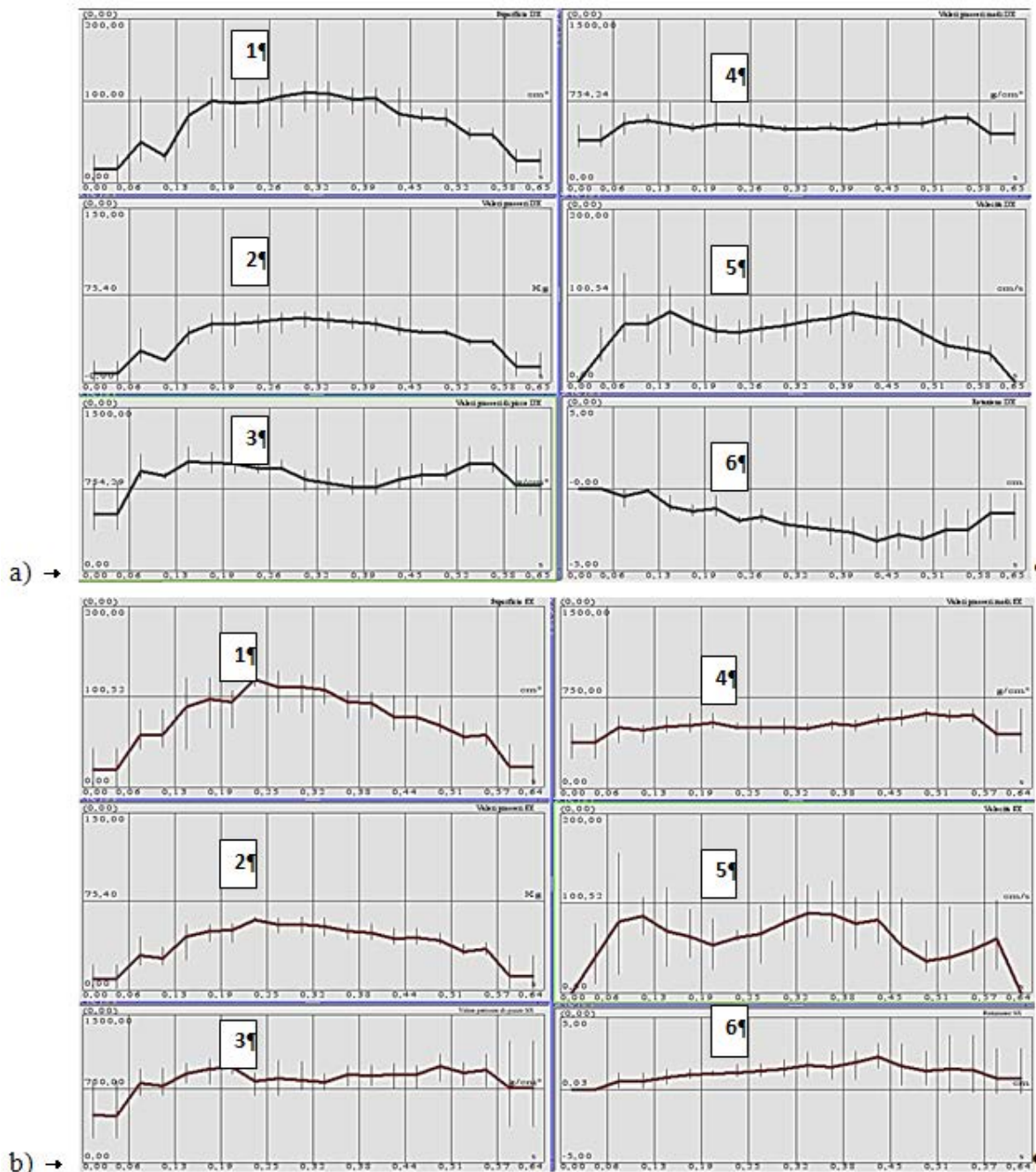


Рис. 11. Підсумкові динамічні криві
 а) права нижня кінцівка; б) ліва нижня кінцівка

Криві показують такі значення як функції часу.

– Площа поверхні (рис. 11(1) а, б) – це площа контакту, виявлена в кожному кадрі під час перекочування структурних елементів стопи. Виражається в квадратних сантиметрах на час збору даних (у секундах). Як правило, ця крива повинна починати рости по висхідній траєкторії з максимальним піком у середній частині, поступовим спуском вниз на трьох четвертих довжини тієї ж кривої й закінчитися в кінці графіка (на лінії чи нижче щодо п'яти).

– Значення тиску (рис. 11(2) а, б) – являє собою тиск, який спричиняється на окремі датчики, активовані в кожному кадрі під час перекочування стопи. Виражається в кілограмах на час збору даних (у секундах). Подібно до кривої площі, ця крива зростає до середини й опускається до кінця.

– Пікові значення тиску (рис. 11(3) а, б) представляють значення точки максимального тиску під час перекочування стопи. Виражається в грамах на квадратний сантиметр на час збору даних

(у секундах). Ця крива повинна опускатися до середини й досягати піку висоти на одну третину й три четвертих.

– Середні значення тиску (рис. 11(4) а, b) – представляє середні значення тиску під час перекочування стопи. Виражається в грамах на квадратний сантиметр на час збору даних (у секундах). Ця крива враховує тиск, зареєстрований на поверхні (на момент опори), а отже, повинна зменшуватися фізіологічно в центральній частині, де зменшується сила, а площа збільшується.

– Швидкість (рис. 11(5) а, b) – показує швидкість руху центру тиску стопи від точки відриву до точки контакту під час перекочування стопи. Виражається в сантиметрах на секунду на час збору даних (у секундах). Як правило, досягає піку в задньому відділі стопи, мінімальної швидкості при переході між заднім і переднім відділами стопи й останнього піку при контакті великого пальця ноги.

– Поворот/ротація (рис. 11(6) а, b) – показує бічний зсув центра тиску щодо точки контакту (нульове значення). Виражається в сантиметрах на час збору даних (у секундах). Зазвичай ця крива повинна йти від нуля до зовнішньої сторони максимум на два-три сантиметри й не повинна повертатися до нульового значення.

Аналіз графіків динамічних кривих (рис. 11 а, b) відбитків стоп може дати ключову інформацію для вивчення відхилень від норми координації рухів. Під час аналізу графіків динамічних кривих в обраній віковій групі з плоско-вальгусною деформацією стопи спостерігалися порушення

плавності графіків, зниження заднього поштовху, що свідчить про порушення ресорної функції стопи, а також про зниження жорсткості стопи в момент відштовхування від опори та зниження поштовхової функції. Установлено статистично значиму різницю в контрольній групі та групі з плоско-вальгусною деформацією стопи.

Висновки. Запропонований критерій розширеного фронтального динамічного індексу (1.3) має високу специфічність (згідно з результатами ROC-аналізу) при бароподометричному обстеженні обраної вікової групи з плоско-вальгусною деформацією стопи (далі – ПВДС) і може застосовуватися в ортопедії в якості дійсно об'єктивного критерію встановлення діагнозу ПВДС-патології.

Запропонований критерій оцінки демпфуючих властивостей тканин стопи (1.1), який являє собою співвідношення максимумів навантаження в позі стоячи та при ходьбі. Установлено, що у здорових людей і пацієнтів із захворюваннями стопи показник демпфуючих властивостей тканин опорної поверхні стоп залежить від біомеханічних властивостей, які визначаються рівнем фізичної активності, масою тіла та віком.

Критерії ФДІ та ДВТ як значення кількісних показників розподілення тиску по підштовпній поверхні стопи разом з якісними показниками, отриманими під час аналізу діаграм динамічних кривих, градієнтом зниження амплітуди заднього поштовху можуть успішно використовуватися для моніторингу стану стопи, встановлення діагнозу й ефективності різноманітних методів лікування плоско-вальгусної деформації стопи.

Список літератури:

1. Цапенко В.В., Терещенко М.Ф. Методика дослідження просторових параметрів стопи людини. Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2018): матеріали 11 міжнарод. наук.-практ. конф. (Київ, 22–23 травня 2018 р.). Київ: НАУ, 2018. С. 157–159.
2. Perepelkin A.I., Mandrikov V.B., Kravushkin A.I. Individual and typological characteristics of the human foot in the age aspect. Raleigh, North Carolina, USA: Lulu Press, Inc, 2015. 140 p.
3. Кашуба В.А. Биомеханика осанки. Киев: Олимпийская литература, 2003. 272 с.
4. Цапенко В.В., Терещенко М.Ф. Цифрова біометрична система дослідження патологічних станів стопи. Актуальні проблеми автоматизації та приладобудування: матеріали міжнарод. наук.-техн. конф. (Харків, 07–08 грудня 2017 р.). Харків: ФОП Мезіна В., 2017. С. 89–90.
5. Щуров В.А., Сазонова Н.В., Щуров И.В. Способ оценки биомеханических свойств мягких тканей опорной поверхности стопы. Российский журнал биомеханики. 2008. Том 12, № 4 (42). С. 47–52.
6. Мармыш А.Г. Особенности распределения подошвенного давления при плоско-вальгусной деформации стопы у детей. Журнал Гродненского государственного медицинского университета. 2017. Вып. 15(4). С. 400–404.
7. Терещенко М.Ф., Цапенко В.В., Чухраев М.В. Дослідження електропровідності біологічних тканин. Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. 2017. Вип. 53(1). С. 87–94.

МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СТОПЫ ЧЕЛОВЕКА

В статье предложен метод оценки биомеханических свойств стопы с использованием аппаратно-программного комплекса, основанный на сопоставлении средней величины максимальных значений нагрузки на опорную поверхность стопы в статическом и динамическом положении человека, и метод количественной оценки состояния выраженности вальгусной деформации стопы, характеризующейся равным сводом и сдвигом пяты наружу, где в качестве количественного показателя используется расширенный фронтальный динамический индекс (ФДИ) f , с последующим анализом диаграмм динамических кривых.

Ключевые слова: стопа человека, метод биомеханической оценки, статическое и динамическое положение стопы, биомеханические параметры стопы, латеральный край, медиальный край, свод стопы.

METHOD OF INVESTIGATION OF BIOMECHANICAL PARAMETERS OF THE HUMAN FOOT

The article proposes a method for investigation the biomechanical foot properties using a hardware-software complex based on comparing the average value of the maximum load values to the foot reference surface in the static and dynamic subject position, and a method for quantifying the severity of valgus foot deformation, the expanded frontal dynamic index f (FDI), with the subsequent dynamic curves diagrams analysis.

Key words: human foot, biomechanical assessment method, static and dynamic foot position, biomechanical parameters, lateral edge, medial edge, foot arch.

РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

УДК 519.6:004.67:621.37:621.39

Абакумова А.О.

Національний авіаційний університет

Сліпухіна О.О.

Національний авіаційний університет

Одарченко Р.С.

Національний авіаційний університет

Яновський Ф.Й.

Національний авіаційний університет

Шутко В.М.

Національний авіаційний університет

ПОЛІНОМІАЛЬНИЙ СПЛАЙН ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ПРИКЛАДНИХ ЗАВДАНЬ У ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯХ ТА РАДІОТЕХНІЦІ

У статті пропонується представлення сплайнів із розрідженою структурою базисних матриць. Завдяки цьому породжується висока швидкість під час обчислення великих масивів даних. Водночас розроблено форму побудови поліноміальних сплайнів, що сприяє ефективній роботі під час програмування. Проведено моделювання за допомогою розробленої форми побудови сплайну. Було знайдено аналітичну функцію поліноміального сплайну та доведено ефективні властивості фільтрації сплайнів.

Ключові слова: сплайн, поліном, матриця, фільтрація, радіолокація, стільникова мережа.

Постановка проблеми. Сьогодні в телекомунікаціях та радіотехніці існує багато задач з оброблення сигналів та зображень. Значну частину радіотехнічних сигналів обробляють у цифровому вигляді. Апроксимація, фільтрація, стиснення даних, статистичне вирівнювання рядів, виявлення та вимірювання сигналів – усе це загальні завдання, котрі постають під час оброблення багатовимірних сигналів та великих масивів даних у реальному часі.

Наприклад, виявлення такої природної перешкоди, як блискавка, в радіолокації зводиться до проблеми прийняття рішення про наявність чи відсутність корисного сигналу (цілі) в довільному об'ємі зони дії локатора. Покращення якості надання послуг стільниковим оператором зводиться до проблеми виявлення залежності між параметрами стільникової мережі.

За таких умов постає потреба у використанні математичного апарату, котрий дозволить вирішити ці завдання.

Сплайн – це функція, що складається з фрагментів однакового виду, котрі зшиті між собою.

Це одна з ключових ознак сплайнів, що відрізняє його від інших функцій. Крім того, коли йдеться про сплайни, то обов'язково має виконуватись умова [1], котра забезпечує неперервність та диференційність (природна гладкість) у точці склейки (рис. 1).

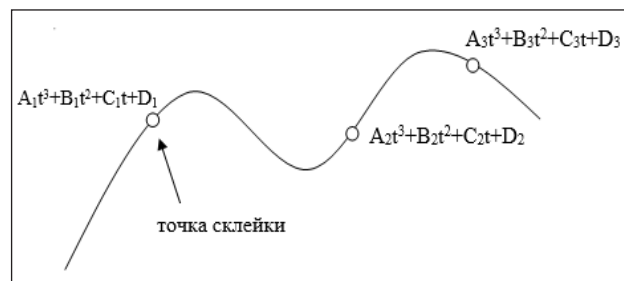


Рис. 1. Поліноміальний сплайн

Основною перевагою сплайнів є простота розрахунків та аналізу. Водночас цей клас математичного апарату вважається найкращим серед лінійних апаратів наближення.

Властивості сплайнів:

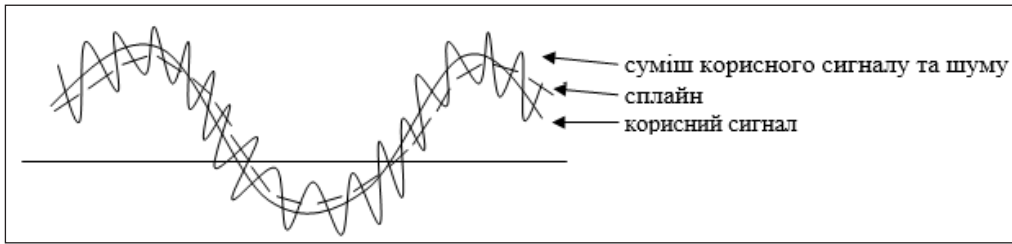


Рис. 2. Результат фільтрації

1) інтерполяція – відновлення функціональної залежності між окремими точками;

2) точність та швидкодія. Сплайни мають потужні обчислювальні властивості. Для розрахунку потребується набагато менше обчислювальних операцій, витрат, ніж для побудови поліномів та відрізків низки Фур'є під час оброблення однакових масивів даних. При цьому сплайни мають високу точність інтерполяції неперервних та гладких функцій;

3) фільтрація. У кожному реальному завданні телекомунікацій та радіотехніці на вході приймача спостерігається суміш корисного (детермінованого) сигналу та завад (шуму). Відфільтрувати повністю шуми неможливо, адже завжди щось залишається. Проте сплайни дозволяють відфільтрувати сигнал із малою середньоквадратичною похибкою (рис. 2). При цьому динамічна похибка апроксимації корисного складника теж буде малою;

4) аналітичність. На кожному інтервалі склейки сплайни мають конкретний аналітичний вираз, а весь інтервал записується як система аналітичних виразів.

Зважаючи на вищевикладені переваги сплайнів, є доцільним їх використання для вирішення окреслених проблем.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Останніми роками багатьма вченими розроблено та проаналізовано різновиди сплайнів, що знайшли застосування для вирішення широкого спектра прикладних задач [2–4]. Однак існує проблема у представленні такої форми побудови сплайнів, щоб забезпечувала ефективну роботу під час програмування.

Водночас численні дослідження багатьох авторів указують на згладжувальні властивості сплайнів, котрі забезпечують мінімальні значення середньоквадратичних похибок [5–7]. Проте ці сплайни не гарантують формальну, теоретично доведену швидкодію під час оброблення великих масивів даних.

Постановка завдання. У зв'язку з вищевикладеним постає завдання у розробленні універ-

сальної форми побудови сплайнів для прикладних застосувань у телекомунікаціях та радіотехніці, зокрема для ефективної роботи під час програмування. Водночас виникає доцільне завдання забезпечити високу швидкодію роботи сплайнів для вирішення у реальному часі питань виявлення та вимірювання сигналів, визначення середньостатистичного прогнозування параметрів телекомунікаційної мережі та залежності між ними, забезпечення статистичного вирівнювання часових рядів та прийняття рішення про виявлення цілі в довільному об'ємі зони дії локатора.

Виклад основного матеріалу дослідження. Побудуємо сплайн за методом найменших квадратів (МНК) (рис. 3).

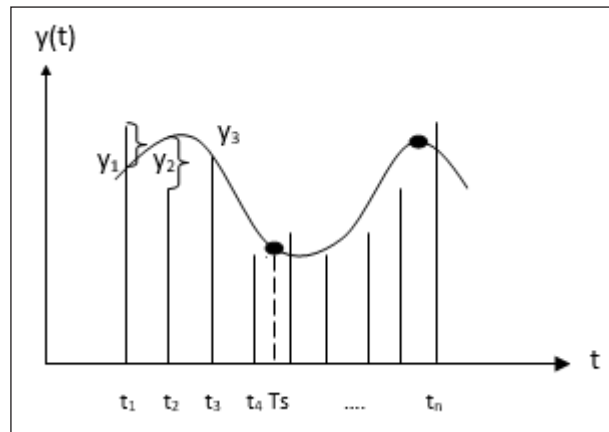


Рис. 3. Поліноміальний сплайн за методом найменших квадратів

Запишемо такий функціонал для сплайну:

$$\Phi = \sum_{i=1}^N [A_1 t_i^3 + B_1 t_i^2 + C_1 t_i + D_1 - y_{1i}]^2 + \sum_{i=N+1}^N [A_2 t_i^3 + B_2 t_i^2 + C_2 t_i + D_2 - y_{2i}]^2 + \lambda_0 [A_1 T_s^3 + B_1 T_s^2 + C_1 T_s + D_1 - A_2 T_s^3 - B_2 T_s^2 - C_2 T_s - D_2] + \lambda_1 [3A_1 T_s^2 + 2B_1 T_s + C_1 - 3A_2 T_s^2 - 2B_2 T_s - C_2] = \min \quad (1)$$

де A_1, B_1, C_1, D_1 – коефіцієнт кубічного поліному для 1-го інтервалу склейки;

A_2, B_2, C_2, D_2 – коефіцієнт кубічного поліному для 2-го інтервалу склейки;

y_{1i}, y_{2i} – вхідні відліки кожного інтервалу склейки;

t_i – відліки часу на кожному інтервалі спостереження;

T_S – час склейки;

λ_0, λ_1 – сталі Лагранжа.

Сума квадратів відхилень апроксимувальних поліномів від функцій, що апроксимуються, має бути мінімальною. Це і є умова МНК.

Після умов мінімізації середньоквадратичних похибок першого та другого апроксимувальних поліномів на кожному з інтервалів сплайну накладаються ще умови неперервності першого та другого поліному у точці склейки (λ_0) та умова неперервності першої похідної першого та другого поліному у точці склейки (λ_1). Умова неперервності першої похідної це існування дотичної у точці склейки.

Отже, потрібно знайти такі $A_1, B_1, C_1, D_1, A_2, B_2, C_2, D_2$, які задовольняють умову (1). Для цього знайдемо часткові похідні функціоналу Φ за кожним невідомим параметром і прирівняємо їх до 0.

$$\begin{cases} \frac{\partial \Phi}{\partial A_1} = 2 \sum_{i=1}^N [A_1 t_i^3 + B_1 t_i^2 + C_1 t_i + D_1 - y_{1i}] * t_i^3 + \lambda_0 T_S^3 + 3 \lambda_1 T_S^2 = 0 \\ \frac{\partial \Phi}{\partial B_1} = 2 \sum_{i=1}^N [A_1 t_i^3 + B_1 t_i^2 + C_1 t_i + D_1 - y_{1i}] * t_i^2 + \lambda_0 T_S^2 + 2 \lambda_1 T_S^1 = 0 \\ \frac{\partial \Phi}{\partial C_1} = 2 \sum_{i=1}^N [A_1 t_i^3 + B_1 t_i^2 + C_1 t_i + D_1 - y_{1i}] * t_i^1 + \lambda_0 T_S^1 + 3 \lambda_1 T_S^0 = 0 \\ \frac{\partial \Phi}{\partial D_1} = 2 \sum_{i=1}^N [A_1 t_i^3 + B_1 t_i^2 + C_1 t_i + D_1 - y_{1i}] * t_i^0 + \lambda_0 T_S^0 = 0 \\ \frac{\partial \Phi}{\partial A_2} = 2 \sum_{i=N+1}^{2N} [A_2 t_i^3 + B_2 t_i^2 + C_2 t_i + D_2 - y_{2i}] * t_i^3 - \lambda_0 T_S^3 - 3 \lambda_1 T_S^2 = 0 \\ \frac{\partial \Phi}{\partial B_2} = 2 \sum_{i=N+1}^{2N} [A_2 t_i^3 + B_2 t_i^2 + C_2 t_i + D_2 - y_{2i}] * t_i^2 - \lambda_0 T_S^2 - 2 \lambda_1 T_S^1 = 0 \\ \frac{\partial \Phi}{\partial C_2} = 2 \sum_{i=N+1}^{2N} [A_2 t_i^3 + B_2 t_i^2 + C_2 t_i + D_2 - y_{2i}] * t_i^1 - \lambda_0 T_S^1 - 3 \lambda_1 T_S^0 = 0 \\ \frac{\partial \Phi}{\partial D_2} = 2 \sum_{i=N+1}^{2N} [A_2 t_i^3 + B_2 t_i^2 + C_2 t_i + D_2 - y_{2i}] * t_i^0 - \lambda_0 T_S^0 = 0 \\ \frac{\partial \Phi}{\partial \lambda_0} = A_1 T_S^3 + B_1 T_S^2 + C_1 T_S + D_1 - A_2 T_S^3 - B_2 T_S^2 - C_2 T_S - D_2 = 0 \\ \frac{\partial \Phi}{\partial \lambda_1} = 3 A_1 T_S^2 + 2 B_1 T_S + C_1 - 3 A_2 T_S^2 - 2 B_2 T_S - C_2 = 0 \\ 2 A_1 \sum_{i=1}^N t_i^6 + 2 B_1 \sum_{i=1}^N t_i^5 + 2 C_1 \sum_{i=1}^N t_i^4 + 2 D_1 \sum_{i=1}^N t_i^3 + \lambda_0 T_S^3 + 3 \lambda_1 T_S^2 = 2 \sum y_{1i} t_i^3 \\ 2 A_1 \sum_{i=1}^N t_i^5 + 2 B_1 \sum_{i=1}^N t_i^4 + 2 C_1 \sum_{i=1}^N t_i^3 + 2 D_1 \sum_{i=1}^N t_i^2 + \lambda_0 T_S^2 + 2 \lambda_1 T_S^1 = 2 \sum y_{1i} t_i^2 \\ 2 A_1 \sum_{i=1}^N t_i^4 + 2 B_1 \sum_{i=1}^N t_i^3 + 2 C_1 \sum_{i=1}^N t_i^2 + 2 D_1 \sum_{i=1}^N t_i^1 + \lambda_0 T_S^1 + \lambda_1 T_S^0 = 2 \sum y_{1i} t_i^1 \\ 2 A_1 \sum_{i=1}^N t_i^3 + 2 B_1 \sum_{i=1}^N t_i^2 + 2 C_1 \sum_{i=1}^N t_i^1 + 2 D_1 \sum_{i=1}^N t_i^0 + \lambda_0 T_S^0 = 2 \sum y_{1i} t_i^0 \end{cases} \quad (2)$$

Перепишемо (3) у матричному вигляді:

$$M * X = Y, \quad (4)$$

де

$$M = \begin{bmatrix} 2 \sum_{i=1}^N t_i^6 & 2 \sum_{i=1}^N t_i^5 & 2 \sum_{i=1}^N t_i^4 & 2 \sum_{i=1}^N t_i^3 & 0 & 0 & 0 & 0 & T_S^3 & 3 T_S^2 \\ 2 \sum_{i=1}^N t_i^5 & 2 \sum_{i=1}^N t_i^4 & 2 \sum_{i=1}^N t_i^3 & 2 \sum_{i=1}^N t_i^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & T_S^2 & 2 T_S^1 \\ 2 \sum_{i=1}^N t_i^4 & 2 \sum_{i=1}^N t_i^3 & 2 \sum_{i=1}^N t_i^2 & 2 \sum_{i=1}^N t_i^1 & 0 & 0 & 0 & 0 & T_S^1 & T_S^0 \\ 2 \sum_{i=1}^N t_i^3 & 2 \sum_{i=1}^N t_i^2 & 2 \sum_{i=1}^N t_i^1 & 2 \sum_{i=1}^N t_i^0 & 0 & 0 & 0 & 0 & T_S^0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 \sum_{i=N+1}^{2N} t_i^6 & 2 \sum_{i=N+1}^{2N} t_i^5 & 2 \sum_{i=N+1}^{2N} t_i^4 & 2 \sum_{i=N+1}^{2N} t_i^3 & -T_S^3 & -3 T_S^2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 \sum_{i=N+1}^{2N} t_i^5 & 2 \sum_{i=N+1}^{2N} t_i^4 & 2 \sum_{i=N+1}^{2N} t_i^3 & 2 \sum_{i=N+1}^{2N} t_i^2 & -T_S^2 & -2 T_S^1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 \sum_{i=N+1}^{2N} t_i^4 & 2 \sum_{i=N+1}^{2N} t_i^3 & 2 \sum_{i=N+1}^{2N} t_i^2 & 2 \sum_{i=N+1}^{2N} t_i^1 & -T_S^1 & -T_S^0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 \sum_{i=N+1}^{2N} t_i^3 & 2 \sum_{i=N+1}^{2N} t_i^2 & 2 \sum_{i=N+1}^{2N} t_i^1 & 2 \sum_{i=N+1}^{2N} t_i^0 & -T_S^0 & 0 \\ T_S^3 & T_S^2 & T_S^1 & 1 & -T_S^3 & -T_S^2 & -T_S^1 & -1 & 0 & 0 \\ 3 T_S^2 & 2 T_S^1 & 1 & 0 & -2 T_S^2 & -2 T_S^1 & -1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$X = \begin{bmatrix} A_1 \\ B_1 \\ C_1 \\ D_1 \\ A_2 \\ B_2 \\ C_2 \\ D_2 \\ \lambda_0 \\ \lambda_1 \end{bmatrix} \quad Y = \begin{bmatrix} 2 \sum y_{1i} t_i^3 \\ 2 \sum y_{1i} t_i^2 \\ 2 \sum y_{1i} t_i^1 \\ 2 \sum y_{1i} t_i^0 \\ 2 \sum y_{2i} t_i^3 \\ 2 \sum y_{2i} t_i^2 \\ 2 \sum y_{2i} t_i^1 \\ 2 \sum y_{2i} t_i^0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Із виразу (4) випливає, що:

$$X = M^{-1} * Y.$$

Зазначимо, що матриці M та M^{-1} не залежать від вхідних відліків y_i , тому вони можуть бути розраховані заздалегідь і прошиті у процесор певного пристрою.

Під час оброблення великих обсягів даних структура матриці M буде такою (рис. 4):

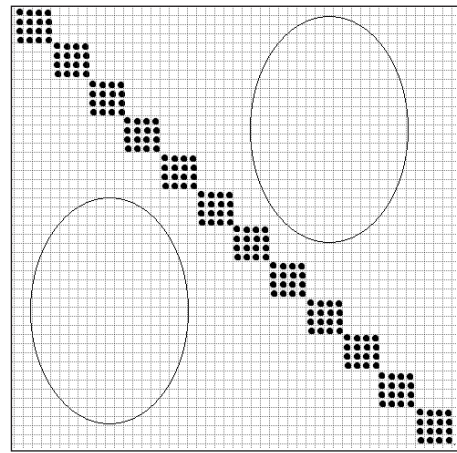


Рис. 4. Розріджена структура базисних матриць

Зазначимо, що матриця дуже розріджена з невеликим додаванням елементів по краям і що в ній багато нулів. Саме така структура забезпечує високу швидкість під час оброблення великих обсягів даних.

На основі вищевикладеного проведемо моделювання на такому прикладі.

$l=0:127;$

$y = \cos(2 * \pi * l * 1.0 * l / 128);$ % Корисний (детермінований) сигнал

$y3 = y + 0.2 * \text{randn}(128, 1);$ % Суміш корисного сигналу та адитивного гаусівського шуму

$N=128;$

$t=1:N;$

$t1=1:64;$

$t2=65:128;$

$TS=64.5;$ % Час склейки

$y1 = y(1:64);$

```

y2=y(65:128)';
M=[2*sum(t1.^6),2*sum(t1.^5),2*sum(t1.^4),2*s
um(t1.^3),0,0,0,0,TS^3,3*TS^2;
 2*sum(t1.^5),2*sum(t1.^4),2*sum(t1.^3),2*sum(
t1.^2),0,0,0,0,TS^2,2*TS^1;
 2*sum(t1.^4),2*sum(t1.^3),2*sum(t1.^2),2*sum(
t1.^1),0,0,0,0,TS^1,TS^0;
 2*sum(t1.^3),2*sum(t1.^2),2*sum(t1.^1),2*sum(
t1.^0),0,0,0,0,TS^0,0;
 0,0,0,0,2*sum(t2.^6),2*sum(t2.^5),2*sum(t2.^4),
2*sum(t2.^3),-TS^3,-3*TS^2;
 0,0,0,0,2*sum(t2.^5),2*sum(t2.^4),2*sum(t2.^3),
2*sum(t2.^2),-TS^2,-2*TS^1;
 0,0,0,0,2*sum(t2.^4),2*sum(t2.^3),2*sum(t2.^2),
2*sum(t2.^1),-TS^1,-TS^0;
 0,0,0,0,2*sum(t2.^3),2*sum(t2.^2),2*sum(t2.^1),
2*sum(t2.^0),-TS^0,0;
 TS^3,TS^2,TS^1,1,-TS^3,-TS^2,-TS^1,-1,0,0;
 3*TS^2,2*TS^1,1,0,-3*TS^2,-2*TS^1,-1,0,0,0];
Y=[2*sum(y1.*t1.^3);
 2*sum(y1.*t1.^2);
 2*sum(y1.*t1.^1);
 2*sum(y1.*t1.^0);
 2*sum(y2.*t2.^3);
 2*sum(y2.*t2.^2);
 2*sum(y2.*t2.^1);
 2*sum(y2.*t2.^0);
 0;
 0];
IM=M^(-1);
X=IM*Y;
A1=X(1)
B1=X(2)
C1=X(3)
D1=X(4)
A2=X(5)
B2=X(6)
C2=X(7)
D2=X(8)

```

```

SP(1:64)=X(1)*t1.^3+X(2)*t1.^2+X(3)*t1.^1+X
(4)*t1.^0;
SP(65:128)=X(5)*t2.^3+X(6)*t2.^2+X(7)*t2.^1+
X(8)*t2.^0;
plot(t,y,t,SP,t,y3),grid

```

Результат моделювання зображено на рис. 5, де синім кольором показано корисний сигнал (детермінована основа), помаранчевим – суміш корисного сигналу та адитивного гаусівського шуму, а червоним – сплайн. Слід зауважити, що на вхід приймача подається саме суміш корисного сигналу із шумом, із яким працює сплайн.

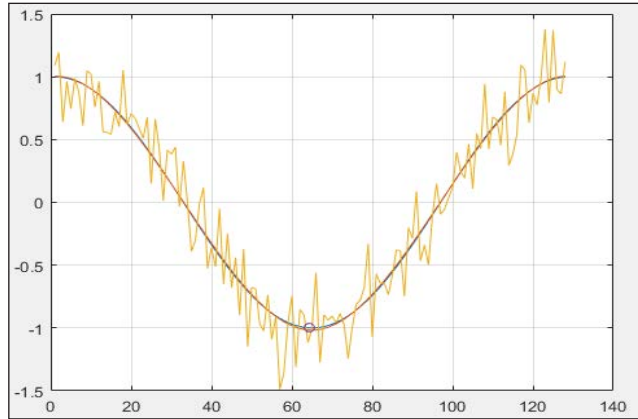


Рис. 5. Результат моделювання

В кінцевому рахунку отримано коефіцієнти кубічних поліномів:

- A1 = 1.5769e-05;
- B1 = -0.0016;
- C1 = 0.0045;
- D1 = 1.0006;
- A2 = -1.5686e-05;
- B2 = 0.0046;
- C2 = -0.3933;
- D2 = 9.6087,

що дає можливість відповідно до цього записати аналітичну функцію поліноміального сплайну:

$$SP(t) = \begin{cases} A_1 t^3 + B_1 t^2 + C_1 t + D_1, & t \in [1:64] \\ A_2 t^3 + B_2 t^2 + C_2 t + D_2, & t \in [65:128] \end{cases}$$

Було підраховано середньоквадратичне відхилення поліноміального сплайну від корисного сигналу $ans = 0.0082$, що майже у 30 разів менше, ніж середньоквадратичне відхилення зашумленого сигналу від корисного $ans = 0.2313$, що вказує на ефективне статистичне вирівнювання зашумленого сигналу.

Розглянемо випадок, коли використовується для моделювання більш складний сигнал (рис. 6).

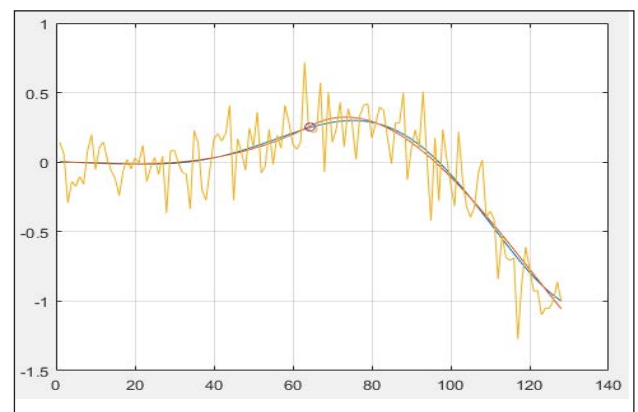


Рис. 6. Результат моделювання другого випадку

У результаті фільтрування у цьому разі середньоквадратична похибка сплайну становить 0.0161, а середньоквадратична похибка зашумленого сигналу – 0.2032, що у понад 12 разів вища.

Висновки. У статті пропонується представлення поліноміальних сплайнів із розрідженою структурою базисних матриць (далі – РСБМ). У цьому разі РСБМ забезпечує високу швидкість під час обчислення сплайнів, що важливо для роботи в реальному часі під час оброблення великих масивів даних.

Крім того, представлено універсальну форму побудови сплайнів для прикладних застосувань у телекомунікаціях та радіотехніці, насамперед для ефективної роботи під час програмування. Представлено чітку програмну реалізацію сплайнів у середовищі програмування MATLAB.

У підсумку було проведено моделювання за допомогою розробленої форми побудови сплайну. У результаті це дозволило знайти аналітичну функцію поліноміального сплайну та довести ефективні властивості фільтрації та згладжування сплайнів.

Список літератури:

1. Малахівський П.С., Скопечкий В.В. Неперервне й гладке мінімаксне сплайн-наближення / за ред. І.В. Сергієнко; НАН України, Ін-т кібернетики ім. В. М. Глушкова, Центр мат. моделювання Ін-ту приклад. пробл. механіки і математики ім. Я. С. Підстригача. Київ: Наук. думка, 2013.
2. Brumback V.A., Rice J. Smoothing spline models for the analysis of nested and crossed samples of curves. *Journal of the American Statistical Association*. V. 93, 1998.
3. Ramsay T.O. Spline smoothing over difficult regions. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B*. V. 64, 2002.
4. Гармаш, В.Н., Малакшинов Н.П., Пузанков В.Ф. Численные методы решения некоторых обратных задач восстановления характеристик излучающих систем по измеренным полям в дальней и ближней зонах. Сборник научно-методических статей по прикладной электродинамике. Москва: Высш. шк., Вып. 5, 1983.
5. I.D. Carry and M. Durban. Flexible smoothing with P-splines: a unified approach. *Statistical Modelling*, 2002.
6. Силаев Д.А., Амилющенко А.В., Лукьянов А.И., Коротаев Д.О. Полулокальные сглаживающие сплайны класса S_1 . Труды семинара имени И.Г. Петровского. Москва, Вып. 26, 2007.
7. Альберг Дж., Нильсон Э., Уолш Дж. Теория сплайнов и ее применение. Москва, «Мир», 1972.

ПОЛИНОМИАЛЬНЫЙ СПЛАЙН ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯХ И РАДИОТЕХНИКЕ

В статье предлагается представление сплайнов с разреженной структурой базисных матриц. Благодаря этому порождается высокое быстродействие при исчислении больших массивов данных. Вместе с тем, разработана форма построения полиномиальных сплайнов, что способствует эффективной работе во время программирования. В то же время проведено моделирование с помощью разработанной формы построения сплайна. В итоге было найдено аналитическую функцию полиномиального сплайна и доказано эффективные свойства фильтрации сплайнов.

Ключевые слова: сплайн, полином, матрица, фильтрация, радиолокация, сотовая сеть.

POLYNOMIAL SPLINE FOR SOLVING APPLIED PROBLEMS IN TELECOMMUNICATIONS AND RADIO ENGINEERING

The article proposes the representation of splines with a rarefied structure of basic matrices. This generates high performance in computing large amounts of data. However, a form of constructing polynomial splines has been developed, which contributes to efficient work during programming. At the same time, the simulation was carried out using the developed form of the spline construction. In the end, the analytic function of the polynomial spline was found and the effective properties of the spline filtration have been proved.

Key words: spline, polynomial, matrix, filtration, radar, cellular network.

УДК 681.586.772

Таранчук А.А.

Хмельницький національний університет

ЕЛЕКТРИЧНА МОДЕЛЬ П'ЄЗОРЕЗОНАНСНОГО МЕХАНОТРОНА З ЄМНІСНИМ КЕРУВАННЯМ

У роботі представлена електрична модель п'єзореzonансного механотрона з ємнісним керуванням. Проведений чисельний аналіз характеристик керованості п'єзореzonансних механотронів двох типів: з використанням зовнішньо-підключеного до п'єзореzonатора ємнісного чутливого елемента та збудженням п'єзоелемента в змінному зазорі, який модулюється під впливом вимірювальної фізичної величини. Визначено обґрунтованість використання основних підходів у проектуванні вимірювальних перетворювачів механотронного типу з ємнісним керуванням.

Ключові слова: кварцовий резонатор, п'єзореzonансний механотрон, ємнісне керування, електрична модель, чисельне моделювання.

Постановка проблеми. П'єзореzonансні сенсори – один з найбільш універсальних типів первинних вимірювальних перетворювачів. Універсальність п'єзореzonатора (ПР) як перетворювача фізичних величин визначається його вибірковістю реакцій на дії різної фізичної природи та можливістю варіювати властивостями ПР у широких межах, які закладені в анізотропії п'єзоелектриків та різноманітті типів коливань п'єзоелементів [1].

Разом з тим у побудові вимірювальних перетворювачів сили і фізичних величин, які можуть бути приведені до неї, наприклад тиску, на базі керованих кварцових резонаторів (КР) із використанням ефекту тензочутливості КР доводиться вирішувати складну проблему сполучення силопередавального елемента з кварцовим п'єзоелементом. Широкі можливості у вирішенні цих завдань відкриваються у разі застосування безконтактного ємнісного частотного керування кварцовим резонатором. Під час використання цього методу частотного керування добротність кварцової коливальної системи практично не змінюється, а також не вноситься додатковий фазовий шум [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Є два підходи щодо побудови п'єзореzonансних перетворювачів неелектричних величин – п'єзореzonансних механотронів (далі – ПРМТ) з безконтактним ємнісним керуванням: використання зовнішньо-підключеного до КР ємнісного чутливого елемента (ЄЧЕ) [4; 5] та збудження п'єзоелемента в змінному зазорі, який модулюється під впливом вимірювальної фізичної величини [2; 6–10]. Характерним прикладом реалізації першого підходу є сенсор тиску з ємнісним барочутливим елементом, який складається з метале-

вого корпусу, розділеного на дві частини керамічною або ситаловою перегородкою, з одного боку якої знаходиться ЄЧЕ, а з іншого – електронна схема сенсора. При цьому ємнісний барочутливий елемент включений у контур автогенератора ПРМТ послідовно з кварцовим резонатором і складений з жорсткої основи та мембрани з нанесеними на них електродами. Для зменшення гістерезису, старіння та температурних похибок основа і мембрана виконані з монокристалічного кварцу. Внутрішній об'єм, який містить електронну схему, герметизований. З'єднання з джерелом тиску здійснюється через штуцер, який вмонтовано в кришку сенсора [3].

Типовим прикладом реалізації другого підходу є конструкція ПРМТ зі змінною ємністю зазору збудження п'єзоелемента (ПЕ), який складається з циліндричного корпусу і мембрани, виготовлених з кварцового скла як єдине ціле. У підмембранній порожнині встановлено кварцовий п'єзоелемент АТ-зрізу, притиснутий тарілчастою пружиною до виступів основи мембрани. На внутрішню поверхню мембрани напилений рухомий електрод, нерухомий електрод нанесений на протилежну щодо підмембранної порожнини поверхню ПЕ. Зовнішні електричні виводи з'єднані з рухомим і нерухомим електродами, за допомогою яких ПРМТ підключається до коливальної системи автогенератора [7].

Запропонований [8–10] мембранний сенсор надлишкового тиску складається з полістиролового корпусу, який з'єднується з металевою основою за допомогою клею. У донній частині основи сенсора встановлено вузол кварцоутримувача, на робочу поверхню якого співвісне встановлений плоский дисковий п'єзоелемент АТ-зрізу.

Круглий електрод, що напилений на звернену до кварцоутримувача поверхню, електрично з'єднаний з потенційним виводом сенсора. Кварцовий резонатор, ПЕ з металевою мембраною, включений у схему автогенератора потенційним виводом і загальним виводом сенсора – корпусною поверхню основи. За тиску, що перевищує атмосферний, відбувається прогин мембрани, у результаті чого зменшується зазор збудження, що призводить до зниження резонансної частоти кварцового резонатора ПРМТ.

Постановка завдання. Незважаючи на суттєві переваги використання ПРМТ з ємнісним керуванням як вимірювальних перетворювачів неелектричних величин, основними з яких є високі чутливість, точність та стабільність характеристик, вони мають низку суттєвих недоліків, які обмежують їхні функціональні можливості. Зокрема, низька інформаційна девіація частоти та нелінійність перетворення, притаманна всім керованим кварцовим системам, складність конструкції та висока чутливість до технологічних похибок під час їх реалізації. Це зумовлює необхідність проведення дослідження характеристик ПРМТ з ємнісним керуванням та оптимізацію їх конструкції з урахуванням виникаючих електричних паразитних зв'язків, притаманних таким конструкціям, технологічних розкидів та інших негативних факторів впливу.

Метою роботи є побудова електричної моделі ПРМТ з ємнісним керуванням та проведення аналізу їх характеристик керованості для визначення обґрунтованості використання основних підходів під час проектування вимірювальних перетворювачів такого типу.

Електрична модель ПРМТ. Для дослідження електричних характеристик ПРМТ розглянемо його електричну еквівалентну схему (рис. 1), основним елементом якої є кварцовий резонатор з еквівалентними динамічними індуктивністю L_q , ємністю C_q , опором втрат R_q та паралельною ємністю C_0 . Послідовно з КР підключена ємність керування C_{contr} та індуктивність L_{ext} (за необхідності) для збільшення діапазону керування і підвищення його лінійності. До еквівалентної електричної схеми також включені характерні конструкції ПРМТ паразитні ємності C_{par1} та C_{par2} , які суттєво впливають на характеристики керованості ПРМТ. Якщо передбачається збудження кварцового резонатора в двочастотному (багаточастотному) режимі, то еквівалентна схема КР може бути розширена шляхом використання додаткових динамічних кіл L'_q, C'_q, R'_q , кількість

яких має відповідати кількості додаткових мод коливань, що збуджуються (рис. 1).

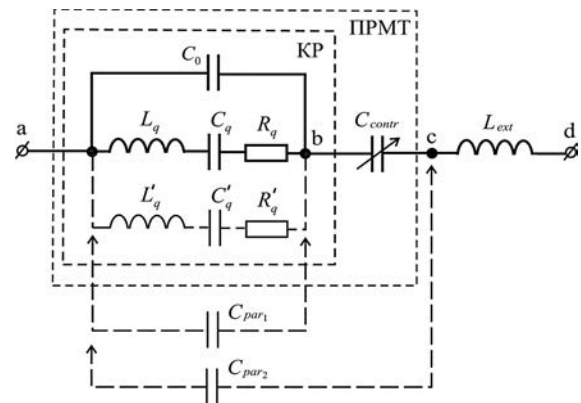


Рис. 1. Еквівалентна електрична схема ПРМТ

Для аналізу еквівалентної електричної схеми ПРМТ як складної багаточастотної п'єзоколивальної системи (БПКС) використаємо методу, яка запропонована в [11]. Знайдемо провідність між точками а – б еквівалентної схеми ПРМТ (рис. 1):

$$Y_{ab} = \frac{1}{Z'_{KP}} = \frac{1}{Z_q} + Y_{C_0} = \frac{1}{R_q(1 + j\xi_q)} + j\omega C'_0 = \frac{1 - \tau'_c \xi_q + j\tau'_c}{R_q(1 + j\xi_q)}, \quad (1)$$

де $Z_q = R_q(1 + j\xi_q)$ – комплексний еквівалентний опір послідовної L_q, C_q, R_q гілки КР поблизу резонансу; $Y_{C_0} = j\omega C'_0 = j\omega(C_0 + C_{par1})$ – комплексна провідність паралельно з'єднаних ємностей C_0 і C_{par1} ; $\xi_q = Q\left(\frac{\omega}{\omega_q} - \frac{\omega_q}{\omega}\right) \approx 2Q\delta_q$ – узагальнена розстройка стосовно частоти послідовного резонансу

$$\omega_q = 2\pi f_q = \frac{1}{\sqrt{L_q C_q}}; \quad \delta_q = \frac{\omega - \omega_q}{\omega_q} - \text{відносне відхилення частоти}$$

$Q = \frac{\sqrt{L_q/C_q}}{R_q}$ – добротність КР; $\tau'_c = \omega R_q C'_0$ – співвідношення опорів втрат R_q і паралельної ємності $1/\omega C'_0$;

Фактор якості $M = \frac{1}{\tau'_c}$ (паралельна добротність КР) визначає активність кварцового резонатора під час підключення його до схеми автогенератора ($M \gg 1$).

Далі знайдемо еквівалентний опір послідовного з'єднання Z'_{KP} та ємності керування C_{contr} :

$$Z'_{KP,cont} = Z'_{KP} + Z_{C_{cont}} = \frac{R_q(1 + j\xi_q)}{1 - \tau'_c \xi_q + j\tau'_c} + \frac{1}{j\omega C_{contr}} = \frac{R_q(1 - \xi_q T_1 + jT_1)}{-T_2 + j(\tau_{contr} - T_2 \xi_q)}, \quad (2)$$

де $\tau_{contr} = \omega C_{contr} R_q$ – аналогічно τ'_0 введено співвідношення опорів втрат R_q і ємності керування $1/\omega C_{contr}$; $T_1 = \tau_{contr} + \tau'_c$; $T_2 = \tau_{contr} \tau'_c$.

Свою чергою провідність між точками а – с буде визначатись як:

$$Y_{ac} = \frac{1}{Z_{ac}} = \frac{1}{Z'_{KP,cont}} + Y_{par2} = \frac{-T_2 + j(\tau_{contr} - T_2 \xi_q)}{R_q(1 - \xi_q T_1 + jT_1)} + j\omega C_{par2} = \frac{-(T_1 \tau'_c + T_2) + j(\tau_{contr} + \tau'_c - \xi_q(T_1 \tau'_c + T_2))}{R_q(1 - \xi_q T_1 + jT_1)}, \quad (3)$$

де $\tau_C'' = \omega R_q C_{par_2}$ – співвідношення опорів втрат R_q і паразитної ємності $1/\omega C_{par_2}$.

Тоді аналітичний вираз для комплексного еквівалентного опору електричної схеми ПРМТ з урахуванням подовжуючої індуктивності L_{ext} (рис. 1) виглядатиме:

$$Z_{ПРМТ} = Z_{ad} = Z_{ac} + j\omega L_{ext} = R_q \times \left\{ \frac{1 - \xi_q T_1 - \frac{1}{\tau_L'} (\tau_{contr} + \tau_C'' - \xi_q T_3) + j \left(T_1 - \frac{T_3}{\tau_L'} \right)}{-T_3 + j (\tau_{contr} + \tau_C'' - \xi_q T_3)} \right\}, \quad (4)$$

де $\tau_L' = R_q / \omega L_{ext}$ – співвідношення опорів втрат R_q і подовжуючої індуктивності ωL_{ext} ; $T_3 = T_1 \tau_C'' + T_2$.

Таким чином, отриманий еквівалентний електричний опір ПРМТ $Z_{ПРМТ}$ (4) можна представити у стандартному вигляді:

$$Z_{ПРМТ}(j\omega) = \frac{a_1 + jb_1}{a_2 + jb_2}, \quad (5)$$

$$\text{де } a_1 = R_q \left(1 - \xi_q T_1 - \frac{T_4}{\tau_L'} \right); \quad b_1 = R_q \left(T_1 - \frac{T_3}{\tau_L'} \right); \quad a_2 = -T_3; \\ b_2 = T_4; \quad T_4 = \tau_{contr} + \tau_C'' - \xi_q T_3.$$

Аналіз (5) дає змогу визначити основні електричні параметри п'єзоколивальної системи ПРМТ: частоти послідовного резонансу f_r , ω_r та паралельного резонансу (антирезонансу) f_{par} , ω_{par} ; еквівалентну добротність (фіксує здатність) Q_{eq} ; еквівалентний опір втрат (ESR) та інші. Так, прирівнявши уявну частину $\text{Im}(Z_{ПРМТ}(j\omega))$ (5) до нуля ($b_1(\xi_q) a_2(\xi_q) - a_1(\xi_q) b_2(\xi_q) = 0$), отримаємо рівняння стосовно узагальненої розстройки ξ_q , яке дає змогу визначити резонансні частоти ПРМТ як багатоеlementної БПКС:

$$k_2 \cdot \xi_q^2 + k_1 \cdot \xi_q + k_0 = 0, \quad (6)$$

$$\text{де } k_0 = \tau_{contr} + \tau_C'' + T_1 T_3 - \frac{1}{\tau_L'} \left((\tau_{contr} - \tau_C'')^2 + T_3^2 \right);$$

$$k_1 = \left(\frac{2}{\tau_L'} T_3 - T_1 \right) (\tau_{contr} + \tau_C'') - T_3; \quad k_2 = T_3 \left(T_1 - \frac{T_3}{\tau_L'} \right).$$

Виділивши дійсну частину $\text{Re}(Z_{ПРМТ}(j\omega))$ (5), отримаємо еквівалентні послідовний (ESR) та паралельний (EPR) опори БПКС:

$$\text{ESR} = \text{Re}(Z_{ПРМТ}(j\omega)) \Big|_{\omega = \omega_r} \quad i \\ \text{EPR} = \text{Re}(Z_{ПРМТ}(j\omega)) \Big|_{\omega = \omega_{par}}, \quad (7)$$

$$\text{де } \text{Re}(Z_{ПРМТ}(j\omega)) = \frac{a_1(\omega) \cdot a_2(\omega) + b_1(\omega) \cdot b_2(\omega)}{(a_2(\omega))^2 + (b_2(\omega))^2}$$

– дійсна частина комплексного еквівалентного опору $Z_{ПРМТ}(j\omega)$.

Одним із найважливіших параметрів коливальної системи є її фіксує здатність σ , яка безпосе-

редньо пов'язана із еквівалентною добротністю Q_{eq} :

$$\sigma = \omega \left| \frac{d\phi(\omega)}{d\omega} \right|_{\omega = \omega_r} \approx 2Q_{eq}, \quad (8)$$

де $\frac{d\phi(\omega)}{d\omega}$ – крутизна фазочастотної характеристики ПРМТ $\phi(\omega)$ поблизу резонансу.

Для визначення $\phi(\omega)$ представимо еквівалентний комплексний опір ПРМТ (5) в експоненціальній формі:

$$Z_{ПРМТ}(j\omega) = |Z(\omega)| \exp^{j\phi(\omega)}, \quad (8)$$

$$\text{де } \phi(\omega) = \phi_1(\omega) - \phi_2(\omega) = \text{arctg} \left(\frac{b_1}{a_1} \right) - \text{arctg} \left(\frac{b_2}{a_2} \right).$$

Відповідно, з урахуванням (5) та (8) отримаємо:

$$\left| \frac{d\phi(\omega)}{d\omega} \right| = \left| \frac{a_1(\omega) \frac{db_1(\omega)}{d\omega} - b_1(\omega) \frac{da_1(\omega)}{d\omega}}{(a_1(\omega))^2 + (b_1(\omega))^2} - \frac{a_2(\omega) \frac{db_2(\omega)}{d\omega} - b_2(\omega) \frac{da_2(\omega)}{d\omega}}{(a_2(\omega))^2 + (b_2(\omega))^2} \right|, \quad (9)$$

$$\text{де } \frac{da_1(\omega)}{d\omega} = R_q \frac{\omega_q}{2Q} (-T_1 + T_3/\tau_L');$$

$$\frac{db_1(\omega)}{d\omega} = \frac{da_2(\omega)}{d\omega} = 0; \quad \frac{db_2(\omega)}{d\omega} = -\frac{\omega_q}{2Q} T_3.$$

Чисельне моделювання п'єзорезонансної коливальної системи ПРМТ з ємнісним керуванням. Проведемо аналіз характеристик коливальної системи ПРМТ на основі плоского кварцового п'єзоелемента АТ-зрізу (діаметр 12 мм) з такими параметрами [8–10]: частота основного резонансу $f_q = 10,009987$ МГц за добротності $Q = 103000$ і динамічного опору $R_q = 24$ Ом; паралельна ємність $C_0 = 3,5$ пФ.

На рис. 2 представлені залежності частоти послідовного резонансу $\Delta F_r = f_r - f_q$ (рис. 2а), паралельного резонансу $\Delta F_{par} = f_{par} - f_q$ (рис. 2б), еквівалентного послідовного опору втрат ESR (рис. 2в) та фактора якості $q = Q_{eq}/Q$ (рис. 2г) за змін ємності керування C_{contr} та паразитної ємності C_{par_1} .

Аналіз отриманих даних підтверджує високу ефективність керування послідовно включеною ємністю C_{contr} . Він показує, що характеристики керування носять суто нелінійний характер. Так, для значень $C_{contr} \in [1,5; 5]$ пФ крутизна характеристики керування $S_{contr} = \Delta F_r / \Delta C_{contr}$ знаходиться в межах (550...600) Гц/пФ, а для значень $C_{contr} \in [20; 30]$ пФ – на рівні 30 Гц/пФ. Водночас можна виділити ділянки з практично лінійними залежностями $\Delta F_r(C_{contr})$, наприклад, $C_{contr} \in [1,5; 4]$ пФ або $C_{contr} \in [17,5; 30]$ пФ (рис. 2, а, залежність 1). Але використання першої ділянки супроводжується різким зростанням (практично на порядок) послідовного опору ESR (рис. 2в, залежність 1), що значно підвищує вимоги до активної частини (її параметра регенерації) коливальної системи ПРМТ, яка має забезпечувати стійкий режим коливань в умовах зменшення активності

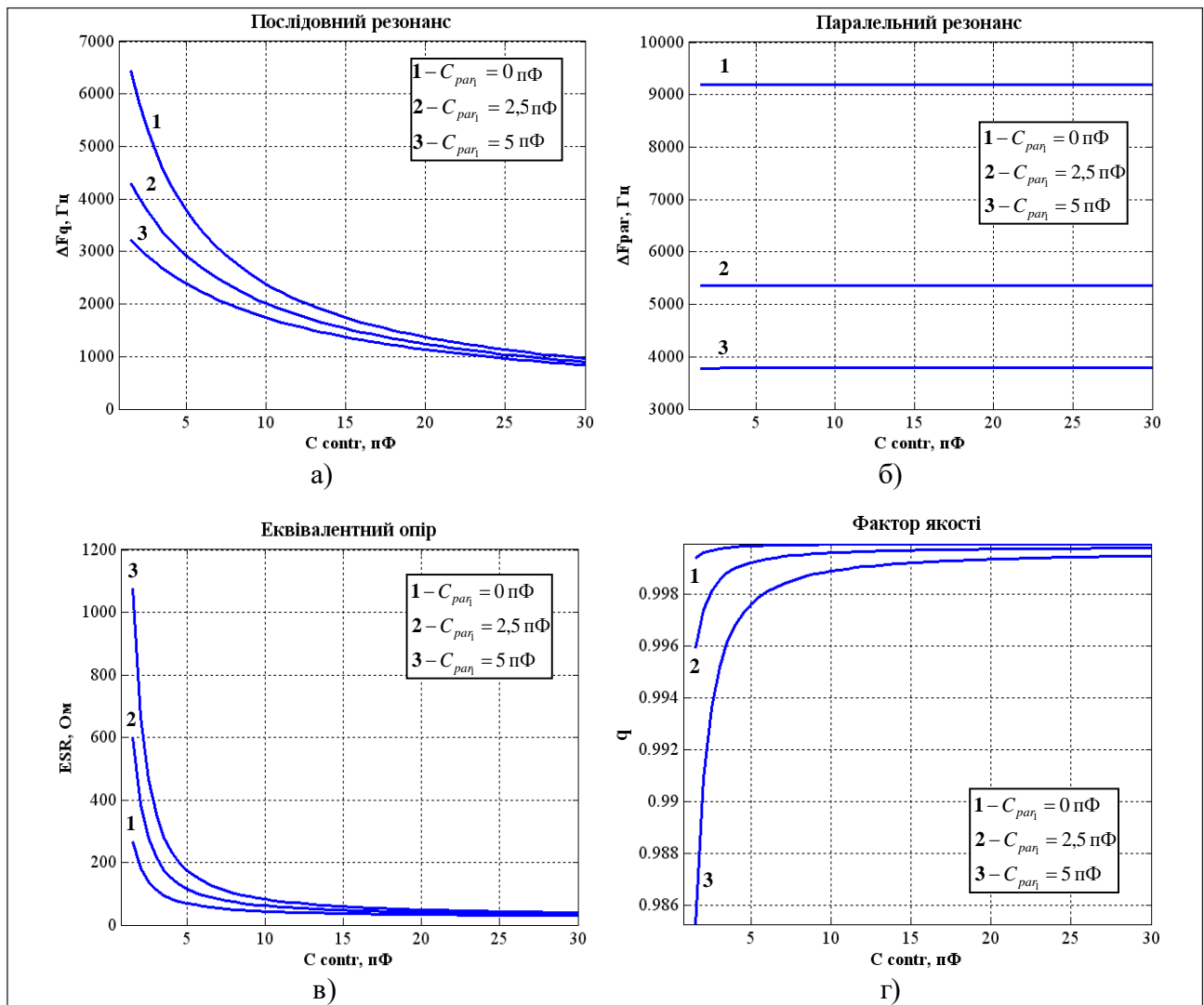


Рис. 2. Залежності зсувів послідовного ΔF_s (а) та паралельного ΔF_{par} (б) резонансів, еквівалентного послідовного опору ESR (в) та фактора якості q (г) коливальної системи ПРМТ за змін паразитної ємності C_{par1}

кварцового резонатора (фактора M). Хоча загалом втрати добротності не перевищують 1%, що потенційно забезпечує високу стабільність коливань, що генеруються (рис. 2г, залежність 1).

Природно, послідовний спосіб керування частотою ПРМТ мало впливає на частоту паралельного резонансу його коливальної системи (рис. 2б залежність 1), що є підтвердженням адекватності запропонованої електричної моделі.

Підключення зовнішніх додаткових елементів керування до кварцового п'єзоелемента ПРМТ супроводжується і негативними явищами. Так, наявність відносно великої паразитної ємності $C_{par1} \in [2,5; 5]$ пФ призводить до суттєвого зменшення крутизни характеристики керування (до 2 разів) та різкого зростання ESR (до 5 разів) на ділянці $C_{contr} \in [1,5; 5]$ пФ з максимальною крутиз-

ною S_{contr} (рис. 2а, 2г, залежності 1, 3). Компенсувати деякою мірою такий негативний ефект від наявності C_{par1} можна шляхом включення подовжуючої індуктивності L_{ext} (рис. 1), яка збільшує діапазон перестроювання та покращує лінійність характеристики керування за рахунок використання області частот, нижчих ніж f_q (рис. 3 а, $C_{contr} \in [17,5; 30]$ пФ).

Слід зауважити, що при цьому для відносно великих значень $C_{par1} \in [2,5; 5]$ пФ еквівалентний опір ESR також суттєво збільшується відповідно до рис. 2в.

Інша ситуація складатиметься у разі використання способу керування ПРМТ за рахунок модуляції ємності міжелектродного зазору збудження (рис. 3б) [8–10]. Оскільки виникаюча при цьому паралельна паразитна ємність C_{par2} включена через ємність керування C_{contr} (рис. 1), вона зна-

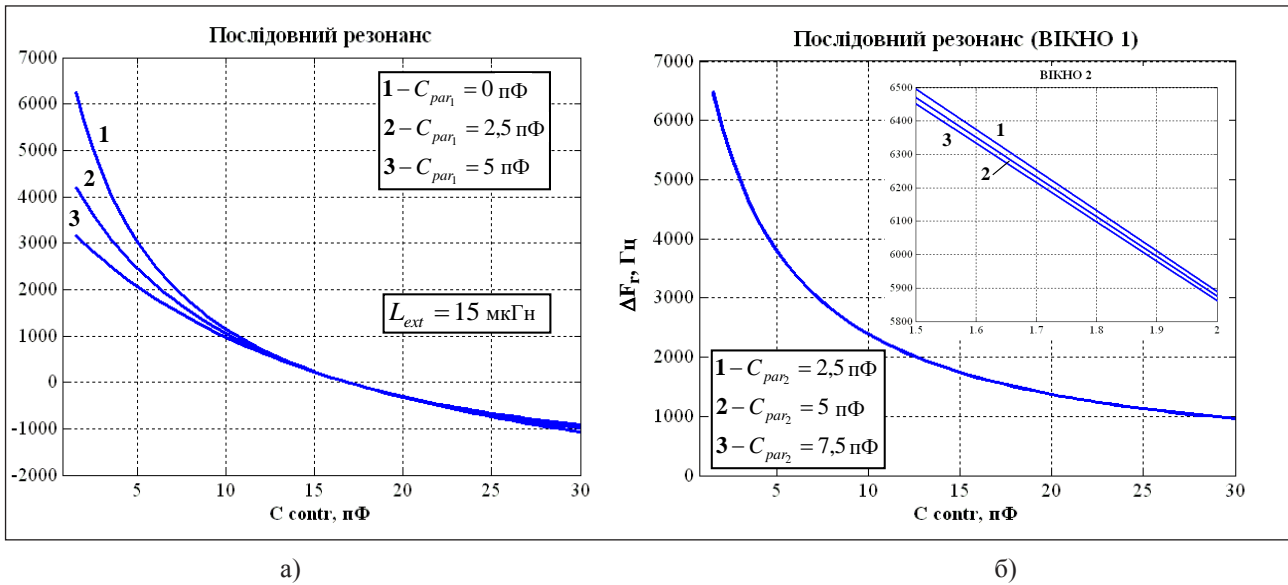


Рис. 3. Характеристики ПРМТ у зовнішньоємнісному керуванні із включенням індуктивності L_{ext} (а) і модуляції ємності міжелектродного зазору (б)

чно менше впливає на характеристику керування ПРМТ, крутизна якої S_{contr} наближається до максимально можливих значень (рис. 3 б, ВІКНО 2, залежності 1–3). При цьому характер варіацій еквівалентного опору ESR та фактора якості q у межах значень $C_{contr} \in [1,5; 30]$ пФ максимально наближається до залежностей, представлених на рис. 2в, 2г, залежності 1.

Висновки. Результати комп’ютерного моделювання коливальної системи ПРМТ підтверджують високу ефективність обраного способу ємнісного керування. Водночас підключення зовнішніх елементів до кварцового п’єзоелемента ПРМТ завжди супроводжується виникненням паразитних зв’язків, які суттєво погіршують характеристики керування.

Найбільш раціональним є використання ємнісного керування ПРМТ, яке базується на модуляції міжелектродного зазору збудження кварцового п’єзоелемента. У такому разі вдається значно зменшити вплив паразитних зв’язків та наблизити характеристики керування ПРМТ до потенційно можливих.

Для найбільш повного використання діапазону перестроювання частоти ПРМТ за допомогою послідовного ємнісного керування необхідно забезпечити високу стійкість коливальних генераторів в умовах суттєвого зменшення фактора активності кварцового п’єзоелемента M , що зумовлює використання автогенераторів, побудованих за фільтровою схемою.

Список літератури:

1. Шарапов В.М., Мусиенко М.П., Шарапова Е.В. Пьезоэлектрические датчики. М.: Техносфера, 2006. 628 с.
2. Taranchuk A., Pidchenko S. Applied Measurement System. Design Methodology to Construct Information Measuring Systems Built on Piezoresonant Mechanotrons with a Modulated Interelectrode Gap. Published by InTech, Janeza Trdine 9, 51000 Rijeka, Croatia. 2012. Chapter 12. pp. 229–258.
3. Steinern C., Janshoff A. Piezoelectric Sensors. Springer Series on Chemical Sensors and Biosensors. Published by Springer. ISBN-13978-3-540-36567-9. Berlin Heidelberg New York. 2006. Vol. 5.
4. Малов В.В. Пьезорезонансные датчики. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1989. 272 с.: ил.
5. Малов В.В., Симонов В.Д., Ключко А.В. Датчики давления на основе кварцевого генератора, управляемого ёмкостным чувствительным элементом. Радиотехника. 1986. № 11. С. 44–47.
6. Вильщук В.А., Фроловский С.В. Пьезорезонансные датчики с переменным зазором. Пьезо- и акустоэлектронные устройства. Омск. 1981. С. 102–105.
7. Датчик давления: а.с. 1812458 СССР: G 01L9/08. № 1812458; заявл. 27.05.91; опубл. 30.04.93, Бюл. № 16. 4 с.
8. Датчик тиску: пат. 44108А Україна: МКІ 7 G 01L 9/08. № u2001053030; заявл. 04.05.2001, опубл. 15.01.2002, Бюл. № 1.
9. Датчик тиску: пат. 59936А Україна: МКІ 7G 01L9/08, G 01L 9/12. № u2002129829; заявл. 09.12.2002, опубл. 15.09.2003, Бюл. № 9.

10. Датчик давления: пат. Российская Федерация, МПК G 01L 9/08. № 2430344; заявл. 18.05.2010, опубл. 27.09.2011. Бюл. № 27.

11. Підченко С.К. Теорія і реалізаційні основи інваріантних багаточастотних п'єзореzonансних пристроїв та систем: монографія. Хмельницький: ХНУ, 2014. 400 с.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЬЕЗОРЕЗОНАНСНОГО МЕХАНОТРОНА С ЁМКОСТНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

В работе представлена электрическая модель пьезорезонансного механотрона с ёмкостным управлением. Проведен численный анализ характеристик управляемости пьезорезонансных механотронов двух типов: с использованием внешне подключенного к пьезорезонатору ёмкостного чувствительного элемента и возбуждением пьезоэлемента в переменном зазоре, модулирующимся под влиянием измерительной физической величины. Определена обоснованность использования основных подходов при проектировании измерительных преобразователей механотронного типа с ёмкостным управлением.

Ключевые слова: кварцевый резонатор, пьезорезонансный механотрон, ёмкостное управление, электрическая модель, численное моделирование.

ELECTRIC MODEL OF A PIEZORESONANCE MECHANOTRON WITH CAPACITIVE CONTROL

The electric model of piezoresonance mechanotron (PRMT) with capacitive control is presented in the paper. A numerical analysis for piezoresonance mechanotrons with controllability characteristics for two types is carried out: using an external capacitive sensing element connected to the piezoresonator and excitation of the piezoelectric element in the movable gap. This gap is modulated under the influence of the measuring physical quantity. The substantiality of the use of the basic approaches in designing of measuring transducers of mechanotron type with capacitive control is determined.

Key words: quartz resonator, piezoresonance mechanotron, capacitive control, electric model, numerical analysis.

ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

УДК 004.9

Білецький І.А.

Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова
Національної академії наук України

Будник М.М.

Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова
Національної академії наук України

РОЗРОБКА АРХІТЕКТУРИ ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОННИХ КАБІНЕТІВ ЛІКАРЯ-КАРДІОЛОГА ТА ПАЦІЄНТА

Розглянуто вимоги до телемедичної системи аналізу та відображення кардіологічних сигналів. Запропоновано архітектуру та програмно-апаратну реалізацію такої системи. Розроблено телемедичну систему електронних кабінетів лікаря-кардіолога та пацієнта. Система здійснює реєстрацію, оброблення та накопичення ЕКГ сигналів та варіабельності серцевого ритму пацієнтів та візуалізацію за допомогою зручного веб-інтерфейсу. Сьогодні система тестується на сайті компанії Cardiolyse.

Ключові слова: телемедичні системи, архітектура клієнт-сервер, медичні гаджети, електрокардіографія, варіабельність ритму серця.

Постановка проблеми. Найпоширенішою причиною смертності у всьому світі є хвороби систем кровообігу (далі – ХСК), тобто серцево-судинні захворювання. Особливо актуальною ця проблема є саме для України, де на ХСК припадає більше 68% усіх випадків смерті. При цьому за коефіцієнтом смертності населення (15,3%) Україна випереджає всі країни Європи, входячи в десятку країн із найвищими у Європі показниками смертності [1].

Для своєчасної діагностики та доступу до висококваліфікованого медичного персоналу доцільно використовувати інструменти телемедицини. У зв'язку з розробкою, здешевленням та поширенням портативних ЕКГ пристроїв та фотоплетизмографів, які дають можливість знімати покази варіабельності серцевого ритму, постає питання створення програмної платформи, що дозволяла б проводити аналіз таких медичних сигналів та створила б канал комунікації пацієнтів, що мають підвищені ризики розвитку серцево-судинних захворювань із кваліфікованими лікарями кардіологами.

Постановка завдання. Завдання – розробити архітектуру та створити програмну систему для лікаря-кардіолога та пацієнта, яка має задовольняти наступним вимогам:

– зберігати та обробляти кардіограми та ритмограми;

– надавати зручний доступ лікареві та пацієнтові до результатів обробки та до сирих даних, представляти їх у зручному та зрозумілому форматі;

– зберігати особисті дані пацієнтів згідно з політикою конфіденційності та відповідності стандартам Європейського Союзу;

– зберігати дані та результати оброблення невизначений час;

– підтримувати велику кількість моніторених осіб та лікарів;

– забезпечити зручний механізм доступу до персональних даних.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Архітектура системи. Натепер на ринку представлена велика кількість портативних приладів для моніторингу життєвих показників людини. Такі прилади – фітнес-браслети з убудованим фотоплетизмографічним сенсором, що реєструє пульсову хвилю, яка поширюється кровеносними судинами внаслідок серцевих скорочень. На жаль, більшість популярних браслетів (такі як Mi Band або Apple Watch) не мають достатньої точності щоб фіксувати варіабельність серцевого ритму

(далі – BCP). Однак з'являються більш професійні (проте дорожчі і тому менш розповсюджені) пристрої, що можуть надавати таку інформацію. Прикладами таких приладів є продукти компаній Polar, Cosinuss, PulseOn тощо.

Крім того, розвивається ринок кишенькових кардіографів, які можуть знімати повноцінну 1-канальну (в деяких приладах (за наявності додаткових нагільних електродів) багатоканальну) ЕКГ. Прикладами таких пристроїв є NeuroSky, Solvaig, Faros.

Їх використання дозволяє отримати цифрову ЕКГ у будь-який момент часу у будь-якому місці, а також (за наявності відповідної хмарної програмної системи) проаналізувати і продемонструвати її лікарю. Загальна структура системи показана на рис. 1.

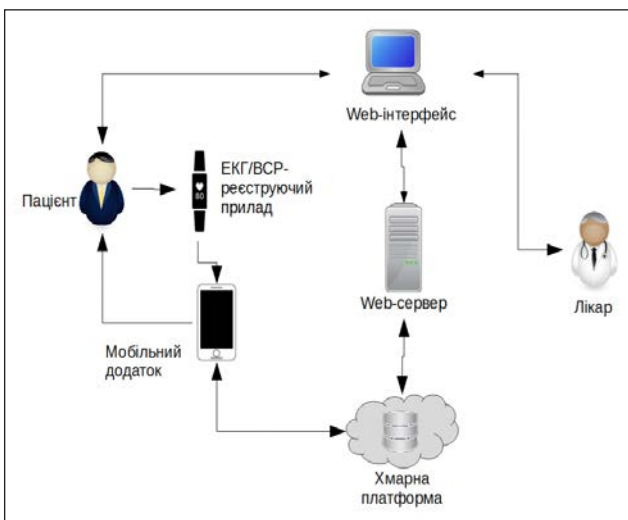


Рис 1. Загальна архітектура пропонованої телемедичної системи

Програмна реалізація. Система складається з 4-х окремих частин:

- 1) клієнтський додаток для Android, що приймає дані з ЕКГ/BCP реєструвального приладу та надсилає дані на сервер. Крім того, виконує роль візуалізації та представлення оброблених даних пацієнтові;
- 2) хмарна платформа для приймання даних від клієнтів, оброблення, збереження та контролю з подальшим доступом до них;
- 3) web-сервер для зв'язку з хмарною платформою та обслуговування web-інтерфейсу;
- 4) web-інтерфейс у вигляді кабінету для лікаря та пацієнта.

Хмарна платформа реалізує REST API [2] інтерфейс для взаємодії з клієнтами. Для написання веб-серверу застосовано мову програмування Java та фреймворк Spring [3], який спрощує та прискорює розробку складних веб-сервісів. Одним із клієнтів

хмарної платформи є Android-аплікація, що виступає у вигляді джерела необроблених даних та відображає користувачеві (пацієнту) результати комп'ютерної обробки ЕКГ/BCP сигналу.

Іншим клієнтом є Web-сервер, що виступає як проху-сервер і виконує роль обслуговування web-інтерфейса та реалізує зручне API для представлення даних пацієнта у вигляді web-застосунку. Web-сервер реалізовано на базі платформи Node.js [4] на мові програмування JavaScript із застосуванням фреймворку Express.js [5]. Web-аплікація розроблена на мові JavaScript із використанням бібліотек JQuery [6] та Bootstrap 3 [7].

Для облікового запису лікаря вигляд кабінету представлено на рис.2. У лівій колонці знаходиться список пацієнтів з ідентифікаційними даними, справа – кабінет обраного пацієнта, що має вигляд списку його останніх ЕКГ/BCP записів, у якому візуалізується його ризик серцевих розладів (Risk Level) та інтегральна оцінка серцевого стану (Overall wellbeing score). Для кожного запису можна подивитись скорочений та повний (рис. 3) аналіз, а також подивитись сирі кардіограму та усереднений QRS-комплекс (тільки для ЕКГ записів) (рис.4).

Для пацієнта представляється та сама інформація за винятком розгорнутого аналізу та сирих даних. Окрім того, web-аплікація надає можливість редагувати профіль користувача та керувати доступом до приватних даних пацієнта, надаючи та забороняючи тим чи іншим лікарським обліковим записам переглядати його приватні дані.

Висновки. Комп'ютерний аналіз біомедичних сигналів є актуальним питанням світової медицини. Окрім того, виникає необхідність у побудові телемедичних систем, що дозволить зв'язати віддалених один від одного пацієнтів та лікарів.

Розроблена система забезпечує моніторинг довільної кількості пацієнтів, аналіз даних кардіологічних вимірювань та представлення довільної кількості лікарів. Наразі система перебуває у пілотному випробуванні на фінської компанії Cardiolyse. Під час аналізу даних використовуються створені діагностичні методики бальної оцінки ЕКГ згідно з ВО 2017/010963 [8].

У таких системах, як ЕКГ-реєстратори, також можуть бути застосовані вітчизняні портативні електрокардіограф чи ЕКГ-фотометричний комплекс, створені раніше у співдружності з НВП «Метекол» (м. Ніжин) [9–10] (під час застосування ноутбука замість смартфона та дротового зв'язку). Проте ці прилади не можуть носитися пацієнтом, тому така телемедична система не

Cardiolyse.me Heart Health Monitoring

Search... Sort By: Surname

History Trends

Date/Time	Risk level	Overall wellbeing score	Detailed Report	GP Report
from...		from...		
to...		to...		
20.04.2018, 12:33:33	Low	68		
20.04.2018, 11:40:55	Very low	63		
20.04.2018, 10:45:17	Low	67		
20.04.2018, 5:54:42	Low	86		
20.04.2018, 5:50:11	Low	57		
19.04.2018, 22:32:41	Low	70		
19.04.2018, 22:02:26	Low	76		
19.04.2018, 20:52:53	Low	69		
19.04.2018, 18:16:07	Low	53		
19.04.2018, 17:38:04	Low	58		
19.04.2018, 16:05:10	Low	53		
19.04.2018, 13:02:54	Low	60		
19.04.2018, 10:17:05	Low	80		
19.04.2018, 7:34:19	Low	62		
12.04.2018, 15:39:39	Low	66		
12.04.2018, 14:03:05	Low	66		
12.04.2018, 12:56:52	Low	66		
12.04.2018, 11:33:07	Very low	70		
12.04.2018, 7:16:04	Low	79		
12.04.2018, 6:30:31	Low	82		

Pages: 1 2 3 4 5 6 7 Next Last 1 of 7

Pages: First Prev ... 29 30 31 32 33 ... Next Last 33 of 52

© Cardiolyse.me. All rights reserved License Agreement Privacy Policy Cookies GDPR Form

Рис. 2. Вигляд електронного кабінету лікаря

зможє монітувати стан людини в реальному часі, а лише здійснювати медичну діагностику та телеконсультації.

Розроблена система також може бути застосована для тривалого моніторингу інших груп користувачів, зокрема працівників, робота яких супрово-

джується високим рівнем фізичного або емоційного навантаження, до яких належать військовослужбовці, співробітники поліції, інших силових структур, для яких, зважаючи на специфіку діяльності, доцільно визначати специфічні маркери, наприклад, рівня болю, стресу тощо [11–12].

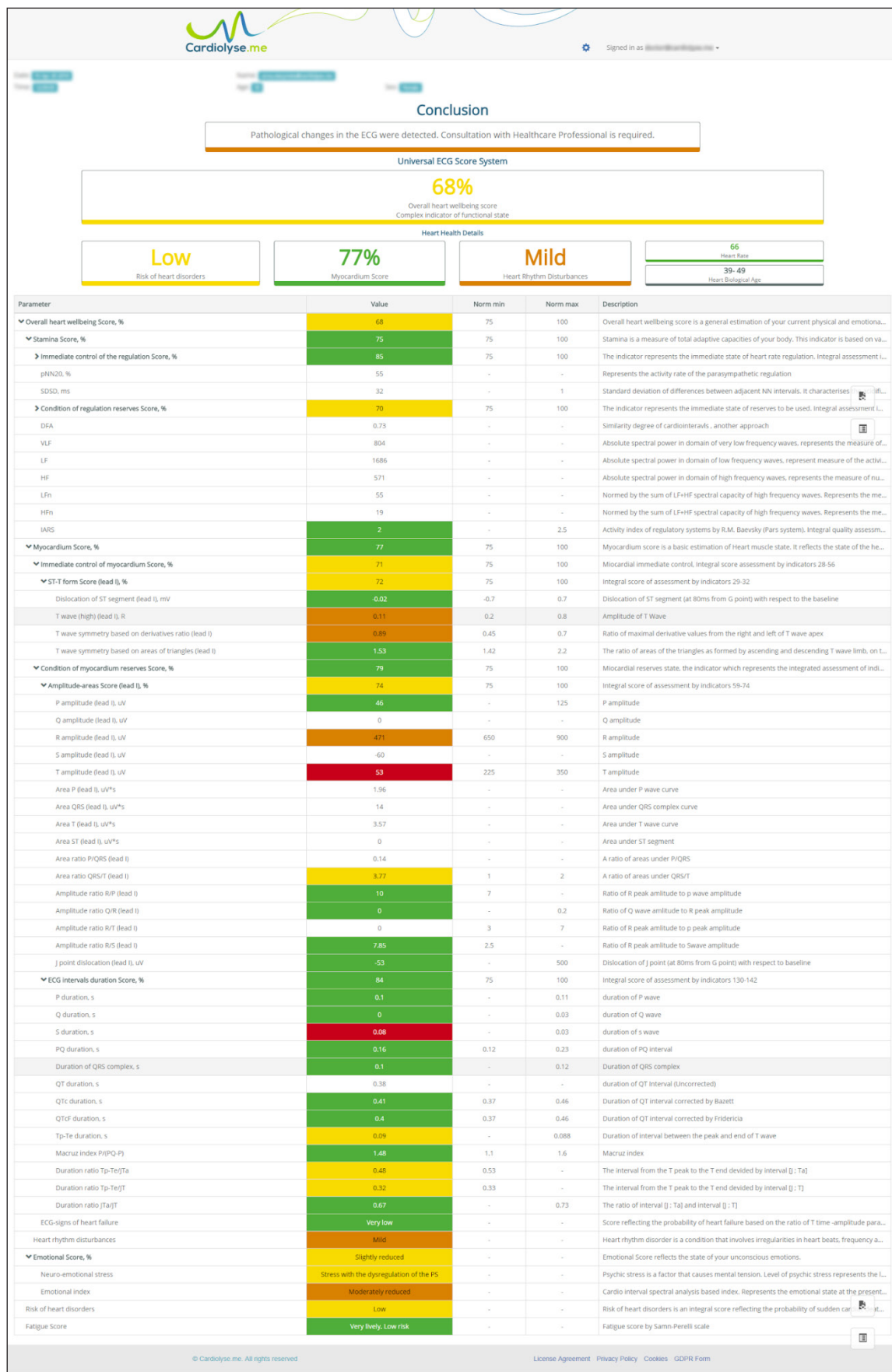


Рис. 3. Розгорнутий аналіз електрокардіограми



Рис. 4. Звіт за результатами обстеження та вигляд ЕКГ сигналів

Список літератури:

1. Теренда Н. О. Смертність від серцево-судинних захворювань як державна проблема. Вісник наукових досліджень. 2015. № 4. С. 11–13.
2. Representational state transfer. Wikipedia: free encyclopedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Representational_state_transfer (дата звернення 21.08.2017).
3. Projects. Spring Framework. URL: <https://projects.spring.io/spring-framework/> (дата звернення 14.07.2017).
4. Node.js. URL: <https://nodejs.org/en/> (дата звернення 19.04.2017).
5. Express.js. URL: <https://expressjs.com/> (дата звернення 16.05.2017).

6. JQuery. URL: <https://jquery.com/> (дата звернення 08.03.2017).
7. Bootstrap. URL: <https://getbootstrap.com/docs/3.3/> (дата звернення 30.05.2017).
8. Спосіб універсальної бальної оцінки електрокардіограми: пат. 104827 Україна. № u201506896, заявл. 13.07.2015, опубл. 25.02.2016, Бюл. №14, 12 с.
9. Портативний комп'ютерний електрокардіограф: пат. 82495 Україна. № u201214537, заявл. 19.12.2012, опубл. 12.08.2013, Бюл. № 15, 8 с.
10. Спосіб реєстрації пульсових хвиль в організмі людини: Пат. 111744 Україна. № 201604237, заявл. 26.04.2016, опубл. 25.11.2016, Бюл. № 22, 7 с.
11. Білецький І.А., Чайковський І.А. Визначення частоти дихання на основі ЕКГ та дослідження її зв'язку зі ступенем посттравматичного стресового розладу у військовослужбовців. Зб. тез доповідей 4-ї Всеукр. наук.-практ. конф. «Спільні дії військових формувань і правоохоронних органів держави: проблеми та перспективи», 7–8.09.2017. С. 216–217.
12. Борейко М.Г., Чайковський І.А. Оцінка больового синдрому на основі аналізу варіабельності ритму серця. Там само. С. 215–216.

РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ И ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ КАБИНЕТОВ ВРАЧА-КАРДИОЛОГА И ПАЦИЕНТА

Рассмотрены требования к телемедицинской системе анализа и отображения кардиологических сигналов. Предложена архитектура и программно-аппаратная реализация такой системы. Разработана телемедицинская система электронных кабинетов врача-кардиолога и пациента. Система осуществляет регистрацию, обработку и накопление ЭКГ сигналов и вариабельности сердечного ритма пациентов и их визуализацию с помощью удобного веб-приложения. Сегодня система тестируется на сайте компании Cardiolyse.

Ключевые слова: телемедицинские системы, архитектура клиент-сервер, медицинские гаджеты, электрокардиография, вариабельность ритма сердца.

DEVELOPMENT OF ARCHITECTURE AND SOFTWARE REALIZATION OF ELECTRONIC CABINETS OF THE DOCTOR-CARDIOLOGIST AND PATIENT

Requirements for the telemedicine system of analysis and visualization of cardiological signals are considered. Architecture and software-hardware realization of such system are proposed. The telemedicine system of electronic cabinets of a doctor-cardiologist and patient have been developed. The system carries out the registration, processing and accumulation of ECG signals and heart rate variability of patients and their visualization by convenient web-application. Today the system is being tested at site of company Cardiolyse.

Key words: telemedicine systems, client-server architecture, medical gadgets, electrocardiography, heart rate variability.

УДК 004.925.86+621.51.003.13

Борисенко В.Д.

Миколаївський національний університет імені В.О. Сухомлинського

Устенко С.А.

Миколаївський національний університет імені В.О. Сухомлинського

Устенко І.В.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

ЗАСТОСУВАННЯ В-СПЛАЙНІВ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ПИТОМОЇ ІЗОБАРНОЇ ТЕПЛОЄМНОСТІ ПОВІТРЯ ВІД ТЕМПЕРАТУРИ ТА ТИСКУ

Роботу присвячено розробленню методу аналітичного подання залежності питомої ізобарної теплоємності повітря із застосуванням В-сплайнів для варіювання температури та тиску, характерної для компресорів газотурбінних двигунів. Проведені розрахунки підтвердили працездатність методу та високу точність визначення питомої ізобарної теплоємності повітря від температури та тиску. Запропонований метод може застосовуватися під час проведення газодинамічних розрахунків компресорів, у яких повітря виступає робочою речовиною.

Ключові слова: *питома ізобарна теплоємність повітря, залежність від температури та тиску, В-сплайн.*

Постановка проблеми. Стиснене повітря широко застосовується у багатьох галузях техніки. Пристрої, в яких його отримують, називають компресорами. Ці газодинамічні машини знайшли широке застосування в авіаційних, суднових і локомотивних газотурбінних двигунах (далі – ГТД), у стаціонарних газотурбінних установках, де вони використовуються для приводу електрогенераторів на електростанціях і нагнітачів на магістральних газопроводах під час перекачування природного газу.

Завданням проектування проточних частин компресорів є вибір такої конфігурації, яка б забезпечувала задані проектні параметри створюваного компресора. Важливим при цьому є найбільш достовірне визначення термодинамічних, кінематичних, геометричних параметрів проточних частин компресорів, яке на першому етапі створення реалізується шляхом проведення газодинамічних розрахунків.

Доопрацювання компресорів виконується із застосуванням більш складних моделей течії повітря, включаючи просторовий в'язкий стискуваний рух, реалізований у пакетах обчислювальної газодинаміки. Проте у всіх цих розрахунках обов'язково застосовується важлива фізична характеристика повітря – питома ізобарна теплоємність (надалі теплоємність), яка супроводжує газодинамічні розрахунки компресорів від перших до останніх кроків.

Незважаючи на те, що компресори застосовуються в ГТД різного цільового призначення вже достатньо давно, удосконалення методів розрахунків під час їх проектування залишається актуальними і зараз.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання визначення термодинамічних параметрів повітря цікавить науковців ще з давніх часів. Підвищення точності міральної апаратури дозволило побудувати для повітря надійні таблиці густини, ентальпії, ентропії, теплоємності в доволі широкому діапазоні зміни температури та тиску.

Однією з фундаментальних публікацій, присвячених цьому питанню, слід вважати довідник Н.Б. Варгафтика [1], в якому наведені теплофізичні властивості багатьох газів, включаючи повітря. Проте в цьому довіднику не розглядається питання аналітичного подання залежностей цих властивостей від температури та тиску.

Робота колективу, керованого В.В. Сичовим [4], присвячена дослідженню та розгляду термодинамічних властивостей повітря. На підставі цих досліджень розроблено стандартні довідкові дані ГСССД 8–79 [2]. В обох цих публікаціях термодинамічні властивості повітря розглядаються в доволі широкому діапазоні температур і тиску. У джерелі [2] наведена залежність теплоємності повітря тільки від температури, яка має такий вигляд:

$$c_{p_0} = R \left(\sum_{j=0}^6 \alpha_j \Theta^j + \sum_{j=1}^6 \beta_j \Theta^{-j} \right), \quad (1)$$

де c_{p_0} – ізобарна теплоємність в ідеально-газовому стані, яка запозичена з роботи [9] та апроксимована поліномом; $R = 287,1$ Дж/(кг×К) – газова стала; α_j, β_j – коефіцієнти поліному, значення яких наведені в указаному вище джерелі; $\Theta = T/100$.

Треба зазначити, що в стандартних довідкових даних ГСССД 8–79 теплоємність повітря апроксимована в залежності тільки від температури. Відомі й інші апроксимовані залежності, отримані, наприклад, в NASA. Але всі ці залежності подають теплоємність повітря тільки у функції температури.

Постановка завдання. Метою роботи є розроблення методу аналітичного подання залежності теплоємності повітря від температури та тиску із застосуванням *B*-сплайнів і на базі запропонованого методу створення програмного коду з візуалізацією результатів розрахунків на екрані монітора комп'ютера.

Виклад основного матеріалу дослідження. Перш ніж розглянути питання, якому присвячена ця стаття, визначимося з областю зміни температури і тиску повітря, притаманній компресорам сучасних ГТД [3; 6; 7].

У джерелах з дослідження термодинамічних властивостей повітря розглядаються доволі широкі діапазони температур і тиску. Обмежимо область зміни цих параметрів. Так, у газодинамічних розрахунках компресорів температуру на вході до цих компонентів ГТД приймають дещо нижче 300 К (наприклад, 288 К [3]). За цих умов нижній рівень температури візьмемо з деяким запасом і приймемо рівним 250 К.

Нижній рівень тиску повітря обмежимо величиною 0,1 МПа, яка дуже близька до атмосферного тиску. Саме таке значення тиску є вихідною величиною у таблицях термодинамічних властивостей повітря, наведених у джерелах [1; 2; 4]. Верхній рівень тиску області, прийнятої до розгляду, візьмемо рівним 3 МПа, оскільки відомо, що у виконаних конструкціях компресорів ГТД максимальний тиск не перевищує цієї величини. Зважаючи на це, верхній рівень температури області дослідження обмежимо величиною 900 К.

У табл. 1 для обраних діапазонів варіювання температури та тиску наведені значення теплоємності повітря. Ці дані взяті з довідника [1], на нашу думку, більш надійного джерела.

Теплоємність повітря
в обраних діапазонах температури та тиску

Т К	c_p , кДж/(кг×К). при p , МПа				
	0,1	0,5	1,0	2,0	3,0
250	1,006	1,016	1,028	1,055	1,081
300	1,007	1,013	1,021	1,037	1,053
350	1,009	1,014	1,019	1,030	1,042
400	1,014	1,017	1,021	1,029	1,037
450	1,021	1,024	1,027	1,033	1,038
500	1,030	1,032	1,034	1,039	1,043
600	1,051	1,053	1,055	1,057	1,060
700	1,075	1,076	1,077	1,079	1,081
800	1,099	1,100	1,100	1,102	1,103
900	1,121	1,122	1,122	1,123	1,125

Аналізуючи дані, представлені в табл. 1, можна зробити висновок, що теплоємність повітря залежить як від температури, так і тиску. Ця залежність має суттєвий нелінійний характер. Для всього обраного діапазону температур теплоємність зростає під час підвищення тиску повітря. Водночас немає підстав стверджувати, що теплоємність під час підвищення температури постійно зростає. Тільки при тиску 0,1 МПа теплоємність зростає за умов підвищенні температури. У всіх вищезгаданих випадках вона спочатку зменшується під час підвищення температури, а потім зростає. Треба відмітити, що чим вищий тиск, тим зона зниження теплоємності охоплює більший діапазон температур. Найбільш яскраво це проявляється за умов тиску повітря, рівному 3,0 МПа.

Наочно залежність теплоємності від температури та тиску можна побачити на рис. 1, на якому кола невеликого радіусу відповідають вихідним даним табл. 1. Для більшої яскравості вихідні точки з'єднані кривими лініями, які побудовані із застосуванням кубічних інтерполяційних сплайнів. Нижня крива відповідає тиску повітря 0,1 МПа, верхня – тиску 3,0 МПа. Побудовані криві повністю підтверджують висновки, зроблені під час аналізу даних, наведених у табл. 1.

Має певний інтерес візуалізація залежності теплоємності повітря від температури, поданої поліномом (1). Такі дані наведені на рис. 2. З розгляду цього рисунку випливає, що, по-перше, обидві криві майже повністю збігаються, і тільки в області малих температур має місце несуттєве розходження кривих, по-друге, крива, яка побудована із застосуванням поліному (1), відповідає тиску повітря, рівному 0,1 МПа. Зазначимо, що крива, на якій є кола невеликого радіусу, є повторенням нижньої лінії, показаної на рис. 1.

Пошук залежностей для аналітичного подання теплоємності повітря від температури та тиску почався з розгляду експоненціальних, поліноміальних та інших кривих. Але вони не призвели до бажаного результату. Більш ретельно аналізувалися поліноміальні залежності, які бралися різних степенів і різних комбінацій (шляхом множення, ділення, додавання, віднімання тощо) щодо температури та тиску. У деяких варіантах середньо квадратична похибка була прийнятною для випадку малих значень тиску, в інших – для більших його значень. Але в цілому результати подання теплоємності від температури та тиску із застосуванням поліноміальних залежностей не призводили до прийнятного результату. Тому було прийнято рішення застосувати для розв’язання поставленого завдання так звані В-сплайни, рівняння яких має такий вигляд [8]:

$$Q(u, v) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m B_{i,j} N_{i,k}(u) M_{j,l}(w), \quad (2)$$

де u, w – параметри, під якими в нашому випадку будуть розумітися температура T і тиск p повітря, відповідно; $B_{i,j}$ – вершини прямокутної контрольної сітки (температура та тиск, наведені в табл. 1); $N_{i,k}(u)$ і $M_{j,l}(w)$ – базисні функції в u і w напрямках відповідно; n і m – кількість вершин прямокутної контрольної сітки в u і w напрямках відповідно; k і l – порядок поверхні в цих же напрямках.

Базисні функції визначаються за таким алгоритмом:

$$N_{i,1} = \begin{cases} 1 & \text{якщо } x_i \leq u < x_{i+1}; \\ 0 & \text{інакше} \end{cases}$$

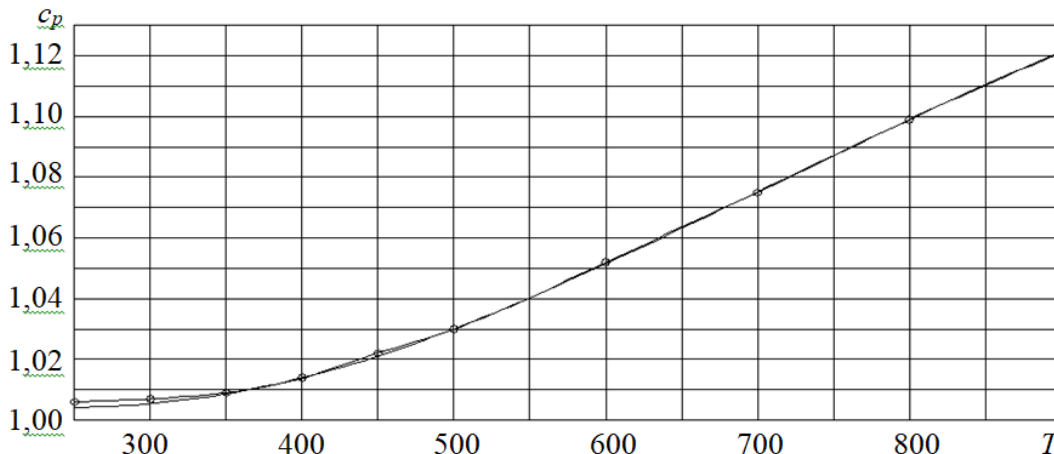


Рис. 2. Зіставлення теплоємності повітря від температури, побудованої за даними роботи [1] та за формулою (1)

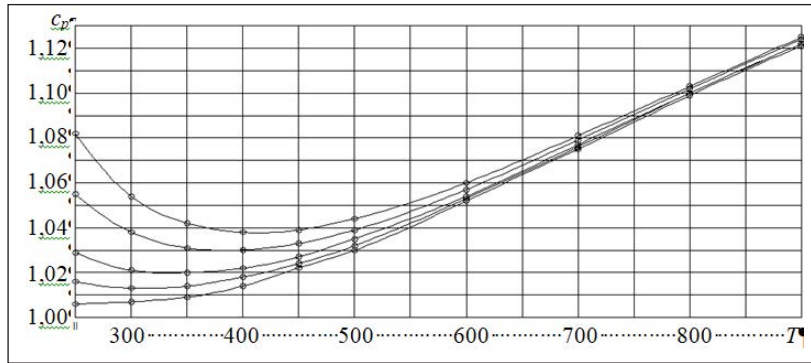


Рис. 1. Вихідні дані по теплоємності повітря, побудовані залежно від температури за умов різних значень тиску

$$N_{i,k}(u) = \frac{(u - x_i) N_{i,k-1}(u)}{x_{i+k-1} - x_i} + \frac{(x_{i+k} - u) N_{i+1,k-1}(u)}{x_{i+k} - x_{i+1}}$$

$$M_{j,1} = \begin{cases} 1 & \text{якщо } y_i \leq w < y_{i+1}; \\ 0 & \text{інакше} \end{cases}$$

$$M_{i,k}(u) = \frac{(w - x_i) M_{j,l-1}(w)}{y_{j+l-1} - y_j} + \frac{(y_{j+l} - w) M_{j+1,l-1}(w)}{y_{j+l} - y_{j+1}}$$

Під x_i та y_j розуміються компоненти так званих вузлових векторів, які відіграють важливу роль у побудові В-сплайнів. Вектор \bar{X} формується за таким алгоритмом, поданим у псевдокоді [8]:

$x(1) = 0$

for $i = 2$ **to** $n + k$

if $i > k$ **and** $i < n + 2$ **then**

$x(i) = x(i - 1) + 1$

else

$x(i) = x(i - 1)$

end if

next i

Вектор \bar{Y} формується аналогічним чином. Для його побудови застосовується кількість вершин m прямокутної контрольної сітки в напрямі параметра w та порядок l – порядок поверхні.

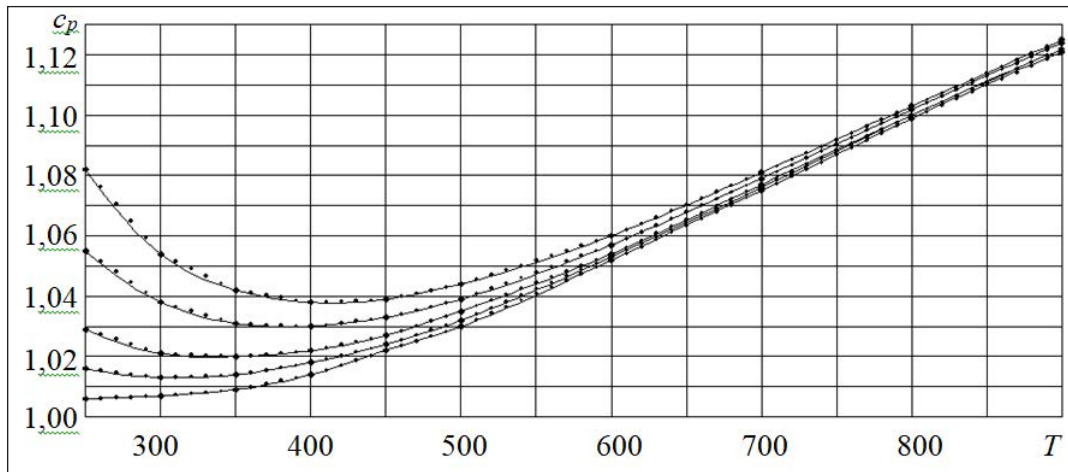


Рис. 3. Графіки залежності теплоємності для вихідних і проміжних значень температури повітря

Для визначення за виразом (2) координат B -сплайнової поверхні необхідно знати параметри u і w точки, в якій буде визначатися теплоємність повітря. Ці параметри тісно пов'язані з вузловими векторами \bar{X} і \bar{Y} . Оскільки вихідними даними для розрахунку шуканої термодинамічної характеристики повітря виступатимуть температура T і тиск p повітря, то треба для цих введених даних знайти значення параметрів u і w .

Для реалізації цих намірів застосовано високо-ефективну підпрограму *ZEROIN*, запропоновану в роботі [5], вихідними параметрами якої виступають інтервал пошуку, функція, значення якої треба звести до нуля, та точність розрахунків. За інтервал пошуку беруться мінімальне та максимальне значення вузлового вектора. Для визначеного підпрограмою *ZEROIN* проміжного значення параметра u чи w розраховуються деякі значення температури або тиску, які порівнюються із заданими значеннями. Визначення потрібного значення параметра u виконується за нульового значення параметра w . Така ситуація має місце під час визначення параметра w . Зазначимо, що процес визначення невідомих параметрів u і w є швидкозбіжним.

На підставі запропонованого методу аналітичного подання залежності теплоємності повітря від температури та тиску розроблено програмний код. Результати проведених за цим кодом розрахунків наведені у графічному вигляді на рис. 3. Розрахунки проводилися при $n = 10$ і $m = 5$, що відповідає кількості значень температури та тиску, наведених у табл. 1. Найкращі результати були отримані при значеннях k і l , які дорівнювали двом. Середньоквадратична похибка у цих значеннях порядків поверхні в обох напрямках становила приблизно $1,1 \times 10^{-18}$. Фактично серед-

ньоквадратична похибка проходження B -сплан поверхні через задані вихідні точки може вважатися рівною нулю.

Точки більшого розміру, зображені на рис. 3, відповідають вихідним даним із теплоємності, взятим із джерела [1], точки меншого розміру – розрахованим за запропонованим методом значенням цієї термодинамічної характеристики повітря для проміжних значень температури. Із розгляду цих даних випливає, що вихідні точки з високим ступенем точності належать кривим, показаним суцільними лініями.

Щодо проміжних точок можна зазначити, що за температури, яка перевищує 450 К, вони знаходяться на побудованих кривих. Деяке відхилення проміжних точок від цих кривих має місце за температури нижче 450 К. Але при цьому треба зазначити, що в зоні тиску від 0,1 до 0,5 МПа проміжні точки точно розташовані на відповідних кривих. І тільки зі збільшенням тиску повітря ступінь відхилення точок від кривих дещо зростає. Ці відхилення мають найбільші значення за умов тиску 3,0 МПа.

Відомо, що під час переміщення повітря вздовж тракту проточної частини компресора поступово зростають тиск і температура. На перших же ступенях компресора рівень тиску лежить у межах від 0,1 до 0,5 МПа (верхня межа тиску взята зі значним запасом). А саме в цій області параметрів повітря точки, які відповідають проміжним значенням температури, розташовуються на кривих, показаних на рис. 3.

У табл. 2 для порівняння наведені значення питомої теплоємності повітря в зоні температур 250 – 300 К при тиску 3,0 МПа, які взяті із джерела [1], а також значення цієї характеристики повітря, розраховані за запропонованим методом її аналітичного подання.

Таблиця 2

Зіставлення вихідних і розрахованих значень теплоємності повітря

Т К	c_p за даними [1]	c_p розраховане	Похибка у відсотках
250	1,081	1,0810	0,0
260	1,073	1,0764	0,317
270	1,067	1,0708	0,357
280	1,061	1,0652	0,396
290	1,057	1,0596	0,246
300	1,053	1,0530	0,0

Як впливає з розгляду даних, наведених у цій таблиці, найбільша похибка подання теплоємності повітря не перевищує 0,4 відсотка. Відхилення проміжних точок від суцільних кривих відбувається на тих ділянках цих кривих, які мають спадний характер. Зазначимо, що найбільші відхилення належать зоні термодинамічних параметрів, яка не є актуальною для газодинамічних розрахунків компресорів ГТД.

Наведені вище результати розрахунків теплоємності підтвердили працездатність запропонованого методу її аналітичного подання із застосуванням В-сплайнів. Автори розуміють, що більш компактним поданням шуканої залежності від температури та тиску повітря була б побудова деякої поліноміальної залежності. Але, на жаль, їм таку залежність побудувати не вдалося.

Щодо В-сплайнів можна зазначити, що їм притаманна легкість алгоритмізації, програмний код має високі швидкодню та надійність; програмні зупини відсутні.

Висновки. Запропоновано новий метод аналітичного подання залежності теплоємності повітря від температури та тиску для області зміни цих параметрів, характерної для газодинамічних розрахунків компресорів ГТД. Застосування В-сплайнів дозволяє визначати теплоємність повітря з високою точністю. Метод реалізовано у вигляді програмного коду та адаптовано до газодинамічних розрахунків компресорів, робочою речовиною яких виступає повітря.

Список літератури:

1. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. Москва: Наука, 1972. 720 с.
2. ГСССД 8–79. Воздух жидкий и газообразный. Плотность, энтальпия, энтропия и изобарная теплоемкость при температурах 70–1500 К и давлениях 0,1–100 МПа. Москва: Издательство стандартов, 1991. 15 с.
3. Романовський Г.Ф., Ващиленко М.В., Седько М.П. Основи проектування компресорів судових ГТД: Навчальний посібник. Миколаїв: НУК, 2008. 292 с.
4. Термодинамические свойства воздуха / Сычев В.В., Вассерман А.А., Козлов А.Д. и др. Москва: Издательство стандартов, 1978. 275 с.
5. Форсайт Дж., Малькольм М., Моулер К. Машинные методы математических вычислений. Москва: Мир, 1980. 280 с.
6. Холщевников К.В. Теория и расчет авиационных лопаточных машин. Москва: Машиностроение, 1970. 609 с.
7. Cumpsty N.A. Compressor aerodynamics. Krieger Publishing Company, 2004. 552 p.
8. Rogers D.F. An introduction to NURBS: with historical perspective. Morgan Kaufmann Press, 2001. 324 p.
9. Tables of thermal properties of gases. Washington., Gov. print, off., 1955, XI. (U. S. Dep. of commerce. NBS. Girc. 564). 488 p.

ПРИМЕНЕНИЕ В-СПЛАЙНОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАВИСИМОСТИ УДЕЛЬНОЙ ИЗОБАРНОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ ВОЗДУХА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДАВЛЕНИЯ

Работа посвящена разработке метода аналитического описания зависимости удельной изобарной теплоемкости воздуха с применением В-сплайн-ов для области варьирования температуры и давления, характерной для компрессоров газотурбинных двигателей. Проведенные расчеты подтвердили работоспособность метода и высокую точность определения удельной изобарной теплоемкости воздуха от температуры и давления. Предложенный метод может применяться при проведении газодинамических расчетов компрессоров, в которых воздух используется в качестве рабочего вещества.

Ключевые слова: удельная изобарная теплоемкость воздуха, зависимость от температуры и давления, В-сплайн.

APPLICATION OF B-SPLINES FOR DETERMINATION OF DEPENDENCE OF ISOBARIC HEAT CAPACITY OF AIR ON TEMPERATURE AND PRESSURE

The work is devoted to the development of the method of analytical representation of the specific isobaric heat capacity of air with the use of B-splines for the range of temperature and pressure variations typical for compressors of gas turbine engines. The performed calculations confirmed the efficiency of the method and the high accuracy of determining the specific isobaric heat capacity of air on temperature and pressure. The proposed method can be used for gas-dynamic calculations of compressors in which air is used as a working substance.

Key words: specific isobaric heat capacity of air, dependence on temperature and pressure, B-spline.

Бородкіна І.Л.

Київський національний університет культури і мистецтв

Бородкін Г.О.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ ПІДТРИМКИ БЕЗПЕЧНОЇ РОБОТИ З EXCEL-ДОКУМЕНТАМИ

У статті аналізуються питання, пов'язані з розробленням програмних додатків для забезпечення оперативного та захищеного online-доступу до документів із використанням мережі Інтернет. Розглядається структура й основні функціональні можливості web-додатків, призначених для вирішення цієї проблеми. Запропонована функціональна структура web-додатка, призначеного для захищеної роботи з Excel-документами. Описана структура робочого вікна розробленого web-додатка, його особливості й інтерфейс. Визначена логіка роботи web-додатка та підхід до реалізації методів безпечної роботи з документами.

Ключові слова: web-додаток, web-сервіс, web-інтерфейс, клієнт-серверна архітектура, методи безпечної роботи з документами.

Постановка проблеми. На сучасному етапі розвитку інформаційного суспільства для успішної діяльності вкрай важливо мати оперативний і безпечний доступ до конфіденційної інформації організації чи установи, територіально знаходячись у будь-якому кінці світу. Швидко й оперативне опрацювання інформації в режимі online може бути забезпечене шляхом використання відповідних web-додатків, які здатні щодня обслуговувати багатомільйонні транзакції. Саме тому питання, пов'язані з використанням новітніх інформаційних технологій для забезпечення зручного та безпечного доступу до документів, є необхідними й актуальними. Одним із можливих шляхів вирішення цієї проблеми є створення відповідних web-додатків.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Web-додаток (web-application) – клієнт-серверний застосунок, у якому взаємодія між клієнтом і сервером реалізується за допомогою браузера, а сервером виступає веб-сервер. Існує чотири типи web-додатків [1; 2]:

1) web-додатки, які працюють на сервері, передаючи через Internet дані на клієнтські машини. Їх використання потребує наявності web-браузерів;

2) web-сервіси, які дозволяють додаткам обробляти дані на сервері. При цьому передача на сервер даних, які підлягають обробленню, і повернення результатів здійснюються через Internet;

3) додатки з підтримкою Internet – автономні програми з вбудованими механізмами, що дозволяють їх користувачам реєструватися, отримувати

оновлення, а також надають доступ до довідкової системи й інших допоміжних служб через Internet;

4) однорангові додатки – автономні програми, що використовують Internet для взаємодії з іншими програмними продуктами такого ж типу.

Є широкий спектр продуктів і технологій, які можуть бути частиною архітектури web-додатків. Серед патернів (архітектурних шаблонів), які традиційно використовуються під час розроблення web-додатків, можна виділити такі [1; 2].

1. Шаблон Thin Web Client (на основі «тонкого» web-клієнта) використовується в більшості додатків Internet і надає обмежені можливості з управління конфігурацією клієнта. У розподіленні клієнта повинен бути тільки стандартний браузер, що підтримує форми. Усі операції, пов'язані з бізнес-логікою, виконуються на сервері. Цей шаблон найбільше підходить для web-додатків, у яких клієнт має мінімальні обчислювальні можливості або не може керувати своєю конфігурацією.

2. Шаблон Thick Web Client (на основі «товстого» web-клієнта) припускає, що значна частина бізнес-логіки виконується на клієнтській машині. Зазвичай для виконання бізнес-логіки клієнтом використовується DHTML, аплети Java або керуючі елементи ActiveX. Взаємодія із сервером також відбувається через протокол HTTP.

3. Шаблон Web Delivery (на основі механізму web-доставки). При взаємодії клієнта й сервера, крім протоколу HTTP, використовуються й інші протоколи, такі, як IPOP (Internet Inter-Orb

Protocol) і DCOM, які можуть застосовуватися для підтримки системи розподілених об'єктів. У такому разі браузер функціонує як контейнерний модуль системи розподілених об'єктів.

Web-додатки за своєю природою підтримують багат шарову структуру. Найбільш поширеною є тришарова структура, яка містить шар представлення; шар бізнес-логіки; шар доступу до даних (сховище). Кожен шар містить набір компонентів, призначених для виконання специфічних функцій.

Шар представлення зазвичай містить компоненти користувацького інтерфейсу (UI) і логіку представлення. Шар бізнес-логіки включає компоненти бізнес-логіки, бізнес-процесу й бізнес-сутностей. Шар доступу до даних включає компоненти, які реалізують доступ до необхідних даних і web-сервісів.

Розглядаючи web-додаток як систему, у ньому можна виділити базові та функціональні підсистеми [3–5]. До базових підсистем можна віднести такі:

- підсистему управління виглядом web-сторінок;
- підсистему підтримки сеансу роботи користувачів;
- підсистему персоналізації, яка налаштовуватиме web-сторінки для різних користувачів;
- підсистему навігації між web-сторінками;
- підсистему аутентифікації й авторизації, яка забезпечує реєстрацію користувачів;
- підсистему доступу до джерел даних.

Відповідно до виконуваних web-додатком функцій можна виділити для нього такі функціональні підсистеми:

- підсистема управління контентом web-додатка (множиною доступних документів, зображень тощо). Web-додаток повинен надавати можливості завантаження контенту на сервер (uploading), класифікації, пошуку й отримання його із сервера (downloading);
- підсистема пошуку інформації в контенті додатка (документах, файлах даних, базах даних);
- підсистема підтримки взаємодії користувачів (забезпечує роботу форумів, обмін повідомленнями, рецензування документів);
- підсистема спеціальних можливостей (різноманітні дії відповідно до бізнес-логіки, оброблення зображень, оброблення документів тощо).

Базова функціональність багато в чому реалізується середовищем, у якому розробляються web-додатки, а створення функціональних підсистем потребує написання програмного коду.

Постановка завдання. Необхідність роботи з Excel-документами через web-інтерфейс потребує розроблення відповідного web-додатка, який

забезпечить підтримку безпечної роботи з Excel-документами. Цей додаток повинен підтримувати такі функціональні можливості: мати гнучку систему управління та роботи з документами, мати можливість зберігати та друкувати документи, надавати багаторівневий доступ до файлів, мати функціонал, який дозволить обговорювати окремі документи з іншими учасниками, яким був наданий доступ до інформації.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Функціональні можливості web-додатка.

У процесі аналізу вимог до розроблюваного web-додатка було визначено такі основні його характеристики:

- весь трафік між web-додатком і зареєстрованим користувачем повинен бути зашифрований і захищений 128-бітовим протоколом SSL;
- документи із сервера до клієнта слід передавати мережею Internet зашифрованими з використанням алгоритму шифрування AES (Advanced Encryption Standard) 256-бітним ключем. Розшифрування документів повинно здійснюватися на комп'ютері клієнта;
- будь-який документ або папка можуть бути переглянуті, роздруковані чи збережені групою користувачів за наявності відповідних прав;
- у будь-якого документа чи папки може бути свій унікальний номер на випадок використання автоматичного індексування;
- будь-який документ можна обговорювати між користувачами групи/компанії або між адміністраторами;
- функції пошуку повинні забезпечити зручну навігацію документами;
- діяльність усіх користувачів повинна контролюватися адміністратором;
- слід передбачити можливість двоетапної аутентифікації з використанням SMS-повідомлень, що забезпечить високий рівень безпеки для адміністраторів і користувачів.

Особливості інтерфейсу користувача web-додатком. Для того, щоб почати роботу з web-додатком, користувачеві необхідно пройти процес аутентифікації.

Після входу відбувається перевірка, чи всі необхідні додатки завантажені на комп'ютер користувача. Якщо якийсь компонент відсутній, користувач отримує відповідне посилання для завантаження.

Інтерфейс робочого вікна web-додатка «Excel Viewer» розроблений таким чином, що користувач може виконувати певні дії з документами, які були завантажені на сервер:

– переглядати файл у безпечному режимі в новому вікні чи новій вкладці залежно від браузера, який використовується, і його налаштувань;

– відкривати діалогове вікно налаштування параметрів друку документа;

– зберегти документ на комп'ютері користувача, який має дозвіл на збереження. Документи можуть бути відкриті після введення логіна й пароля за наявності Internet-з'єднання. Збереження заблоковане, якщо в налаштуваннях web-додатка ввімкнена функція «Заборонити зберігати документ»;

– зберігати документ у його оригінальному форматі на комп'ютер користувача, який має дозвіл на збереження оригіналу;

– переходити в режим установлення відповідних прав для вибраного документа;

– переглядати звіти про виконані дії з документом;

– відкрити обговорення щодо цього документа. Питання буде видно учасникам групи користувача, що має доступ до відповідної секції;

– змінити назву папки;

– видаляти папки. Після видалення папка потрапляє до кошика.

Для безпечної роботи з інформацією й попередження несанкціонованого доступу на кожному документі є електронний цифровий підпис, який відображає детальні відомості про користувача.

Під час перегляду документів користувач має такі навігаційні можливості:

– зберігати оригінал документа на комп'ютер користувача, якщо йому надана ця можливість;

– друкувати документи через web-інтерфейс, якщо власник документа надав користувачеві таку можливість;

– обговорювати та задавати питання за цим документом іншим учасникам, які мають доступ до документа;

– для зручності перегляду відомостей користувач має можливість масштабувати документ відповідно до своїх потреб;

– виконувати пошук необхідної інформації щодо документа.

Побудоване в такий спосіб навігаційне меню забезпечує користувачам зручну роботу з документами та дозволяє обговорювати деталі з іншими учасниками, яким був наданий спільний доступ до документа.

Логіка роботи web-додатка. Web-додаток «Excel Viewer» складається з клієнтської й серверної частин, що повністю відповідає технології «клієнт – сервер». Клієнтська частина реалізує

інтерфейс користувача, формує запити до сервера й обробляє відповіді від нього. Серверна частина отримує запит від клієнта, виконує обчислення, після чого формує web-сторінку й відправляє її клієнту з використанням протоколу SSL.

Логіка роботи web-додатка «Excel Viewer» полягає в такому. Користувач завантажує на сервер документи у форматі *.xls. Кожен документ проходить конвертацію в JSON Converter. Усі завантажені документи зберігаються на сервері у двох форматах (*.xls та *.json). Під час звернення клієнта до документа віртуальна машина Flash дає запит на сервер, який надсилає файл у зашифрованому вигляді. Віртуальна машина конвертує файл у заархівований із форматом *.txt. Інформація для користувача відображається в захищеному гаг-архіві, що забезпечує безпечну роботу з документом.

Внутрішня структура web-додатка. Під час проектування web-додатка «Excel Viewer» програмний код було розділено на функціональні контейнери та мітки.

На рис. 1 зображено внутрішню структуру web-додатка.

Усі функціональні частини коду web-додатка об'єднані в заголовний контейнер «Facade», який містить у собі класи «Containers» і «Control». «Containers» розділений на «Toolbar container», «Work space container», «Windows container».

«Toolbar container» («Контейнер панелі інструментів») містить контейнери «Main toolbar», «Cell info toolbar», «Sheet toolbar», які відповідають за функціональні можливості панелі інструментів web-додатка.

«Work space container» («Контейнер робочої області») містить у собі контейнери «Data Grid» і «Data Chart», які відповідають за робочу область web-додатка та за окремо взятую комірку.

«Windows container» («Контейнер робочого вікна») містить у собі контейнери «Search windows», «Print windows», «Show hide sheets». Ці контейнери відповідають за пошук, друк і відкриття прихованих листів.

«Control» розділений на «Keyboard control», «Loader control».

«Keyboard control» («Контроллер клавіатури») контролює всі символи, які вводить користувач у комірку web-додатка.

«Loader control» («Контроллер документів, які завантажуються») містить контейнери «Sheet load control», «Compress control», «Encrypt control», «Sheet parse control». Ці контейнери відповідають за завантаження документів на сервер, їх конвер-

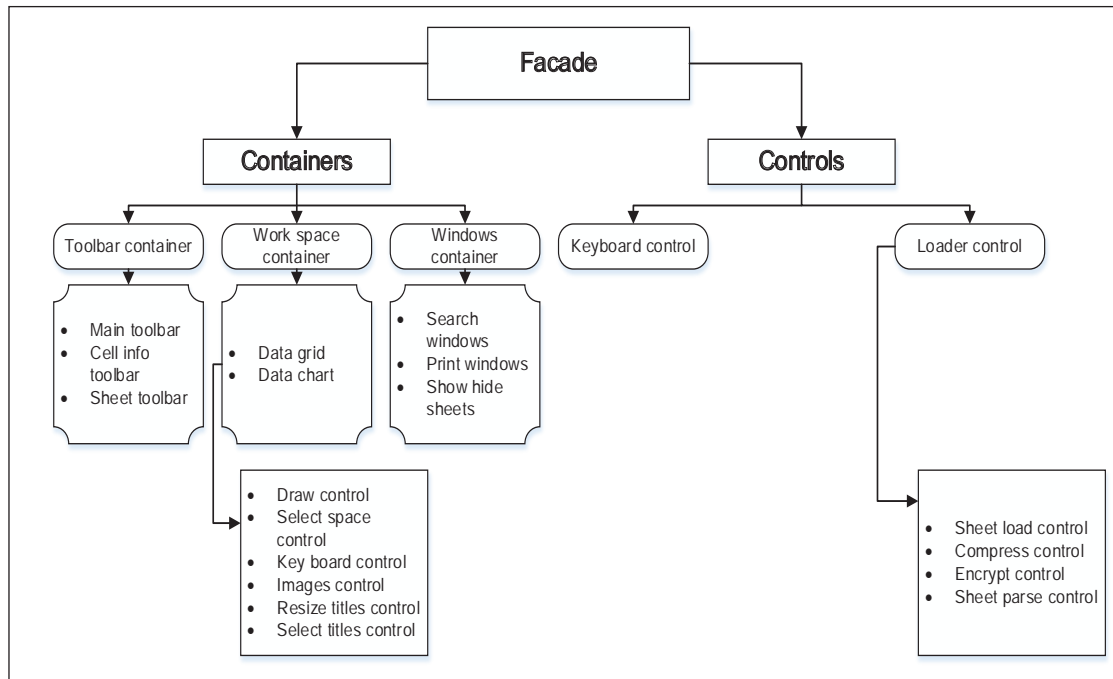


Рис. 1. Внутрішня структура web-додатка «Excel Viewer»

тацію у формат JSON і забезпечують безпечну роботу з документами.

Розбиття програмного коду на контроли та контейнери дозволяє вносити зміни у відповідну частину коду, не порушуючи при цьому загальної логіки функціонування web-додатка.

Реалізація методів безпечної роботи з документами. Web-додаток «Excel Viewer» дозволяє користувачам безпечно використовувати конфіденційну інформацію й спільно працювати з документами в режимі online. Для забезпечення цього та попередження можливих загроз були використані такі технології:

– SSL (Secure Sockets Layer) протокол – криптографічний протокол, який установлює безпечно з'єднання між клієнтом і сервером. Протокол забезпечує конфіденційність обміну даними між клієнтом і сервером, які використовують TCP/IP, причому для шифрування використовується асиметричний алгоритм із відкритим ключем. У шифруванні з відкритим ключем застосовується два ключі, причому будь-який із них може використовуватися для шифрування повідомлення. Якщо один ключ використовується для шифрування, то для розшифрування потрібно використовувати інший ключ. У такій ситуації можна отримувати захищені повідомлення, публікуючи відкритий ключ і зберігаючи в таємниці секретний ключ;

– блочний шифр – різновид симетричного шифру, що оперує групами біт фіксованої довжини

(блоками), характерний розмір яких змінюється в межах 64–256 біт. У блочному шифруванні інформація розбивається на блоки фіксованої довжини й шифрується поблочно;

– цифровий водяний знак – цифровий код, інтегрований в електронний документ. Містить ідентифікаційні дані ID, URL, адресу електронної пошти, логотип, час. Дозволяє ідентифікувати інформацію про авторські права;

– аутентифікація (Authentication) – процедура перевірки достовірності користувача. Перевірка достовірності у web-додатку виконується шляхом порівняння введеного користувачем паролю з паролем у базі даних користувачів, SMS-паролем і шляхом використання токенів.

Ці технології дозволяють захистити web-додаток від багатьох загроз, таких, як перехоплення інформації на шляху від сервера до клієнта, копіювання інформації на машині клієнта, використання фототехніки та функції копіювання вмісту екрану, а також від несанкціонованого доступу.

Висновки. Розроблення web-додатків є порівняно новим і перспективним напрямом розвитку інформаційних і телекомунікаційних технологій, який забезпечує оперативний і безпечний доступ до конфіденційної інформації організації чи установи з будь-якого кінця світу. Розроблений web-додаток призначається для роботи з Excel-документами через web-інтерфейс. Він мінімізує ризики інформаційної безпеки,

дозволяє здійснювати захищений оперативний доступ до конфіденційної інформації в режимі online, а також обговорювати її з іншими учасниками, яким був наданий доступ до даних, дає мож-

ливість спільно працювати з документами. Розроблений програмний продукт повністю відповідає сформульованим вимогам і забезпечує оперативний доступ до конфіденційної інформації.

Список літератури:

1. Бенкен Е.С. AJAX: программирование для Интернет. СПб.: БХВ-Петербург, 2009. 464 с.
2. Дунаев С.Б. Технологии Интернет-программирования. СПб.: БХВ-Петербург, 2001. 480 с.
3. Ключевые принципы Web 2.0. URL http://www.nbu.gov.ua/Articles/Kultnar/knp100t2/knp100t2_147-151.pdf.
4. Скотт Б. Проектирование веб-интерфейсов. СПб.: Символ-Плюс, 2010. 352 с.
5. Столбовский Д.Н. Основы разработки Интернет-приложений и Web-сервисов на основе ASP.Net. Владикавказ: Северо-Кавказский горно-металлургический институт, 2008. 256 с.

ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ПОДДЕРЖКИ БЕЗОПАСНОЙ РАБОТЫ С EXCEL-ДОКУМЕНТАМИ

В статье анализируются вопросы, связанные с разработкой приложений для обеспечения оперативного и защищенного online-доступа к документам с использованием сети Интернет. Рассматривается структура и основные функциональные возможности web-приложений, предназначенных для решения этой проблемы. Предложена функциональная структура web-приложения, предназначенного для защищенной работы с Excel-документами. Описана структура рабочего окна разработанного web-приложения, его особенности и интерфейс. Определена логика работы web-приложения и подход к реализации методов безопасной работы с документами.

Ключевые слова: web-приложение, web-сервис, web-интерфейс, клиент-серверная архитектура, методы безопасной работы с документами.

SOFTWARE FOR SAFE WORK WITH EXCEL DOCUMENTS

The article analyzes issues related to the development of software applications to provide operative and secure on-line access to documents using the Internet. The structure and basic functionality of Web-applications intended to solve this problem are considered. A functional structure of a Web-application intended for safe work with Excel documents is proposed. Describes the structure of the working window of the developed Web-application, its features and interface. The logic of the work of the Web-application and the approach to the implementation of methods for safe work with documents are defined.

Key words: Web-application, Web-service, Web-interface, client-server architecture, methods for safe work with documents.

УДК 621.37:637.142.

Брацький В.О.

Національний університет харчових технологій

ОБРОБЛЕННЯ Й АНАЛІЗ LOG-ФАЙЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ LOGHELPER

У статті розглянуто програмний продукт, який працює з log-файлами, що є незрозумілими для простого користувача. Запропоновано метод збереження log-файлів, їх аналізу та прийняття рішень щодо виправлень виявлених помилок користувача в розподіленій системі. Описано структуру log-файлів, з'ясовано їхнє призначення. Розглянуто формат JSON і доведено, чому саме в цьому форматі доцільно описувати логи. Також визначено алгоритм аналізу й збереження файлів за допомогою GridFS в MongoDB. Після оброблення даних запропоноване вирішення виявлених відмов у системі. За допомогою програмного продукту проведений порівняльний аналіз параметрів збереження й оброблення log-файлів у реляційній (SQLServer) і нереляційній (MongoDB) базах даних.

Ключові слова: бази даних, SQL, NoSQL, JSON, реляційні системи керування базами даних (далі – СКБД), нереляційні СКБД, MongoDB, SQL Server, GridFS, FileTable.

Постановка проблеми. У кожного користувача персонального комп'ютера під час активного використання програмного забезпечення в розподіленій системі в реальних умовах виникають ситуації, коли з'являються помилки чи фактори, що призводять до збою роботи програми. Через це формуються повідомлення про помилку в програмному забезпеченні, яка може бути відкорегована користувачем. В інших випадках програма сама встигає усунути проблему, і користувач не помічає жодних змін у функціях програми. Незважаючи на те, що проблема вирішена, у таких випадках важливо встановити причину збою й усунути її.

Протягом тривалого часу для розроблення веб-додатків традиційно використовувалися реляційні бази даних із метою зберігання, оброблення й пошуку структурованих даних. У розподілених системах, де працює багато користувачів одночасно, ведеться запис дій, які вони виконують у веб-програмах, у файли типу log. Ці файли надходять до адміністратора в центральному офісі. У них поряд зі штатними діями зафіксовані збої та відмови системи, що трапляються в клієнта. Оперативне оброблення інформації, що знаходиться в log-файлах, дасть змогу вчасно виявити проблеми клієнта та запропонувати шляхи їх усунення. Але з часом log-файлів накопичується все більше й більше, що ускладнює їх аналіз і прийняття рішень щодо усунення проблем, які сталися на боці клієнта. Для вирішення цієї проблеми запропонований і розроблений алгоритм і програмний продукт для оброблення, запису в базу даних log-файлів і їх аналіз із метою діагностування збоїв і

відмов програмного забезпечення в розподіленій у мережі Інтернет клієнт-серверній системі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Порівняльний аналіз реляційної й нереляційної бази даних був проведений С. Тарасовим, який досліджував вставки даних [1, с. 1]. Для тесту був обраний сценарій, що дозволяє таке:

- оцінити придатність СКБД для інтенсивної вставки даних від множини пристроїв;
- оцінити простоту й продуктивність запитів для отриманої таким чином бази даних.

Тест інтенсивної вставки даних від множини датчиків дослідник обмежив 10 млн записів.

На сайті MongoDB була завантажена остання стабільна версія 2.0.2 для 64-розрядної Windows. Альтернативою MongoDB виступав MS SQL Server 2008 R2 Developer Edition, також 64-розрядний. Дані вводились у колекцію MongoDB і таблицю SQL Server, які мають однакову структуру. Відповідні скрипти можна завантажити (MongoDB, SQL Server).

Для SQL-скрипта інтенсивної порядкової вставки в реляційну СКБД додаток спочатку накопичив масив рядків, потім почалася транзакція, відбулася вставка з 10 рядків, що збільшує швидкість вставки в 5 разів порівняно з порядковим внесенням даних.

С. Тарасов відмічає, якщо просто порядково вставляти записи в таблицю, то «нетранзакційність», притаманна MongoDB, виявиться швидше в будь-якому разі. Це свідчить на користь MongoDB, якщо пакетна вставка (BULK INSERT) не завжди прийнятна за логікою програми. Стандартне використання BULK INSERT – масовий

імпорт даних. Власне, для BULK-копіювання немає що тестувати, воно або є в СКБД, або ні. У MongoDB і SQL Server ця функція наявна. Після проведеної вставки й отримання обсягу бази даних помітно, що колекція з 10 млн документів зайняла 3,95 гігабайт, база даних SQL Server – 0,5 Гб (без компресії), тобто швидкість вставки рядків у 8 разів менша, ніж документів.

Хоча час вставки документа приблизно в 3 рази перевищує час вставки рядків у таблицю (пачками по 10), він може бути цілком прийнятним для логіки додатка. Дослідник відмічає невагомне бажання MongoDB поглинути всю оперативну пам'ять: 4 Гб проти 1 Гб SQL Server при ліміті в 3 Гб. Під час проведення тесту стало зрозуміло, що обсяг використовуваної оперативної пам'яті обмежити не можна. Загалом рішення полягає у створенні виділеного віртуального сервера під СКБД.

Для проведення подальших тестів доводиться робити перезапуск MongoDB для очищення пам'яті. У SQL Server для аналогічного ефекту просто очищаємо буфери й кеш (DBCC). Описані дослідження формують не надто оптимістичний погляд на перспективи використання MongoDB для вирішення поставленої задачі. З еволюцією інтернету й мобільних пристроїв значно зріс обсяг даних, які необхідно зберігати й обробляти. У наш час стає набагато складніше працювати з фіксованими структурами даних. Ще більше складнощів виникає з обробленням неструктурованих даних, особливо якщо потрібна практично необмежена масштабованість.

Постановка завдання. Лог, або логи сервера, лог-файл (словосполучення є синонімами) – це файл текстового формату, у який заносяться дані про всі дії будь-яких користувачів на серверах. Це може бути локальний сервер будь-якої організації чи веб-сервер хост-провайдера, на якому працюють сайти, або FTP-сервера районної мережі [2, с. 1].

У лог-файли вноситься докладна інформація про те, який користувач звернувся до ресурсів сервера, його IP-адреса, MAC-адреса його мережевої карти, з якого ресурсу й за якими ключовими запитами був проведений вхід, які сторінки на сервері були відвідані й скільки часу користувач їх переглядав. Крім того, у лог-файли записується, які файли були завантажені із сервера чи закачані на сервер. Як ми бачимо, лог-файли – це джерело інформації про всіх відвідувачів і користувачів сервера.

Під час кожного звернення будь-якого користувача до веб-сайту відбувається запис про це у

файл-журналі. При цьому відбуваються події, які розглянемо детальніше.

1. Здійснення запиту сторінки. Коли користувач вводить в адресному рядку свого браузера ім'я якого-небудь Інтернет-ресурсу й натискає клавішу Enter, браузер здійснює, відповідно до визначених правил, пошук потрібного сервера й передає йому запит на виведення сторінки. У запиті сервера відправляється така інформація:

- IP-адреса комп'ютера, з якого був посланий запит на отримання сторінки (або IP-адреса проксі-сервера, що використовується клієнтом);
- адреса запитуваної Інтернет-сторінки (IP-адреса);
- дата й час відправлення запиту сервера;
- інформація про географічне місцезнаходження клієнта, який здійснив запит до сервера (або місце розташування використовуваного клієнтом проксі-сервера);
- найменування та версія використовуваного клієнтом Інтернет-браузера, з якого й був здійснений запит до сервера;
- адреса тієї веб-сторінки, з якої був здійснений перехід.

2. Передача запитуваної сторінки в браузер клієнта. При цьому сервер здійснює передачу запитуваних даних (які можуть бути представлені у вигляді веб-сторінки, файлу, куки тощо) на комп'ютер клієнта, точніше, у браузер, за допомогою якого була викликана попередня подія.

3. Здійснення запису в лог-файл. При цьому сервер здійснює запис усієї отриманої інформації в лог-файл, який ще називають журналом подій. Дані в лог-файлі вміщують у собі досить незрозумілу інформацію для непідготовленого новачка, але для системних адміністраторів і розробників веб-додатків це цілком зрозумілий і осмислений текст, який є підставою для проведення будь-яких дій або навіть кримінального переслідування клієнта (звичайно, у разі, якщо доступ до ресурсу був неправомірним, наприклад, хакерським зломом, що призвело до виведення з сервера інформації, яка там зберігалася, наприклад бази даних банківських карт клієнтів компанії).

Під час аналізу файлів журналу подій (лог-файлів) системним і мережевим адміністраторам слід урахувати, що отримані дані все ж не є на 100% реальними, відхилення в них зазвичай становить 5–10% через різні технічні й технологічні особливості використовуваного обладнання та його налаштувань. Однак якщо навантаження на сайт є постійним (інакше кажучи, адміністрація

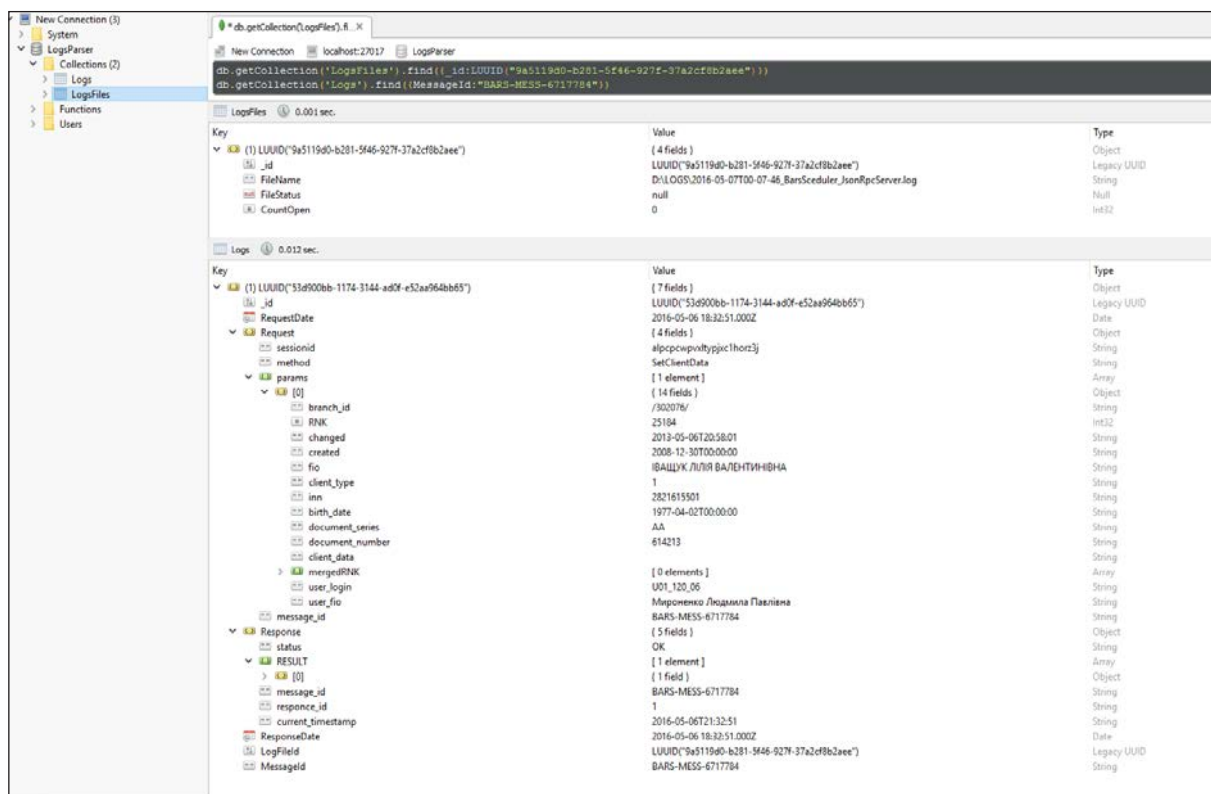


Рис. 1. Інтерфейс RoboMongo

не проводить будь-яких активних рекламних кампаній із залучення відвідувачів, унаслідок чого відвідуваність сайту збільшується на порядки), то отримані під час передачі значення помилки можна вважати більш-менш постійними, що забезпечує можливість здійснення порівняння статистики за минулі періоди.

Звичайно, можна читати й аналізувати й самі логи, але це досить незручний і трудомісткий процес. Оскільки є можливість самому створювати формат логів і їх структуру, то запропоновано зберігати всі збої, зареєстровані в log-файлах системи, у форматі JSON. Для цього було розроблено програмний продукт **LogHelper**, який зберігає log-файли в базі даних MongoDB, переглядає цей файл за заданими критеріями, створюючи документи в колекціях для подальшого аналізу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Програмний продукт LogHelper написаний на мові програмування C#, обрана СКБД MongoDB. Алгоритм аналізу для оброблення log-файлів веб-системи описаний нижче.

На початку аналізу створюється об'єкт Parser(), який матиме як шаблони регулярних виразів, так і два динамічних масиви LogsList, де зберігатимуться об'єкти готових документів для передачі

в базу даних, і TempLogsList, де зберігатиметься тимчасовий неповний об'єкт.

Далі відкривається файл і передається в метод самого аналізу й вибірки даних. На початку методу створюються дві змінних dataStart, dataEnd – дати запиту й відповіді в одному з рядків, знайдених у файлі, value – сам рядок. Потім відтворюється цикл, який перебирає всі рядки файлу. У циклі створюються дві змінні, де записується дата запиту й відповіді. Після знайденої дати відбувається пошук за шаблоном Input, Output, а після знайденого збігу запускається метод CreateLog(), у який передаються messageId, requestDate, request, responseDate, response, logFile. У методі створюється змінна log, де записується перший знайдений документ у тимчасовому масиві var log = TempLogList. FirstOrDefault(o=>o.id==id). Якщо в результаті буде null, тоді відбуватиметься створення нового log-документа, що додається в тимчасовий масив із неповними даними із запитом або відповіддю. Але якщо об'єкт буде знайдений у тимчасовому масиві, тоді відбуватиметься перевірка вхідних даних. Тобто якщо request != "", тоді в знайдений об'єкт у тимчасовому масиві буде переданий requestDate і request, або навпаки, responseDate, response. Після успішного створення

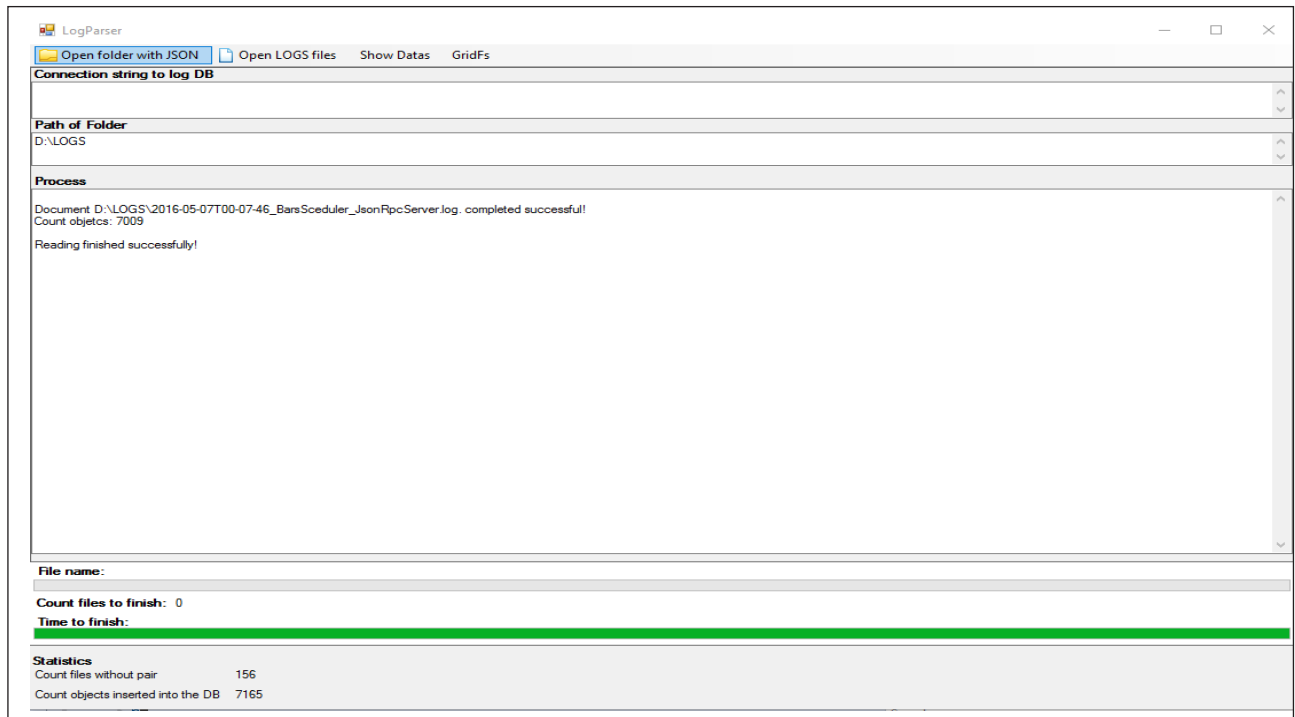


Рис. 2. Інтерфейс LogHelper, аналіз log-файлі

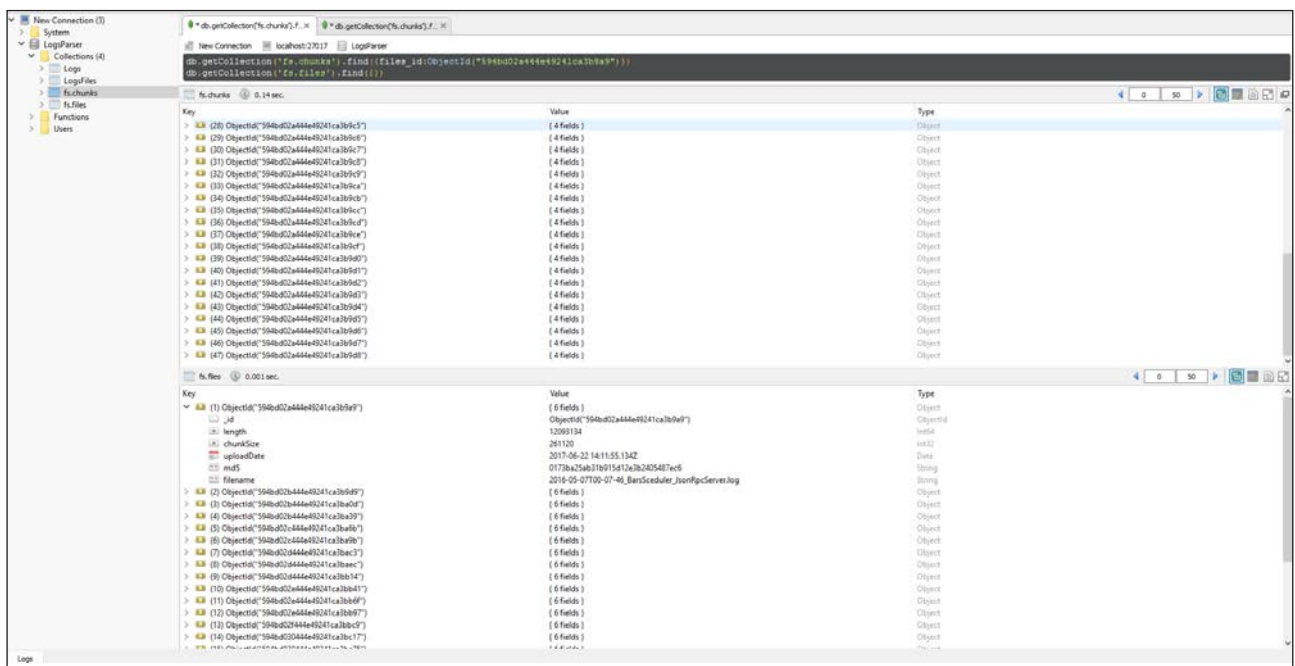


Рис. 3. Інтерфейс завантажених проаналізованих log-файлами відомостей у базу даних MongoDB

чи доповнення об'єкта відбуватиметься перевірка на повноту. Якщо `MessageId != "" && log.Request != "" && log.Response != ""`, тоді додаємо готовий, повний об'єкт `LogsList.Add(log)` і видаляємо з тимчасового масиву `TempLogsList.Remove(log)`. І так – доти, доки не переберемо всі рядки файлу. Після завершення перебору записуємо всі повні

документи в базу даних MongoDB і перевіряємо, чи щось залишилося в тимчасовому масиві. Якщо так, тоді заповнюємо об'єкт шаблоном «Дані не знайдено й стандартне налаштування дати».

Розглянемо роботу алгоритму на прикладі невеличкого фрагмента з log-файлу, в якому зберігаються всі запити й відповіді від сервера.

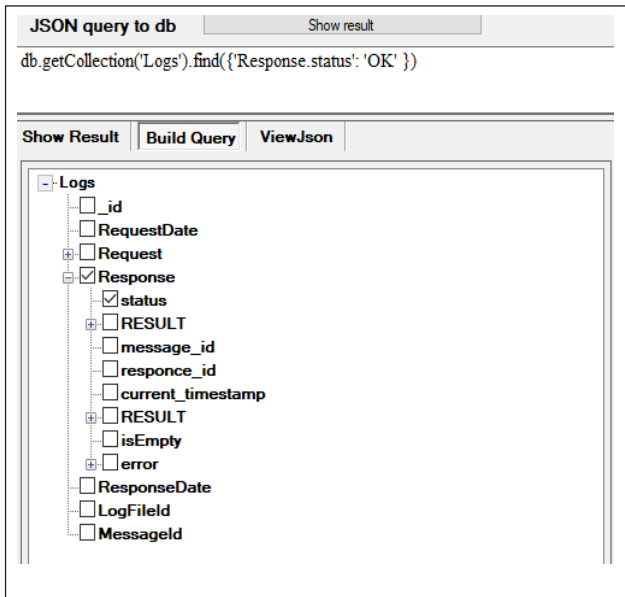


Рис. 4. Інтерфейс побудови запиту в LogHelper

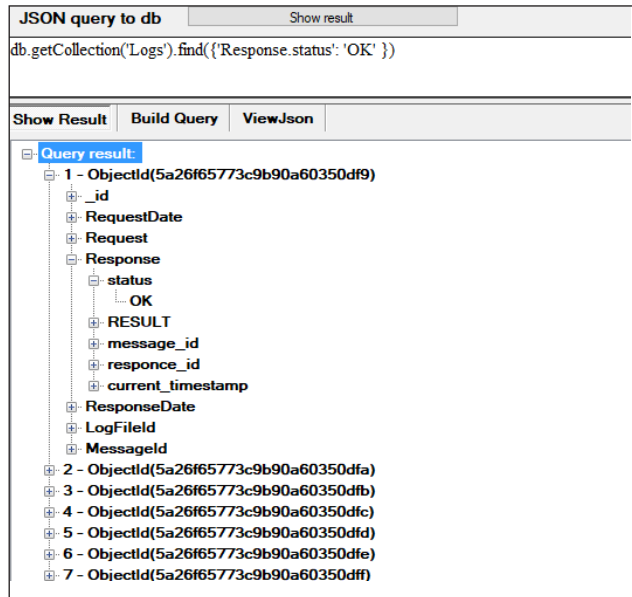


Рис. 5. Інтерфейс результату запиту в LogHelper

=> BarsScheduler at 5/6/2016 9:32:51 PM : from 10.7.73.12 ; RequestType = POST; ContentType = application/json; charset="UTF-8"; Input = {"sessionid": "alpcpcwpvxltypjxc1horz3j", "method": "SetClientData", "params": [{"branch_id": "/302076/", "RNK": "25184", "changed": "2013-05-06T20:58:01", "created": "2008-12-30T00:00:00", "fio": "ІВАЩУК ЛІЛІЯ ВАЛЕНТИНІВНА", "client_type": "1", "inn": "2821615501", "birth_date": "1977-04-02T00:00:00", "document_series": "AA", "document_number": "614213", "client_data": ""}, {"mergedRNK": [], "user_login": "U01_120_06", "user_fio": "Мироненко Людмила Павлівна"}], "message_id": "BARS-MESS-6717784"}

<= BarsScheduler at 5/6/2016 9:32:51 PM : to 10.7.73.12 Output = {"status": "OK", "RESULT": [{"RNK": "25184"}], "message_id": "BARS-ME

Наведений приклад показує завантаження файлу в MongoDB. Загальний розмір – 43, файли займають 504 Мб. Вставка тривала 10,05 секунди. Розмір колекції з файлами – 265 Мб. Як можна побачити, MongoDB стискає колекцію майже вдвічі, швидкість при цьому прийнятна.

На рис. 3 можна побачити, що один файл розділений на 47 фрагментів однакового розміру. У кожному фрагменті, або шарді, є id (ідентифікатор) файлу й бінарні дані документа. Після занесення log-файлу до БД у MongoDB можна легко побудувати JSON запити й проводити аналіз даних, наприклад, за такими параметрами, як дата, місце розташування, статус виконання тощо.

За наведеним алгоритмом за секунду обробляється 1400 рядків і створюється 344 повних об'єкти, які готові для збереження в базі даних. Додатково програмний продукт здатний не тільки аналізувати файл і записувати повні об'єкти в базу даних, а й проводити аналіз наявних даних у базі й запропонувати можливі варіанти створення запитів для користувача (йому залишається тільки ввести дані, за якими буде працювати запит для вибірки даних із бази даних, де збережені проаналізовані log-файли).

За допомогою запиту користувач зможе легко прочитати лог-об'єкт у зручному вигляді дерева й провести аналіз за результатами запиту.

У цій програмі є ще одна велика й важлива відмінність. Під час аналізу log-файлів виділяються й зберігаються об'єкти, які мають статус error, в окрему таблицю, а також інформація про помилку (код помилки, повідомлення тощо). Потім за допомогою цих даних із легкістю можна скласти запит і виявити причину відмови чи збою. Згодом, проаналізувавши дані про помилки, у програмі можна передбачити можливість створення таблиці з кодами помилок і їх рішенням, щоб програма могла самостійно проаналізувати та запропонувати варіанти вирішення виявленої проблеми для користувача за прийнятими log-файлами.

Висновки. У результаті проведеного дослідження з'ясовано, що log-файли є вельми потужним засобом для аналізу функціонування клієнтських додатків розподіленої системи на сервері. Використання LogHelper дає змогу побудувати чіткі й точні запити для аналізу log-файлів і за допомогою

зручної та швидкої технології GridFs зберігати будь-які файли в базі даних у фрагментованому вигляді, якщо порівняти з реляційною базою даних.

За допомогою підказки побудови фільтрів є можливість зібрати статистику та структурування отриманих даних на основі ключових слів для формування підсумкового документа про збої, що відбулися в програмному забезпеченні клієнта за заданий період. Програмний продукт у складі сис-

теми підтримки прийняття рішень пропонується для використання аналітиками та програмістами. Із його допомогою можна визначити причину відмови, побудувавши запит за певними параметрами. Згодом планується створення бази знань експертів, яка буде містити шаблони несправностей і варіанти їх виправлення. Усі ці заходи сприятимуть підвищенню надійності функціонування розподіленої системи.

Список літератури:

1. Возможности MongoDB. URL: <http://habrahabr.ru/post/119703/>.
2. Логи: разбираемся с понятием лог-файл. URL: <http://localhost.ru/log/>.

ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ LOG-ФАЙЛОВ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА LOGHELPER

В статье рассмотрен программный продукт, который работает с log-файлами, непонятными для простого пользователя. Предложен метод сохранения log-файлов, их анализа и принятия решений по исправлениям обнаруженных ошибок пользователя в распределенной системе. Описана структура log-файлов, выяснено их назначение. Рассмотрен формат JSON и доказано, почему именно в этом формате целесообразно описывать логи. Также определен алгоритм анализа и сохранения файлов с помощью GridFS в MongoDB. После обработки данных предложено решение выявленных отказов в системе. С помощью программного продукта проведен сравнительный анализ параметров хранения и обработки log-файлов в реляционных (SQLServer) и нереляционных (MongoDB) базах данных.

Ключевые слова: базы данных, SQL, NoSQL, JSON, реляционные СУБД, нереляционные СУБД, MongoDB, SQL Server, GridFS, FileTable.

LOG FILES PROCESSING AND ANALYSIS BY LOGHELPER SOFTWARE PRODUCT

The article discusses a software product that works with log files that are unclear to the simple user. The method of saving log files, their analysis and making decisions on corrections of detected errors of the user in the distributed system is offered. The structure of log-files is described, their purpose is clarified. The format of JSON is considered and it is proved why in this format it is expedient to describe the logos. An algorithm for analyzing and saving files using GridFS in MongoDB is also defined. After the data processing, the solution of the revealed failures in the system is proposed. Using the software product, a comparative analysis of the parameters for storing and processing log files in relational (SQLServer) and non-relational (MongoDB) databases was conducted.

Key words: database, SQL, NoSQL, JSON, BSON, relational database, non-relational database, MongoDB, SQL Server, GridFS, FileTable.

УДК 004.946:338.48-32

Веретеннікова Н.В.

Національний університет «Львівська політехніка»

Ржеуський А.В.

Національний університет «Львівська політехніка»

Кунанець Н.Е.

Національний університет «Львівська політехніка»

Лаба Р.Ю.

Національний університет «Львівська політехніка»

ФОРМУВАННЯ ВІРТУАЛЬНИХ ТУРІВ КОРПУСАМИ НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

У публікації представлено технології створення інформаційної системи, що забезпечує інтерактивний сервіс віртуального туру. Першим об'єктом, приміщеннями якого здійснюватиметься віртуальна подорож, обрано головний корпус Національного університету «Львівська політехніка». Функціональністю інформаційної системи передбачено можливість подальшого розширення туру на інші корпуси університету. Для створення віртуального туру було використано низку засобів: HTML, сервер баз даних MySQL, мова JavaScript, бібліотека Three.js, WebGL, JSON. У статті детальніше проаналізовано можливості використання бібліотеки Three.js. під час створення інтерактивних екскурсій.

Ключові слова: віртуальний тур, HTML, сервер баз даних MySQL, JavaScript, бібліотека Three.js, WebGL, JSON.

Постановка проблеми. Використання сучасних інформаційних технологій, що дозволяють здійснювати віртуальні подорожі різними установами та місцевостями, стає незамінним у багатьох сферах діяльності людини. Галуззю, що найдинамічніше розвивається в Україні, є туризм; під час підбору поїздки кожен турист хоче бути ознайомленим з усіма умовами й прагне отримати вичерпну інформацію про місце відпочинку. Візуалізацію інформації дозволяє забезпечити технологія «віртуальний тур». Такий підхід сприяє поданню зображення об'єкта в різних ракурсах і ознайомленню з куточком суспільного простору, який викликав зацікавлення. Як зручний інструмент візуалізації технологія «віртуальний тур» ефективно використовується у сфері маркетингу, що дозволяє показати потенційному споживачу його товар або послугу, створюючи ілюзію присутності в місці перегляду, викликаючи яскраві зорові образи. Цей інструмент дозволяє отримати більш повну інформацію про об'єкт перегляду [1].

Проблему формування іміджу міста засобами 3D досліджував А. Горохів [2]. Віртуальний тур як засіб документування об'єктів культурної спадщини розглядали З. Кулик і С. Іващенко [3]. Етапи розроблення віртуальних турів, а також переваги та недо-

ліки такого мультимедійного продукту для користувача розглядають О. Цимбаліст і О. Орлик [4].

Однак актуальним і найменш розробленим питанням є створення віртуальних турів чи систем інтерактивної навігації віртуальної прогулянки закладами вищої освіти України.

Постановка завдання. Мета дослідження – аналіз проекту інтелектуальної системи для створення інформаційного продукту забезпечення інтерактивного сервісу навігації корпусами Національного університету «Львівська політехніка».

Виклад основного матеріалу дослідження. В основу методологічного дослідження покладений системний аналіз. Об'єктом дослідження є проект інтелектуальної системи «Віртуальний тур головним корпусом Національного університету «Львівська політехніка».

Для розроблення інтерактивного сервісу навігації по університету використовувалися такі засоби, як мова розмітки гіпертексту HTML, сервер баз даних MySQL, мова JavaScript, бібліотека Three.js, WebGL, JSON, а також програмне забезпечення (Google Street View, Webstorm, Brackets).

У дослідженні пропонуються засади розроблення проекту інтелектуальної системи «віртуальний тур» із можливістю розміщення на

веб-сайті. Проект передбачає створення зручної WEB-системи, яка надаватиме користувачу повну інформацію про об'єкти, можливість оглядати приміщення та переходити з локації на локацію в межах будівлі.

На першому етапі дослідження, після проведення аналізу наявних у мережі Інтернет проектів зі створення віртуальних турів, нами визначено схему розроблюваної web-системи. Запропонована система служить для віртуальної подорожі будівлями університету. Для цього визначені основні модулі, з яких буде складатися інтелектуальна система, а саме адміністративна частина, перелік об'єктів і головна сторінка.

Головна сторінка містить лінки для переходу до модулів «Адміністративна частина» і «Перелік об'єктів».

Модуль «Адміністративна частина» забезпечує процеси додавання адміністратором нових об'єктів і редагування інформації, поданої на сайті. На сайті розміщується зображення об'єктів – корпусу Національного університету «Львівська політехніка», віртуальна подорож яким відбувається за допомогою програмного продукту.

Перелік об'єктів забезпечує можливість переходу користувача до обраного об'єкта, яким відбуватиметься подорож.

Тривимірний графік в інтелектуальній системі реалізується за допомогою технології WebGL. WebGL – стандарт, специфікація якого постійно вдосконалюється і призначена для відображення 3D-графіки у веб-браузерах. Ця технологія дозволяє впроваджувати апаратно прискорену 3D-графіку у веб-сторінки без необхідності використовувати спеціальні плагіни веб-браузера на будь-якій платформі, що підтримує OpenGL або OpenGL ES. Таким чином здійснюється прив'язка JavaScript-скриптів до функцій, визначених у бібліотеках OpenGL ES 2.0 і реалізованих на рівні браузера. Технологія забезпечує WebGL-виконання необхідних математичних операцій (із матрицями, кватерніонами й т. д.) для створення тривимірної графіки. У якості робочого фреймворку вибрана бібліотека Three.js, яка надає можливість написання 3D-частини на JavaScript. Three.js скрипти використовуються спільно з елементами HTML5, CANVAS, SVG або WebGL.

Для коректного відображення тривимірної графіки в Three.js необхідні три речі: сцена, камера й рендерер (для візуалізації перших двох пунктів). Об'єкт THREE.Camera додається автоматично бібліотекою Three.js, коли відбувається візуалізація сцени

```
(var scene = new THREE.Scene());
var camera = new THREE.PerspectiveCamera(
90, window.innerWidth / window.innerHeight, 0.1,
1000 );
var renderer = new THREE.WebGLRenderer();,
проте його можна додавати і вручну.
```

Перше зображення, що з'являється в 3D-просторі, – це рендерер. Рендерер – це сутність, яка відображає на canvas обрану сцену з обраної камери. Під поняттям «сцена» розумітимемо сформований нами 3D-простір, у якому розташовуються необхідні нам об'єкти: елементи (меші). Рендерер для відображення потрібного нам об'єкта на canvas завжди подає (із використанням методу подання об'єкта WebGL) сцену й камеру. Саме ці дві ключові речі формують відображення простору на тег canvas.

Зовнішній вигляд елементів залежить саме від положення камери – тієї точки, з якої відбувається знімання сцени. Представлення 3D-об'єктів на екрані – це фактично двовимірні проєкції, які подаються в тривимірному просторі. Сцена може бути відображена по-різному, залежно від модифікації обраної камери. Для тривимірного подання зображення використовується три види камер:

- CubeCamera;
- OrthographicCamera;
- PerspectiveCamera.

Камера PerspectiveCamera формує ракурс перспективи, відображає сцену так, що об'єкти, які знаходяться далі, виглядають меншими. Саме такий підхід потрібен для зйомки тривимірної сцени (Рис. 1. PerspectiveCamera).

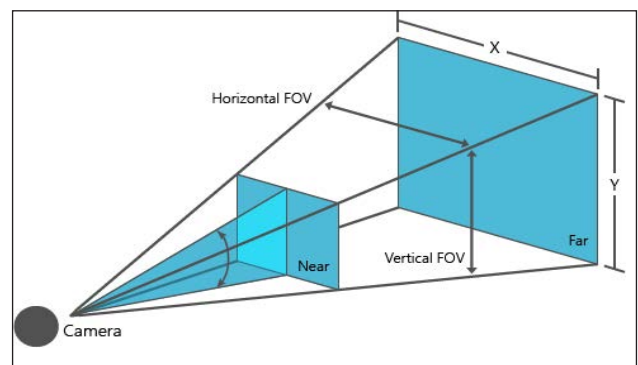


Рис. 1. PerspectiveCamera

1. Перший параметр (90) визначає вертикальне поле сцени в градусах (від нижнього до верхнього краю). Це частина сцени, яку видно на екрані в заданий момент. Горизонтальне поле огляду обчислюється з використанням вертикального поля огляду.

2. Другий параметр (`window.innerWidth/window.innerHeight`) визначає пропорції камери. Ми обрали відношення ширини вікна перегляду до його висоти для максимально точного відображення панорами на екрані.

3. Третій параметр (0.1) визначає передню площину видимого простору камери. У двовимірній системі позитивні значення осі X відкладаються справа, а осі Y – зверху вниз. Однак у тривимірній системі координат початок розташовується в центрі досліджуваної області. Позитивні значення осі X відкладаються вправо, осі Y – знизу вверх, а осі Z – із центра до спостерігача. У такому разі передня площина видимого простору практично збігається з площиною XY (тобто з екраном).

4. Останній параметр (1000) визначає задню площину видимого простору. Таким чином, коли об'єкт зміщується більш ніж на ± 1000 одиниць, він виходить за межі видимого простору Three.js і відсікається від зображення.

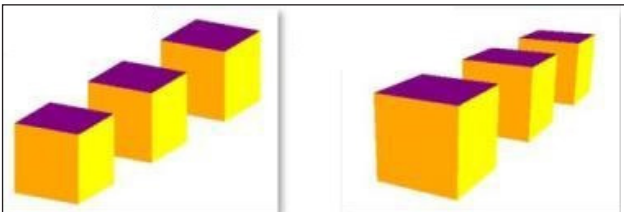


Рис. 2. OrthographicCamera й PerspectiveCamera

Геометрія простору – це набір вершин, які під час генерації з'єднуються між собою графічними примітивами. Якщо ми вважатимемо найпростішу площину геометрією простору, то в рамках цієї площини на зображенні точки з'єднуються між собою прямими лініями. Якщо є сфера, то в ній ключові точки в сегментах з'єднуються прямими лініями.

Бібліотека Three.js включає в себе 4 види геометрії площини:

- BoxGeometry;
- SphereGeometry;
- CylinderGeometry;
- TorusGeometry.

Ми обрали другий вид геометрії простору, а саме кубічну, адже для згладженого ефекту панорамної 3D-сцени вона є найбільш оптимальною для сприйняття людським оком.

Матеріали в Three.js описують зовнішній вигляд об'єктів (у нашому випадку – 3D-сцену). Матеріал – це не просто колір об'єкта, це те, як він себе поводить на сцені. Матеріалом нашої сцени є панорамні фотографії (Рис. 3), зроблені за допомогою програми Microsoft Photosynth. Усі матеріали містяться в JSON-файлі, в якому також зберігаються всі переходи між кімнатами.



Рис. 3. Панорамна фотографія

На рис. 4 можна побачити схему взаємодії основних програмних сутностей у межах нашого фреймворку.

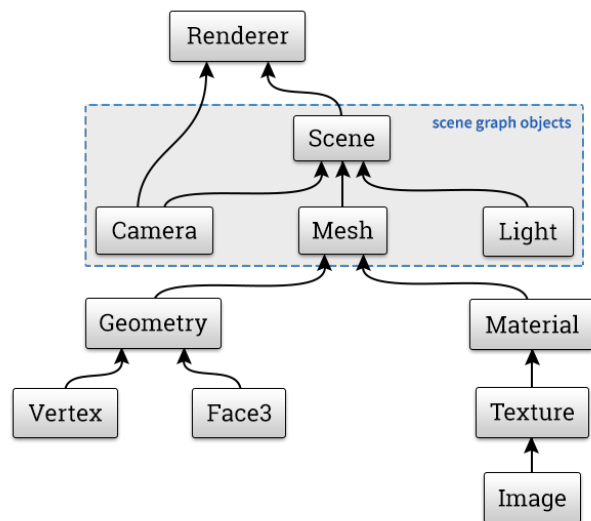


Рис. 4. Node-map

Меш – це елемент сцени, який складається з геометрії простору й матеріалу об'єкта. Отже, геометрію простору й матеріали об'єкта ми отримали в тривимірному просторі, що призвело до заповнення сітки (mesh). Після такого налаштування камера також готова для відображення інтерактивної карти. Це дозволяє додати об'єкти на сцену й отримати 3D-карту. Для кращого розуміння реалізації пропонується розглянути таку концепцію: «Ми знаходимося в центрі сфери, на внутрішню поверхню якої нанесена текстура панорами. Ми – це камера, яка може повертатися й дивитися вгору чи вниз, вліво чи вправо».

Можливість повороту камери була надана за допомогою спеціальних формул:

```
lat = Math.max(- 85, Math.min(85, lat));
phi = THREE.Math.degToRad(90 - lat);
theta = THREE.Math.degToRad(lon);
camera.target.x = Math.sin(phi) * Math.cos(theta);
camera.target.y = Math.cos(phi);
camera.target.z = Math.sin(phi) * Math.sin(theta).
```

Також надана можливість наближення та віддалення сцени (рис. 5):

```
function onDocumentMouseWheelStop() {
    if(event.wheelDeltaY && camera.fov == 30){
        camera.fov -= event.wheelDeltaY * -0.05;
    }else if(event.wheelDeltaY && camera.fov == 108){
        camera.fov -= event.wheelDeltaY * -0.05;
    }
}

function onDocumentMouseWheel(event) {
    // WebKit
    if (event.wheelDeltaY && camera.fov > 30 && camera.fov < 108) {
        camera.fov -= event.wheelDeltaY * 0.05;
        onDocumentMouseWheelStop();
    }
    // Opera / Explorer 9
    } else if (event.wheelDelta && camera.fov > 30 && camera.fov < 108) {
        camera.fov -= event.wheelDelta * 0.05;
        onDocumentMouseWheelStop();
    }
    // Firefox
    } else if (event.detail && camera.fov > 30 && camera.fov < 108) {
        camera.fov += event.detail * 0.05;
        onDocumentMouseWheelStop();
    }
    camera.updateProjectionMatrix();
}
```

Рис. 5. Функції MouseWheel

Ця робота може містити рухомі елементи всередині сцени. Тому на внутрішній поверхні сфери знаходяться спрайти. Спрайт – це рухомий елемент зображення в комп’ютерній графіці, найчастіше в растровому зображенні. Спрайт передбачає наявність декількох картинок, які поєднані в одну. Спрайти сприяють користувачу в перетягуванні сцен. Отримані рухомі елементи сцени роблять зображення зручнішим для користування.

Райкастер відповідає за проектування променя на сцену, визначення результату його зіткнення з елементами, перевірку місця курсору. Переважно він є невидимим для користувача, але його використання в поєднанні з бібліотекою three.js допомагає в такому:

- ідентифікувати об’єкт, на який навели мишку;
- дізнатися положення елемента;
- визначити, у який бік «дивиться» той чи інший об’єкт.

Освоєння цього класу скриптів відкриває величезні можливості для створення інтерактивності й отримання повної картини щодо об’єктів на створеній нами сцені.

Отже, при наведенні курсору на спрайт нами досягається певна дія, яка визначає поведінку об’єкта (принаймні зміна кольору спрайту). Ми розраховуємо перетин заданого променя з обраною геометрією простору. У такому разі ми направляємо промінь униз і знаходимо найближчий перетин курсора з платформою. Під час переведення курсору з платформи вона набуває стандартного кольору. Цей метод поданий на рис. 6.

```
var intersects = raycaster.intersectObjects(sprites);
if (intersects.length > 0) {
    if (INTERSECTED != intersects[0].object) {
        INTERSECTED = intersects[0].object;
        if (INTERSECTED) {
            INTERSECTED.material.color.setRGB(3.0, 142.0, 0.0);
        }
    }
} else {
    if (INTERSECTED) { INTERSECTED.material.color.setRGB(0, 0, 0); }
    INTERSECTED = null;
}

renderer.render(scene, camera);
```

Рис. 6. Метод райкастеру

Висновки. У ході нашого дослідження розроблений проект віртуального туру корпусами Національного університету «Львівська політехніка» з використанням методу системного аналізу. Переваги, які ми отримуємо під час розроблення цього мультимедійного інформаційного продукту, такі:

- можливість інтеграції на сайт, оскільки тур буде представлений на веб-ресурсі;
- адаптивність до операційних середовищ мобільних пристроїв;
- можливість розширення функціоналу;
- можливість аудіосупроводу відеоряду під час проведення віртуального туру.

Віртуальний тур буде корисним для абітурієнтів, студентів, туристів, які зможуть ознайомитися зі структурою й архітектурними особливостями Національного університету «Львівська політехніка» в дистанційному режимі.

Список літератури:

1. Робота екскурсійного бюро. URL: https://studwood.ru/1271843/informatika/roboata_ekskursiynogo_byuro (дата звернення 26.08.2018).
2. Горохів А. Методичні положення щодо формування бренду туристичної дестинації. Проблеми сучасної економіки. 2007. № 3 (19). С. 15–25.
3. Кузик З., Іващенко С. Віртуальний тур як засіб документування об’єктів культурної спадщини. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. 2015. Вип. II (30). С. 82–86.
4. Цимбаліст О., Орлик О. Віртуальні екскурсії по містах світу. Інформатика та інформаційні технології: матеріали студ. наук. конф. (20 квітня 2015 р.): матер. конф. Одеса: ОНЕУ, 2015. С. 52–55.

ФОРМИРОВАНИЕ ВИРТУАЛЬНЫХ ТУРОВ КОРПУСАМИ НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА «ЛЬВОВСКАЯ ПОЛИТЕХНИКА»

В публикации представлены технологии создания информационной системы, обеспечивающей интерактивный сервис «виртуальный тур». Первым объектом, по помещениям которого будет осуществляться виртуальное путешествие, избран главный корпус Национального университета «Львовская политехника». Функциональностью информационной системы предусмотрена возможность дальнейшего расширения тура на другие корпуса университета. Для создания виртуального тура был использован ряд средств, таких, как HTML, сервер баз данных MySQL, язык JavaScript, библиотека Three.js, WebGL, JSON. В статье подробно проанализированы возможности использования библиотеки Three.js. при создании интерактивных экскурсий.

Ключевые слова: виртуальный тур, HTML, сервер баз данных MySQL, JavaScript, библиотека Three.js, WebGL, JSON.

FORMING VIRTUAL TOURS IN THE BUILDINGS OF LVIV POLYTECHNIC NATIONAL UNIVERSITY

This publication presents technologies for creating an information system that provides an interactive virtual tour service. The first object, where the virtual tour will be done, is selected to be the main building of Lviv Polytechnic National University. The functionality of the information system provides the possibility of further expansion of the tour to other university buildings. To create a virtual tour, a number of tools were used such as: HTML, MySQL database server, JavaScript language, Three.js library, WebGL, JSON. This article analyses in more details the possibilities of using the Three.js library. when creating interactive excursions.

Key words: virtual tour, HTML, MySQL Database Server, JavaScript, Three.js Library, WebGL, JSON.

Гайтан О.М.

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

Горошко А.І.

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОЇ ПЕРЕВІРКИ ОРИГІНАЛЬНОСТІ ТЕКСТІВ

У статті розглядається питання неправомірного використання інтелектуальної власності, а також досліджуються наявні системи контролю для перевірки автентичності змісту тексту. У роботі здійснено перевірку вибраних текстів із метою виявлення рівня їх оригінальності та визначення переваг чи недоліків представлених на ринку програмного забезпечення програмних комплексів автоматичного аналізу текстів.

Ключові слова: оригінальність тексту, онлайн-сервіс, програмний комплекс, антиплагіат.

Постановка проблеми. На сучасному етапі розвитку суспільства в людей з'явився широкий доступ до різних інформаційних джерел у зв'язку з поширенням мережі Інтернет, а високий розвиток інформаційно-комунікаційних технологій полегшив завдання пошуку та зберігання необхідної інформації. Сьогодні достатньо ввести назву теми в пошукову систему для подальшого копіювання необхідної інформації. Унаслідок цього почав поширюватися метод написання робіт (зокрема студентами), який полягає в простому копіюванні інформації з одного чи декількох джерел із мінімальним редагуванням. Одним із варіантів вирішення проблеми є використання систем автоматичної перевірки оригінальності тексту з метою вдосконалення організації та контролю навчального процесу в університеті, забезпечення самостійності виконання випускних кваліфікаційних і курсових робіт, збереження прав інтелектуальної власності. Отже, дуже важливим є питання про порівняння інформаційних систем подібного роду.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемі аналізу систем антиплагіату та використанню їх для перевірки наукових і академічних текстів протягом останнього десятиліття приділяється значна увага. Публікації із цього питання можна поділити на декілька категорій:

– технології й особливості використання таких систем у навчальному процесі для перевірки студентських робіт на оригінальність і захисту інтелектуальної власності авторів навчальних курсів у рамках питання забезпечення академічної чесності, яке є сьогодні є дуже актуальним для України. Зараз цьому питанню приділяється багато

уваги як на рівні держави, так і на рівні окремих навчальних закладів. Американські ради з освіти за участі Міністерства освіти й науки України та за підтримки Посольства Сполучених Штатів Америки започаткували проект «Сприяння академічній доброчесності в Україні» (SAIUP project), який нині охоплює 10 українських вузів [1];

– технології й особливості використання цих систем у науковому середовищі для перевірки наукових робіт на оригінальність, зокрема й наукових статей і дисертацій. Наразі більшість статей, які подаються до наукових журналів, і всі дисертації, представлені до захисту в спеціалізованих вчених радах, перевіряються системами антиплагіату. Однак ця перевірка є поверховою та залежить від можливостей системи антиплагіату, а також бази джерел, що використовується в цій системі [2; 3];

– аналіз наявних і розроблення нових алгоритмів і методів антиплагіату. У якості прикладу можна навести модифікацію алгоритму шинглів для пошуку нечітких дублікатів для складених документів [4; 5];

– аналіз наявних і розроблення нових систем антиплагіату; технології, що використовуються, і їх програмна реалізація [6–14];

– класифікація програмних засобів цієї категорії за різними типами показників: за колекцією джерел, що використовується, за характеристиками ресурсу, за складністю метрик, що використовуються, тощо [15; 16].

Однак, незважаючи на велику кількість досліджень, присвячених цьому питанню, залишається питання ефективності конкретних систем і вибору оптимальної з орієнтацією на українські роботи, написані українською чи російською мовами, з

урахуванням використання простого перекладу між цими мовами.

Постановка завдання. Основна мета статті полягає в дослідженні особливостей функціонування й результативності різних інформаційно-програмних систем автоматичної перевірки текстів для вдосконалення аналізу студентських наукових робіт на оригінальність.

Об'єкт дослідження – інформаційно-програмні системи автоматичної перевірки текстів.

Виклад основного матеріалу дослідження. У процесі дослідження систем автоматичної перевірки текстів за критеріями оригінальності використовуються різні підходи. Одні з них базуються на використанні власної оффлайн-бази текстів, а інші можуть коректно працювати лише за умови підключення до Інтернету. Але ми вважаємо, що найбільшою популярністю користуються такі системи:

ETXT-антиплагіат (<https://www.etxt.ru/antiplagiat/>) [19] – система, розповсюджена в Україні, принцип роботи якої полягає в порівнянні тексту із запитом в пошукових системах (Google, Яндекс, Bing тощо).

Переваги системи:

- 1) підтримка української мови;
- 2) можливість виявлення російсько-українського та зворотного перекладу;
- 3) ефективність пошуку дублікатів;
- 4) додаткові можливості перевірки на рерайт, комплексної перевірки всіх сторінок сайту, перевірки зображення та SEO-перевірки.

Недоліки системи:

- 1) обмеження обсягу тексту, що перевіряється, у безкоштовній онлайн-версії (до 3000 символів – без реєстрації, до 5000 символів – після реєстрації). Однак програма має безкоштовну десктопну версію, яку можна завантажити із сайту програми;
- 2) тривалість перевірки великих документів до 1 години та необхідність багаторазового введення капчі для порівняння з пошуковими запитом Google (наприклад, перевірка цієї статті вимагає введення капчі 17 разів).

Адвего-Плагиатус (<http://advego.ru/plagiat/>) [20] – система, що досить розповсюджена в Україні. Принципи роботи системи: текст розбивається на маленькі частини, які аналізуються за декількома алгоритмами: алгоритм шинглів для перевірки точних збігів фраз і сторінок-першоджерел, алгоритм лексичних збігів для перевірки схожості набору лем, термінів і значущих слів, алгоритм псевдоунікалізації для перевірки сторонніх символів. Програма має онлайн і десктопну версію,

яку можна завантажити із сайту програми.

До переваг системи можна віднести підтримку української мови, відсутність обмежень на кількість символів у документі.

Недоліки: менша ефективність перевірки порівняно із системою ETXT-антиплагіат. Крім того, проблематичною є перевірка великих файлів, незважаючи на формальну відсутність обмежень на кількість символів у документі, і необхідність багаторазового введення капчі для порівняння з пошуковими запитом Google.

Наступною за популярністю серед користувачів є така система, як text.ru-Антиплагіат (<http://text.ru/antiplagiat/>). Система використовує вдосконалену методику перевірки текстів, відмінну від інших систем.

Переваги системи:

- 1) підтримка української мови;
- 2) можливість виявлення російсько-українського перекладу та незначного рерайту (переставлення слів, фраз і речень місцями, зміна граматичних форм слів, додавання чи видалення декількох слів);

3) додаткові можливості: SEO-аналіз тексту та перевірка орфографії.

Основний недолік системи полягає в тому, що система не підтримує перевірку великих текстів, які необхідно розбивати на шматки, що змінює оригінальність тексту.

Наступною для дослідження була обрана польська інформаційна система «Антиплагіат» (<https://www.plagiat.pl/webplagiat/main.action?menu=home&lang=en&lang2=en>), оскільки саме за цією системою багато українських вузів перевіряють роботи.

Як зазначає компанія-розробник, однією з переваг цієї системи є акумуляція баз даних усіх вищих навчальних закладів, з якими співпрацює компанія. Компанія постійно розширює свою присутність на ринку України. 4–5 червня 2018 р. у Львівському державному університеті внутрішніх справ пройшов круглий стіл, присвячений системі StrikePlagiarism.com (основний продукт системи «Антиплагіат»), під час якого представники компанії представили можливості системи та новий інтерфейс програми, а представники українських вузів (Львівського державного університету внутрішніх справ, Київського національного економічного університету імені Вадима Гетьмана, Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна та Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника) поділилися позитивними враженнями від

упровадження системи та досвідом її використання. Принципи роботи цієї системи схожі з ЕТХТ: можливість перевірки текстів українською та російською мовами, використання модуля перекладу для виявлення російсько-українського та українсько-російського перекладу, можливості виявлення незначної модифікації тексту, зокрема перекладів-синонімів, інфлексії тощо. Перевірка здійснюється онлайн: після завантаження документа, його аналізу та перевірки система видає детальний звіт.

Таким чином, перевагами системи є підтримка української мови, використання внутрішньої бази університетів і досить потужний алгоритм пошуку дублікатів.

До недоліку системи можна віднести платність ресурсу. Тарифи для університетів обговорюються окремо залежно від їх можливостей. Плата для звичайних користувачів становить 2,44 євро за 20 000 символів.

Антиплагиат.ру [18] – російська система, яка впроваджена з 2005 р. і працює лише з російською мовою.

Завантажені тексти перевіряються за такими базами:

- модуль пошуку в мережі Інтернет, який містить 200 млн джерел російською, англійською й іншими мовами;
- колекція дисертацій російської державної бібліотеки;
- модуль пошуку «Elibrary»;
- модулі «Lexpro» і «Гарант», які містять нормативно-правову документацію;
- модуль «Медицина», який містить наукову та навчальну літературу з медицини та фармацевтики;
- модуль «Патенти».

Принципи роботи системи:

- 1) розбивання файлу на невеликі фрагменти;
- 2) пошук дублікатів за аналогією з роботою системи «Яндекс».

До переваг системи можна віднести ефективність роботи алгоритму перевірки.

Недоліки системи:

- 1) система не підтримує українську мову, тому в Україні майже не використовується;
- 2) вартість виведення повних звітів про перевірку, яка залежить від кількості перевірок і періоду доступу до системи. Мінімальна вартість – 150 руб. за 10 перевірок. У безкоштовному тарифі виконується пошук лише в модулі Інтернету.

Система Антиплагиат.ру має розширення Антиплагиат-вуз, яке, крім вищевказаних моду-

лів, містить базу робіт російських вузів. Але це розширення також не використовується в Україні через відсутність підтримки української мови.

Після представленого вище опису систем аналізу текстів, що покладені в основу нашого дослідження, доцільно перейти до розгляду принципів їх функціонування й проведення порівняння результатів роботи.

У системі ЕТХТ-антиплагиат (<https://www.etxt.ru/antiplagiat/>) [19] робота з перевірки тексту на оригінальність складається з таких етапів:

- 1) збір інформації з різних джерел: сайтів Інтернету, бази наукових статей і рефератів тощо. Завантажені документи проходять процедуру фільтрації, засновану на унікальній технології очищення тексту, у результаті якої відкидається марна з погляду потенційного цитування інформація;

- 2) кожен з отриманих текстів певним чином форматується й заноситься в системну базу даних. Таким чином, на вході система приймає файл, а на виході видає всі фрагменти тексту, щодо яких система знайшла схожі аналоги в Інтернеті (ці фрагменти відповідно виділяються), видається посилання, де вони могли бути скопійовані. Також підраховується ймовірність заповнення фрагмента: 100% – фрагмент заповнений у початковому вигляді, якщо ймовірність менше, то у фрагменті можуть бути переставлені слова, змінені словоформи, розбиті речення, слова замінені синонімами, зроблені інші маніпуляції з текстом. Користувачі, які підключили платний аккаунт, отримують можливість перевірки за додатковими базами, перегляду повного звіту з посиланнями на джерела отриманої інформації.

Завантажені тексти перевіряються за такими базами:

- 1) модуль пошуку в мережі Інтернет, що включає колекції рефератів, наукові публікації, статті Вікіпедії;
- 2) колекції дипломних робіт деяких ВНЗ;
- 3) колекції дисертацій державної бібліотеки;
- 4) колекції юридичних документів LEXPRO;
- 5) колекції наукової електронної бібліотеки elibrary.ru.

Відзначимо, що пункти 3–5 доступні користувачам із платними аккаунтами.

Інший онлайн-сервіс (Findcopy.ru (<http://findcopy.ru/>)) перевіряє текст на унікальність, спираючись здебільшого на сайти мережі Інтернет. Для роботи достатньо безкоштовно зареєструватися на сайті й пройти авторизацію. У середньому перевірка тексту здійснюється про-

тягом 45 секунд. Текст, підготовлений для перевірки, необхідно розмістити в спеціальному полі на сторінці ресурсу. Альтернативним способом є перевірка оригінальності тексту веб-сторінки, для чого необхідно вказати її URL-адресу [21].

Згідно з отриманою нами інформацією [10; 22], система «Автор.NET» здійснює перевірку як за джерелами, доступними в Інтернеті, так і за власними джерелами (бази статей, курсових і контрольних робіт, дипломних проектів тощо). За результатами перевірки формується звіт з висвітленням знайдених запозичень і можливістю перегляду знайдених джерел.

Як зазначається в огляді «Автор.NET» [22], система містить два модулі, що функціонують незалежно один від одного:

1) перший модуль здійснює перевірку за внутрішньою базою джерел;

2) другий модуль проводить перевірку за джерелами мережі Інтернет.

Для цієї мети текст документа розбивається на інформативні фрагменти, кількість яких залежить від розміру документа. Проводиться пошук джерел, що містять ці фрагменти, із використанням модуля пошукової системи Яндекс, онлайн-пошуку систем Google.ru, Rambler.ru, Aport.ru, Поиск.Mail.ru, Nigma.ru тощо. Отримані джерела перевіряються на відповідність вхідному документу. Для цього визначається формат джерела (html, txt, doc, rtf або pdf-файл). Із гіпертекстових документів видаляються теги розмітки. Далі джерела проходять попередню обробку, а потім проводиться оцінка їх подібності з вихідним документом.

Сервіс Copyscape (www.copyscape.com) [23] використовується для перевірки оригінальності контенту російськомовних і англійськомовних текстів, опублікованих у мережі Інтернет. Для перевірки необхідно вказати URL-адресу ресурсу, який цікавить користувача. У цьому сервісі кількість запитів з однієї IP-адреси обмежена, також обмеження поширюються на перегляд результатів пошуку збігів: у безкоштовному акаунті надаються тільки первинні джерела.

На основі робіт [9; 10; 24] і власного аналізу розглянутих сер-

вісів можна сформулювати головні принципи функціонування систем перевірки тексту.

По-перше, вихідний текст проходить попередню обробку, яка містить такі дії:

1) розділення тексту на частини;

2) перетворення регістра;

3) перетворення латинських літер в українських словах на аналогічні літери українського алфавіту для текстів українською мовою;

4) видалення стоп-слів (прийменники, прислівники тощо) і знаків пунктуації;

5) фільтрація тексту: видалення неінформативних, найбільш розповсюджених і слів, що рідко трапляються;

6) відкидання закінчень слів.

По-друге, для оригінального чи обробленого тексту визначається індекс його оригінальності. При цьому різні способи індексування переслідують різні цілі – прискорення пошуку, скорочення розміру пошукової бази, стійкість до помилок чи пропусків, стійкість до перетворень тексту тощо.

Для порівняння роботи сервісів під час перевірки оригінальності текстів нами був проведений експеримент. Було підготовлено кілька текстів.



Рис. 1. Результати перевірки першого тексту в ETXT-антиплагіат (а) і Findcopy.ru (б)



Рис. 2. Результати перевірки другого тексту в ETXT-антиплагіат (а) і Findcopy.ru (б)

1. Текст, створений на основі лекції з дисципліни «Моделювання систем» зі спеціальною термінологією.

2. Текст, отриманий на основі статті з електронного журналу із заміною деяких слів синонімами. У тексті також використовуються спеціальні терміни.

3. Текст без використання термінів, але з наявністю складних оборотів, складносурядних і складнопідрядних речень. Текст є повністю оригінальним, оскільки був складений автором статті.

Ці тексти були перевірені на системах Findcopy.ru та ETXT-антиплагіат.

За першим підготовленим текстом у безкоштовному аккаунті системи ETXT-антиплагіат були отримані такі результати: оригінальність – 50,44%, запозичення – 49,56%, цитування – 1%.

Результати перевірки цього самого тексту на ресурсі Findcopy.ru показали оригінальність тексту 58% і 3 джерела.

Другий текст був узятий зі статті електронного журналу із заміною деяких слів синонімами. У цьому тексті, так само, як і в першому, використовується складна термінологія, кількість символів – 217.

В обох версіях системи ETXT-антиплагіат отримані такі дані: оригінальність – 100%, запозичення – 0%, цитування – 0%.

Такий результат може означати те, що в базі системи перевірки тексту на оригінальність немає статей із низки вельми відомих електронних журналів. Питання про внесення їх до бази поки залишається відкритим.

Перевірка другого тексту на Findcopy.ru виявила оригінальність тексту 16,2%; наведено одне джерело – lasola.ru (83,8%).

Третій текст був написаний автором статті у 2017 році для участі у Всеукраїнському конкурсі журналістики і є фрагментом літературної прози, у ньому немає запозичень і спеціальної термінології, кількість символів – 309.

У безкоштовній версії системи ETXT-антиплагіат (<https://www.etxt.ru/antiplagiat/>) отримані такі дані: оригінальність – 44,56%, запозичення – 55,44%, цитування – 0%.

Перевірка третього тексту на сервісі Findcopy.ru показала стовідсоткову оригінальність тексту.

Результати порівняння показали, що система ETXT-антиплагіат здійснює пошук за кількома напрямками, представленими вище. Проте система має низку недоліків.

По-перше, система не здійснює пошук серед усіх документів, доступних у мережі Інтернет. Особливо це стосується тематичних сайтів і новинних порталів: багато запозичень здійснюється саме з таких джерел. Доказом цього є приклад – перевірка другого тексту, повністю взятого з електронного видання. Ця система, перевіривши його, показала унікальність тексту 100%.

По-друге, у безкоштовній версії є обмеження розміру тексту – 3000 або 5000 символів (доступно після реєстрації).

По-третє, обмежений перегляд документів, що частково відповідають тексту. Крім того, система обмежує можливість перевірки в базі наявних робіт.

До переваг системи Findcopy.ru можна віднести можливість пошуку не за окремими колекціями, а за всіма документами, доступними в мережі Інтернет. Прикладом є перевірка другого тексту, де система показала 16,2% унікальності, а ETXT-антиплагіат – 100%. Також є обмеження довжини тексту до 10 000 знаків. Основним недоліком Findcopy.ru є те, що система не описує детально джерела, а тільки вказує посилання на них і кількість відсотків, узятих із кожного джерела. У результаті порівняння можна зробити висновок, що відмінності в отриманих результатах зумовлені насамперед відмінностями баз систем, де перевіряється завантажений текст. Деякі системи перевіряють текст тільки в Інтернеті, на певних сайтах, однак багатьох є й свої бази.

Висновки. 1. Сучасність диктує необхідність створення та використання систем контролю для перевірки автентичності змісту тексту.

2. Інформаційно-програмні системи автоматичної перевірки текстів дозволяють виховати в студентів оригінальність науко-

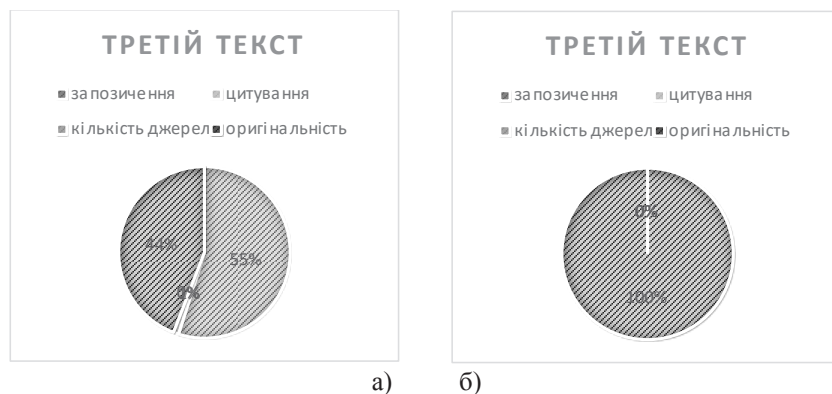


Рис. 3. Результати перевірки третього тексту в ETXT-антиплагіат (а) і Findcopy.ru (б)

вого мислення та забезпечити збереження інтелектуальної власності.

3. Результати перевірки деяких систем, отримані під час дослідження, виявили низку недоліків, пов'язаних із їх роботою.

4. Для отримання найбільш оптимального й об'єктивного результату під час перевірки текстів варто створювати гібридну версію або ж використовувати декілька інформаційних систем.

Список літератури:

1. Яворська Т.М. Академічна доброчесність – запорука якісної освіти. URL: http://www.library.vn.ua/Konf2017/text/2017_26.doc (дата звернення: 20.09.2018).
2. Арсентьев Д.А. Использование программы антиплагиат в условиях современного вуза. Вестник Московского государственного университета печати им. Ивана Федорова. 2015. № 6. С. 9–10.
3. Хачецуков З.М. Проверка на оригинальность научных текстов: питання теорії і практики. Гуманітарій Півдня Росії. 2014. № 1. С. 166–179.
4. Квашина Ю.А. Методы поиска дубликатов скомпонованных текстов научной стилистики. Технологический аудит и резервы производства. 2013. № 3 (3). С. 16–20.
5. Чижова А.А. Алгоритмы поиска плагиата. Східно-Європейський журнал передових технологій. 2010. № 2 (46), С. 13–16.
6. Чиркин Е.С. Системы автоматизованої перевірки на неправомірні запозичення. Вісник Тамбовського університету. Серія: Гуманітарні науки. 2013. № 12 (128). С. 164–174.
7. Shenoy M. Shet K.C., Acharya U.D. Automatic Plagiarism Detection Using Similarity Analysis. Advanced Computing: An International Journal. 2012. № 3 (3). Pp. 59–62.
8. Власова М.С., Суханов О.В. Технічні засоби для боротьби з плагіатом з метою підвищення якості навчального процесу. Вісник цивільних інженерів. 2012. № 6 (35). С. 187–192.
9. Шарапова Е.В. Исследование возможностей системы «антиплагиат.» для обнаружения заимствований. Перспективы науки и образования. 2013. № 3. С. 215–219.
10. Sharapova E.V., Sharapov R.V. Universal System of text checking for plagiarism «Avtor.net». Informatika i ejo primenenija. 2012. № 3 (6). Pp. 52–58.
11. Tschuggnall M., Specht G. Detecting Plagiarism in Text Documents through Grammar-Analysis of Authors. Database Systems for Business, Technology and Web: proceedings of the 15th GI-Symposium. (11th March–15th March, 2013). 2013. Pp. 241–259. URL: <http://cs.emis.de/LNI/Proceedings/Proceedings214/241.pdf> (дата звернення: 20.09.2018).
12. Singh R., Dutta C. Duplicity Detection System for Digital Documents. International Journal of Soft Computing and Engineering. 2012. № 5 (2). Pp. 24–28.
13. Meyer zu Eissen S., Stein B. Intrinsic Plagiarism Detection. Advances in Information Retrieval: Proceedings of the 28th European Conference on IR Research, ECIR. 2006. Pp. 565–569.
14. Ерьсь А.В. Анализ современных систем обхода заимствований текста. Постулат. 2018. № 1. URL: <http://e-postulat.ru/index.php/Postulat/article/viewFile/1097/1124> (дата звернення: 20.09.2018).
15. Лупаренко Л.А. Инструментарій виявлення плагіату в наукових роботах: аналіз програмних рішень. Інформаційні технології і засоби навчання. 2014, Т. 40. № 2. С. 151–169.
16. Lancaster T., Culwin F. Classifications of Plagiarism Detection Engines. Innovation in Teaching and Learning in Information and Computer Sciences. 2005. №2 (4). 16 pp.
17. Мустафина А.К., Кальпеева Ж.Б., Маженов А.К., Сабыржан А.А. О создании университетской системы проверки текстов на плагиат. Издательство, нәтижелер: Исследования, результаты. 2017. № 3. С. 407–413.
18. URL: <https://www.antiplagiat.ru/> (дата звернення: 20.09.2018).
19. ЕТХТ-антиплагиат. URL: <https://www.etxt.ru/antiplagiat/> (дата звернення: 20.09.2018).
20. Программа для проверки уникальности текста Advego Plagiatus. URL: <https://advego.com/plagiatus/> (дата звернення: 20.09.2018).
21. Findcopy. URL: http://mastersloga.ru/news/novyj_servis_proverki_unikalnosti_find_copy_ru/ (дата звернення: 20.09.2018).
22. Огляд Автор.NET. URL: <http://ceur-ws.org/> (дата звернення: 20.09.2018).
23. Огляд copyscape.com. URL: <http://profcopywriting.ru/copyscape.html> (дата звернення: 20.09.2018).
24. Шарапов Р.В., Шарапова Е.В. Система проверки текстов на заимствование из других источников. Электронные библиотеки: Перспективные методы и технологии, электронные коллекции: труды 13-й всероссийской научной конференции. Воронеж. 2011. С. 121–126.

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ
АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПРОВЕРКИ ОРИГИНАЛЬНОСТИ ТЕКСТОВ**

В статье рассматривается вопрос неправомерного использования интеллектуальной собственности, а также исследуются существующие системы контроля для проверки подлинности содержания текста. В работе проведена проверка выбранных текстов с целью выявления уровня их оригинальности и определения преимуществ и недостатков представленных на рынке программного обеспечения программных комплексов автоматического анализа текстов.

Ключевые слова: оригинальность текста, онлайн-сервис, программный комплекс, антиплагиат.

**COMPARATIVE ANALYSIS OF SYSTEMS
FOR TEXTS ORIGINALITY AUTOMATED CHECKING**

The issue of intellectual property misuse is considered in the article. The existing control systems for verifying of the text content authenticity are also examined. In this paper, we checked the selected texts in order to identify the level of their originality and determine the advantages and disadvantages of the automated text analysis software packages on the software market.

Key words: text originality, online service, software package, anti-plagiarism.

Доценко Н.В.

Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

КОМБІНАТОРНО-ЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО ПОБУДОВИ ФОРМАЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ ФОРМУВАННЯ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ ПРОЕКТНИХ КОМАНД

Розглянуто питання формування та функціонування проектних команд при заданих обмеженнях. Запропоновано комбінаторно-логічний підхід до побудови формальних моделей формування та функціонування проектних команд. Розглянуто формальні перетворення на множині виконавців і множині функцій. Визначено логічні операції. Запропоновано метод формування команди проектів, який базується на формальних перетвореннях. Розглянуто приклад застосування комбінаторно-логічного підходу до формування команди проекту.

Ключові слова: комбінаторно-логічний підхід, управління людськими ресурсами, проект, команда проекту, формальні перетворення.

Постановка проблеми. Людські ресурси є одним із резервів для підвищення ефективності управління проектами та програмами. Мінімізація ресурсних конфліктів між проектами та програмами в мультипроектному середовищі дозволяє знизити ризики проектів і підвищити життєздатність не тільки проектів, але й проектної організації.

Збільшення кількості проектів, що їх здійснює організація, використання мультипроектного середовища призводить до необхідності застосування нових підходів до формування команд проектів і програм. Класичний підхід до формування команд, описаний у працях [1–4], не дозволяє враховувати необхідність резервування як компетенцій, так і функцій, можливість залучення виконавців у різні проекти, можливість формування адаптивних і резильєнтних команд. Тому актуальним питанням є розроблення нових формальних методів формування команд проектів з урахуванням заданих обмежень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Якісний і кількісний склад людських ресурсів, задіяних у реалізації проектів і програм, може змінюватися під час виконання проекту та залежить від його специфіки. Р. Арчибальд, В. Воропаєв, Г. Секлетова розрізняють такі структурні моделі відповідальності: команда проекту, виконавці робіт, команда управління проектом, до складу якої входить команда керуючого проектом, команди управління основними учасниками проекту, команда розробника системи управління проектами та програмами [5]. Відповідно до специфіки команди визначаються вимоги до компе-

тентностей (технічних, поведінкових, контекстуальних) [6].

Доцільність використання певних методів формування команди проекту визначається корпоративними стандартами та вимогами як до проекту, так і до команди проекту, підходом до управління проектами (гнучкий або класичний підхід).

Поступове впровадження Agile-методологій у компаніях, що застосовували РМІ РМВoК, свідчить про необхідність урахування емоційного інтелекту, розвитку Soft Skill, уміння ефективно працювати в команді, застосування Scrum Team під час управління людськими ресурсами проектів і програм [7]. У гнучких методологіях управління проектами Scrum Team є основним людським ресурсом, що забезпечує виконання гнучкого проекту [8].

Застосування «рефлексивних» теоретико-ігрових моделей під час формування команди проектів дозволяє узгодити дії членів команди з ієрархією взаємних уявлень про них [9].

Із метою узгодження вимог до людських ресурсів, що їх висувають стейкхолдери проектів, запропоновано використовувати метод управління людськими ресурсами з урахуванням впливу зацікавлених сторін [10].

Слід зазначити, що на ефективність використання людських ресурсів під час управління проектами впливає метод формування команд, оскільки саме на етапі планування проектів визначаються вимоги й обмеження до людських ресурсів. Застосування методів формування адаптивних команд для мультипроектного середовища дозволяє забезпечити гнучкість команд і

можливість подальшої адаптації до змін під час виконання проектів [11].

Постановка завдання. Зростання кількості проектів, що реалізуються в компанії, необхідність урахування специфічних вимог і потреб стейкхолдерів призводить до необхідності формалізації процесу формування та функціонування проектних команд.

Таким чином, для вирішення задач формування команд проектів і програм, мультипроектів, розподілу ресурсів та ін. і з метою зниження впливу суб'єктивного чинника необхідно розробити математичний апарат, який би дозволив здійснювати формальні перетворення під час формування команди проектів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Термінологія й позначення.

Під час опису методу використовується термін «виконавець». Для задач формування команд проекту під цим терміном розуміється потенційний виконавець або претендент у команду, а під час вирішення задач перерозподілу ресурсів, побудови адаптивних команд та ін. – це «фактичний виконавець», або член команди.

Основні позначення:

Основні позначення:

n – кількість виконавців;

m – кількість функцій;

$Q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ – множина виконавців;

$A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ – множина функцій.

Введемо до розгляду матрицю компетенцій R , яка відображає можливості виконавців щодо виконання відповідних функцій (табл. 1) [11].

Якщо i виконавець здатний виконати функцію a_j (що позначається $q_i^{a_j}$ або q_i^j), то $r_{ij} = 1$, в іншому випадку $r_{ij} = 0$.

Таблиця 1

Матриця компетенцій R

P\A	a_1	a_2	...	a_j	...	a_m
q_1	r_{11}	r_{12}	...	r_{1j}	...	r_{1m}
...
q_i	r_{i1}	r_{i2}	...	r_{ij}	...	r_{im}
...
q_n	r_{n1}	r_{n2}	...	r_{nj}	...	r_{nm}

Матриця характеристик C відображає характеристики виконавців (кваліфікація, наявність компетенцій, рівень компетентностей та ін.) під час реалізації відповідних функцій (табл. 2). Значення c_{ij} відповідає характеристикам i виконавця під час реалізації j функції ($c_{ij} = 0$, якщо i виконавець не здатний реалізувати j функцію).

Таблиця 2

Матриця характеристик C

P\A	a_1	a_2	...	a_j	...	a_m
q_1	c_{11}	c_{12}	...	c_{1j}	...	c_{1m}
...
q_i	c_{i1}	c_{i2}	...	c_{ij}	...	c_{im}
...
q_n	c_{n1}	c_{n2}	...	c_{nj}	...	c_{nm}

Таксономія компетентностей визнається специфікою організації та є початковою інформацією для застосування методів формування команд. Характеристикою також може виступати вартість. Залежно від виду характеристик визначаються критерії оптимізації.

У результаті вирішення задачі формується розподіл функцій між виконавцями в команді проекту (табл. 3). Якщо i виконавець реалізує в команді функцію a_j , то $d_{ij} = 1$, в іншому разі $d_{ij} = 0$.

Таблиця 3

Матриця розподілу функцій у команді D

P\A	a_1	a_2	...	a_j	...	a_m
q_1	d_{11}	d_{12}	...	d_{1j}	...	d_{1m}
...
q_i	d_{i1}	d_{i2}	...	d_{ij}	...	d_{im}
...
q_n	d_{n1}	d_{n2}	...	d_{nj}	...	d_{nm}

Результат відбору виконавців у команду проекту описується за допомогою множини $D^* = \{d_1^*, \dots, d_n^*\}$, де

$$d_i^* = \sum_{j=1}^m d_{ij}; \quad i = 1, \dots, n.$$

Якщо i виконавець обраний у команду, то $d_i^* = 1$, в іншому разі $d_i^* = 0$.

Для проведення формальних перетворень на множині виконавців і множині функцій введені константи 0 і 1, а також логічні операції:

– диз'юнкція:

$$q_i^\alpha \vee q_i^\beta = q_i^{\alpha \vee \beta}; \quad q_i \vee q_i = q_i;$$

$$q_i^\alpha \vee q_j^\alpha = (q_i \vee q_j)^\alpha;$$

$$q_i^\alpha \vee 0 = q_i^\alpha; \quad q_i \vee 0 = q_i;$$

$$q_i^\alpha \vee 1 = 1; \quad q_i \vee 1 = 1;$$

– кон'юнкція (в описі знак «&» може не наводитися):

$$q_i^\alpha \& q_i^\beta = q_i^{\alpha \& \beta}; \quad q_i \& q_i = q_i;$$

$$q_i^\alpha \& 0 = 0; \quad q_i \& 0 = 0;$$

$$q_i^\alpha \& 1 = q_i^\alpha; \quad q_i \& 1 = q_i;$$

– \otimes – множення, що визначається таким чином:

$$q_i^* \otimes q_j^* = \begin{cases} q_i^* \& q_j^*, & \text{якщо } i \neq j; \\ 0, & \text{якщо } i = j. \end{cases}$$

Розглянемо застосування визначених операцій до вирішення деяких задач управління людськими ресурсами в проектах.

Задача формування команди проектів (обмеження на суміщення функцій) може бути сформульована таким чином:

для заданих Q, A, R, C визначити D так, що

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (D_{ij} \cdot C_{ij}) \rightarrow \text{extr};$$

при $\sum_{j=1}^m (D_{ij} \cdot R_{ij}) = 1; i = 1, \dots, n.$

Метод розв'язання поставленої задачі складається з етапів.

Етап 1. Для кожної функції a_1, a_2, \dots, a_m сформувати множину виконавців, що реалізують відповідні функції. Логічні функції, які визначають виконавців, здатних виконати відповідні функції, визначаються таким чином:

$$A(Q, 1) = q_1^1 r_{11} \vee \dots \vee q_i^1 r_{i1} \vee \dots \vee q_n^1 r_{n1};$$

$$A(Q, j) = q_1^j r_{1j} \vee \dots \vee q_i^j r_{ij} \vee \dots \vee q_n^j r_{nj};$$

$$A(Q, m) = q_1^m r_{1m} \vee \dots \vee q_i^m r_{im} \vee \dots \vee q_n^m r_{nm}.$$

Етап 2. Побудувати узагальнену логічну функцію F шляхом \otimes – множення логічних функцій $A(Q, j), j = 1, \dots, m.$

$$F = \otimes_{j=1}^m A(Q, j).$$

Етап 3. Узагальнену логічну функцію привести до бездужкового вигляду та перетворити за допомогою вищенаведених операцій. Одержаний результат відображає можливі варіанти побудови команди та розподілення функцій між виконавцями.

Етап 4. Для заданої матриці C визначити характеристики кожного варіанта й вибрати оптимальний.

Розглянемо приклад.

Вихідні дані:

$Q = \{q_1, q_2, \dots, q_{12}\}, A = \{a_1, a_2, \dots, a_6\}$, матриця компетенцій R наведена в табл. 4, матриця характеристик (вартостей) наведена в табл. 5. Визначити склад команди проекту з мінімальними характеристиками.

Таблиця 4

Задана матриця компетенцій R

Q/A	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆
q ₁	1	0	0	1	0	0
q ₂	1	0	1	0	0	1
q ₃	0	1	0	1	0	0
q ₄	0	0	1	0	1	1
q ₅	1	0	1	0	0	1
q ₆	1	0	1	0	1	0
q ₇	0	1	0	1	0	1

q ₈	0	0	1	0	1	0
q ₉	0	0	1	1	1	0
q ₁₀	1	0	0	0	1	0
q ₁₁	0	1	0	1	0	0
q ₁₂	0	0	0	1	1	0

Розв'язання задачі.

Етап 1. Визначаємо логічні функції, які описують виконавців, здатних виконати відповідні функції:

$$A(Q,1) = (q_1^1 \vee q_2^1 \vee q_5^1 \vee q_6^1 \vee q_{10}^1);$$

$$A(Q,2) = (q_3^2 \vee q_7^2 \vee q_{11}^2);$$

$$A(Q,3) = (q_2^3 \vee q_4^3 \vee q_5^3 \vee q_6^3 \vee q_8^3 \vee q_9^3);$$

$$A(Q,4) = (q_1^4 \vee q_3^4 \vee q_7^4 \vee q_9^4 \vee q_{11}^4 \vee q_{12}^4);$$

$$A(Q,5) = (q_4^5 \vee q_6^5 \vee q_8^5 \vee q_9^5 \vee q_{10}^5 \vee q_{12}^5);$$

$$A(Q,6) = (q_2^6 \vee q_4^6 \vee q_5^6 \vee q_7^6).$$

Таблиця 5

Задана матриця характеристик

Q/A	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆
q ₁	300	0	0	280	0	0
q ₂	290	0	330	0	0	300
q ₃	0	140	0	240	0	0
q ₄	0	0	350	0	180	230
q ₅	310	0	260	0	0	260
q ₆	300	0	310	0	160	0
q ₇	0	170	0	260	0	290
q ₈	0	0	290	0	190	0
q ₉	0	0	280	295	170	0
q ₁₀	250	0	0	0	200	0
q ₁₁	0	190	0	320	0	0
q ₁₂	0	0	0	290	210	0

Етап 2. Побудова узагальненої логічної функції F:

$$F = F = (q_1^1 \vee q_2^1 \vee q_5^1 \vee q_6^1 \vee q_{10}^1) \otimes (q_3^2 \vee q_7^2 \vee q_{11}^2) \otimes (q_2^3 \vee q_4^3 \vee q_5^3 \vee q_6^3 \vee q_8^3 \vee q_9^3) \otimes (q_1^4 \vee q_3^4 \vee q_7^4 \vee q_9^4 \vee q_{11}^4 \vee q_{12}^4) \otimes (q_4^5 \vee q_6^5 \vee q_8^5 \vee q_9^5 \vee q_{10}^5 \vee q_{12}^5) \otimes (q_2^6 \vee q_4^6 \vee q_5^6 \vee q_7^6).$$

Етап 3. Перетворення узагальненої логічної функції до бездужкового вигляду:

$$F = q_1^1 q_2^3 q_3^2 q_4^5 q_5^6 q_7^4 \vee q_1^1 q_2^3 q_3^2 q_4^6 q_5^5 q_7^4 \vee q_1^1 q_2^6 q_3^2 q_5^3 q_6^5 q_7^4 \vee q_1^1 q_3^2 q_4^6 q_5^3 q_6^5 q_7^4 \vee q_2^1 q_3^2 q_4^6 q_5^3 q_6^5 q_7^4 \vee q_1^4 q_3^2 q_4^6 q_5^3 q_6^5 q_{10}^1 \vee q_3^2 q_4^6 q_5^3 q_6^5 q_7^4 q_{10}^1.$$

Етап 4. Для заданої матриці C (вартість) визначаємо сумарну вартість реалізації функцій командою $S_{\text{ком}}$. У табл. 6 наведено характеристики варіантів і функції, що їх реалізують виконавці в кожному варіанті.

Відповідно до значення характеристик найкращим є варіант розподілу за номером 7. У команду обрані виконавці з номерами 3, 4, 5, 6, 7, 10. Розподіл функцій між виконавцями для обраного варіанта наведений у табл. 7.

Таблиця 6

Визначені характеристики варіантів

Номер варіанта	Виконавці								C _{ком}
	q ₁	q ₂	q ₃	q ₄	q ₅	q ₆	q ₇	q ₁₀	
1	a ₁	a ₃	a ₂	a ₅	a ₆	-	a ₄	-	1470
2	a ₁	a ₃	a ₂	a ₆	-	a ₅	a ₄	-	1420
3	a ₁	a ₆	a ₂	-	a ₃	a ₅	a ₄	-	1420
4	a ₁	-	a ₂	a ₆	a ₃	a ₅	a ₄	-	1350
5	-	a ₁	a ₂	a ₆	a ₃	a ₅	a ₄	-	1340
6	a ₄	-	a ₂	a ₆	a ₃	a ₅	-	a ₁	1320
7	-	-	a ₂	a ₆	a ₃	a ₅	a ₄	a ₁	1300

Таблиця 7

Матриця розподілу функцій у команді

Q/A	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆
q ₃	0	1	0	0	0	0
q ₄	0	0	0	0	0	1
q ₅	0	0	1	0	0	0
q ₆	0	0	0	0	1	0
q ₇	0	0	0	1	0	0
q ₁₀	1	0	0	0	0	0

Висновки. Розглянуто питання формування та функціонування команд при заданих обмеженнях. Відзначається необхідність урахування впливу стейкхолдерів на управління людськими ресурсами в проекті для визначення необхідних вимог до команди проекту та характеристик виконавців.

Запропонований комбінаторно-логічний підхід до побудови формальних моделей формування та функціонування проектних команд. Розглянуті формальні перетворення на множині виконавців і множині функцій. Запропонований метод формування команди проектів, який базується на формальних перетвореннях і дозволяє формувати команду проектів за певних обмежень. Розглянутий приклад застосування комбінаторно-логічного підходу до формування команди проекту.

Перспективним напрямом розвитку є автоматизація процесу формальних перетворень, що дозволить знизити вплив суб'єктивного чинника.

Список літератури:

1. Армстронг М. Практика управления человеческими ресурсами: 10-ое изд. СПб.: Питер, 2009. 848 с.
2. Управление проектами: учеб. пособие / И. Мазур и др.; под общ. ред. И. Мазура, В. Шапиро. М.: Омега-Л, 2014. 959 с.
3. Ричард Д. Столкновение команд. Успешное управление международной командой. Инфотропик Медиа, 2013. 256 с.
4. Руководство к Своду знаний по управлению проектом (РУКОВОДСТВО РМВОК, шестое издание). Project Management Institute, 2017. 726 с.
5. Арчибальд Р., Воропаев В., Секлетова Г. Системная методология управления проектами и программами. URL: http://ppm.your-assets.com.ua/publ/sistemnaja_metodologija_upravljenija_proektami_i_programmami/1-1-0-152.
6. Бушуев С., Бушуев Д. Основы индивидуальных компетенций для управления проектами, программами и портфелями (National Competence Baseline, NCB Version 4.0). Том 1. Управление портфелями проектов. К.: «Саммит-Книга», 2017. 168 с.
7. Langry J., McDaniel R. Agile preparation within a traditional project management course. Information Systems Education Journal (ISEDJ). № 14 (6), November 2016. P. 27–33.
8. Сазерленд Дж. Scrum. Революционный метод управления проектами. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2016. 272 с.
9. Новиков Д. Математические методы формирования и функционирования команд. М.: Издательство физико-математической литературы, 2008. 184 с.
10. Доценко Н. Аналіз впливу стейкхолдерів на управління людськими ресурсами в проекті. Інформаційні технології та інновації в економіці, управлінні проектами і програмами: монографія / за заг. ред В. Тімофєєва, І. Чумаченко. Харків: ХНУРЕ, 2016. С. 307–315.
11. Доценко Н., Сабадош Л., Чумаченко І. Методи управління людськими ресурсами при формуванні команд мультипроектів та програм: монографія. Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова. Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2015. 201 с.

КОМБИНАТОРНО-ЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ ФОРМАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРОЕКТНЫХ КОМАНД

Рассмотрены вопросы формирования и функционирования команд при заданных ограничениях. Предложен комбинаторно-логический подход к построению формальных моделей формирования и функционирования проектных команд. Рассмотрены формальные преобразования на множестве

исполнителей и множестве функций. Определены логические операции. Предложен метод формирования команды проектов, основанный на формальных преобразованиях. Рассмотрен пример применения комбинаторно-логического подхода к формированию команды проекта.

Ключевые слова: комбинаторно-логический подход, управление человеческими ресурсами, проект, команда проекта, формальные преобразования.

COMBINATORIAL-LOGICAL APPROACH TO CONSTRUCTION OF FORMAL MODELS FOR FORMATION AND FUNCTIONING OF PROJECT TEAMS

The questions of forming and functioning of teams under certain constraints are considered. A combinatorial-logical approach is proposed for the construction of formal models for the formation and operation of project teams. The formal transformations on a variety of performers and a variety of functions are considered. Logical operations are defined. The method of forming a project team based on formal transformations is proposed. An example of applying a combinatorial-logical approach to the formation of a project team is considered.

Key words: combinatorial-logical approach, human resources management, project, project team, formal transformations.

УДК 004.896

Дробаха Д.А.

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

Корнага Я.І.

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

УПРАВЛІННЯ 3D-МОДЕЛЮ АВТОМОБІЛЯ НА ТРЕКУ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

У статті висвітлюються практичні аспекти використання нейронних мереж для управління транспортними засобами на треку, зокрема як інструмента для збору інформації, а на основі отриманих даних – навчання автомобіля. Ми розглянемо, як можна навчити модель глибокого навчання, щоб передбачити кути повороту керма та допомогти віртуальному автомобілю управляти самим собою в симуляторі. У результаті отримуємо автоматичне прискорення й повороти керма автомобіля.

Ключові слова: нейрон, нейронна мережа, архітектура, алгоритм навчання, керування процесами.

Постановка проблеми. В останні кілька років ми спостерігаємо вибух інтересу до нейронних мереж, які успішно застосовуються в найрізноманітніших галузях (бізнесі, медицині, техніці, геології, фізиці). Нейронні мережі увійшли в практику всюди, де потрібно вирішувати завдання прогнозування, класифікації чи управління. Такий вражаючий успіх визначається декількома причинами:

- багато можливостей;
- простота використання.

Нейронні мережі привабливі з інтуїтивного погляду, бо вони засновані на примітивній біологічній моделі нервових систем. У майбутньому розвиток таких нейробіологічних моделей може привести до створення дійсно мислячих комп'ютерів.

Використовуючи нейронну мережу, ми хочемо, щоб транспортний засіб управляв собою сам, уникаючи перешкод. Ми досягаємо цього шляхом вибору відповідних входів/виходів і ретельного навчання нейронної мережі. Ми подаємо мережі відстані до найближчих перешкод навколо автомобіля, імітуючи зір водія-людини.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На цей проект нас фактично надихнула програма “End To End Learning For Self Driving Cars”, створена дослідниками NVIDIA, яким вдалося розробити автомобіль для автономного водіння, навчивши нейронну мережу передбачати кути керма на основі даних кута повороту керма й зображень, захоплених трьома камерами (зліва, у центрі, праворуч), установленими перед авто-

мобілем. Навчена модель здатна точно управляти автомобілем, використовуючи тільки центральну камеру.

Постановка завдання. У рамках цього проекту нам надається симулятор, написаний на Unity, який поставляється у двох режимах:

- режим тренування: ми вручну керуємо автомобілем і збираємо дані;
- автономний режим: автомобіль сам їздить на основі моделі, навченої за зібраними даними.

Журнал даних зберігається у файлі csv і містить шлях до зображень, а також кут керма, дросельної заслінки й швидкість. Нас цікавить тільки кут повороту керма й зображення для цього проекту.

Виклад основного матеріалу дослідження. Нейронні мережі з'явилися під час вивчення будови мозку. Наш мозок складається з 1011 клітин-нейронів, які посилають електричні сигнали один до одного. Кожен нейрон складається з одного або двох аксонів, які «видають результат», і великої кількості дендритів, які приймають вхідні електричні сигнали. Нейрону потрібна певна сила вхідного сигналу, який складається з усіх дендритів, щоб бути активованим. Після активації нейрон посилає електричний сигнал вниз по його аксону до інших нейронів. Зв'язки (аксонів і дендритів) зміцнюються, якщо вони часто використовуються.

Цей принцип застосовується в нейронних мережах менших масштабів. Сучасні комп'ютери не володіють потужностями обчислень, які створюють двадцять мільярдів нейронів, але навіть

із кількома нейронами нейронна мережа може дати розумну відповідь.

Нейрони організуються в шари, як показано на малюнку 1. Вхідний шар буде мати входи, а залежно від міцності з'єднання з кожним нейроном у наступному шарі вхідний сигнал подається на наступний рівень. Міцність з'єднання називається вагою. Значення кожного нейрона в кожному шарі буде залежати від ваги зв'язку й значення нейронів попереднього шару.

Водія можна порівняти з функцією. Є безліч входів (те, що бачить водій). Ці дані обробляються мозком як функцією, і реакцією водія є вихід із функції.

Функція $f(x) = y$ перетворює значення x (вимір) на y (вимір).

Ми використовуємо нейронну мережу зворотного поширення для «мозку» водія, оскільки такі нейронні мережі здатні апроксимувати будь-яку функцію з областями визначення й значення, які можуть мати кілька вимірів: $F(x_1, x_2, \dots, x_n) = y_1, y_2, \dots, y_p$.

Це саме те, що нам потрібно, оскільки ми повинні працювати з кількома входами й виходами.

Коли нейронна мережа складається всього з декількох нейронів, ми можемо обчислити ваги, необхідні для отримання прийняттого результату. Але в міру збільшення кількості нейронів збільшується й складність обчислень. Мережу зворотного поширення можна навчити, що встановить необхідні ваги. Ми просто повинні надати шукані результати з відповідними входами.

Після навчання нейронна мережа буде реагувати й видавати результат, близький до бажаного під час подачі відомого результату, «відгадувати» правильну відповідь під час кожного входу, що не відповідає тому, який навчає.

Фактичні обчислення виходять за рамки статті. Є багато хороших книг, що пояснюють роботу мереж зі зворотним поширенням помилки.

Нейронна мережа, яка використовується в нашому випадку, має 4 шари (рис. 2). Ми пробували різні комбінації (від трьох до шести шарів). Усе відмінно працювало з трьома шарами, але коли ми навчали мережу на наборі з двадцяти двох входів-виходів, наближення функції виявлялося недостатньо точним. П'ять і шість шарів чудово виконували своє завдання, але на навчання довелося витратити значний час (від 20 до 30 хвилин на РІ), і коли ми запускали програму, потрібно було багато процесорного часу на обчислення.

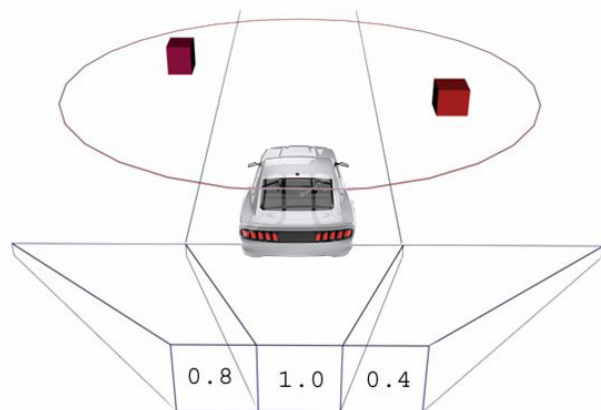
У нашій мережі три нейрони у вхідному шарі й два – у виводі. Пізніше ми пояснимо, чому. Між ними два шари по вісім нейронів у кожному. Ми

тестували шар із більшою й меншою кількістю нейронів і зупинилися на восьми, оскільки ця кількість дає прийнятний результат.

Під час вибору кількості нейронів необхідно мати на увазі, що кожен шар і кожен нейрон, доданий у систему, будуть збільшувати час, необхідний для розрахунку ваг.

Вхід. Яка інформація важлива для керування транспортним засобом? По-перше, ми повинні знати положення перешкоди відносно нас. Це положення праворуч, ліворуч від нас чи перед нами? Якщо є будівлі по обидва боки дороги, але нічого немає попереду, ми прискорюємося. Але якщо автомобіль зупинився перед нами, ми гальмуємо. По-друге, ми повинні знати відстань від нашої позиції до об'єкта. Якщо об'єкт розташований далеко, ми будемо продовжувати рух, поки він не наблизиться, і в цьому разі ми сповільнюємося чи зупиняємося.

Це саме та інформація, яку ми будемо використовувати для нашої нейронної мережі. Для простоти введемо три відносних напрямки (зліва, спереду й праворуч), а також відстані від перешкоди до транспортного засобу.



Визначимо поле зору нашого П-водія й складемо список об'єктів, які він бачить. Для простоти в нашому прикладі ми використовуємо коло, але могли б використовувати реальний усічений шістьма площинами конус. Тепер для кожного об'єкта в цьому колі перевіряємо, знаходиться він у лівому полі зору, у правому чи по центру.

На вхід у нейронну мережу подається масив float Vision [3]. Відстані до найближчої перешкоди зліва, у центрі й праворуч від транспортного засобу будуть зберігатися у Vision (0), Vision (1) і Vision (2) відповідно. На малюнку 3 показано, який вигляд має цей масив. Перешкода є зліва на відстані 80% від максимальної відстані, праворуч – на відстані 40%, немає ніяких перешкод по центру.

Вхідні нейрони Відстань до перешкоди			Вихідні нейрони	
Ліворуч	Центр	Праворуч	Прискорення	Напрямок
Немає перешкод	Немає перешкод	Немає перешкод	Повний газ	Прямо
Половина шляху	Немає перешкод	Немає перешкод	Невелике прискорення	Трішки направо
Немає перешкод	Немає перешкод	Половина шляху	Невелике прискорення	Трішки лівіше
Немає перешкод	Половина шляху	Немає перешкод	Гальмування	Трішки лівіше
Половина шляху	Немає перешкод	Половина шляху	Прискорення	Прямо
Зіткнення об'єкта	Зіткнення об'єкта	Зіткнення об'єкта	Зворотний рух	Вліво
Половина шляху	Половина шляху	Половина шляху	Без змін	Трішки лівіше
Зіткнення об'єкта	Немає перешкод	Немає перешкод	Гальмування	Повністю вправо
Немає перешкод	Немає перешкод	Зіткнення об'єкта	Гальмування	Повністю вліво
Немає перешкод	Зіткнення об'єкта	Немає перешкод	Зворотний хід	Вліво
Зіткнення об'єкта	Немає перешкод	Зіткнення об'єкта	Повний газ	Прямо
Зіткнення об'єкта	Зіткнення об'єкта	Немає перешкод	Зворотний хід	Повністю вправо
Немає перешкод	Зіткнення об'єкта	Зіткнення об'єкта	Зворотний хід	Повністю вліво
Об'єкт близько	Об'єкт близько	Об'єкт дуже близько	Без змін	Вліво
Об'єкт дуже близько	Об'єкт близько	Об'єкт близько	Без змін	Вправо
Зіткнення об'єкта	Об'єкт дуже близько	Об'єкт дуже близько	Гальмування	Повністю вправо
Об'єкт дуже близько	Об'єкт дуже близько	Зіткнення об'єкта	Гальмування	Повністю вліво
Зіткнення об'єкта	Об'єкт закритий	Об'єкт далеко	Без змін	Вправо
Об'єкт далеко	Об'єкт близько	Зіткнення об'єкта	Без змін	Вліво
Об'єкт дуже близько	Об'єкт близько	Ближче, ніж на половині шляху	Без змін	Повністю вправо
Об'єкт ближче, ніж на половині шляху	Об'єкт близько	Об'єкт дуже близько	Гальмування	Повністю вліво

Для того, щоб обчислити це, нам потрібна позиція (x, y) кожного об'єкта, положення (x, y) автомобіля й кут транспортного засобу. Нам також необхідні r (радіус кола) і d_{right} , d_{left} – вектори між автомобілем і лініями L_{right} і L_{left} . Ці лінії паралельні напрямку руху автомобіля. Обидва вектори – перпендикулярні лінії.

Хоча це 3D світ, уся математика двовимірна, оскільки автомобіль не може рухатися в третьому вимірі, тому що він не літає. Усі рівняння включають тільки x і y , але не z .

Насамперед ми обчислимо рівняння ліній L_{right} і L_{left} , які допоможуть нам визначити, знаходиться перешкода праворуч, ліворуч або по центру від транспортного засобу.

Вихід. На виході ми повинні отримати інструкції щодо зміни швидкості автомобіля й напрямків. Це може бути прискорення, гальмування й кут повороту керма. Тому нам потрібні два виходи; один буде значенням прискорення/гальмування (гальмування – це просто негативне прискорення), а інший буде вказувати на зміну напрямку.

Результат лежить між 0,0 і 1,0 з тієї ж причини, що й вхідні дані. Для прискорення 0,0 означає «повне гальмування»; 1,0 – «повний газ», а 0,5 – «відсутність гальмування чи прискорення». Для

кермування 0,0 означає «повністю вліво», 1,0 – «повністю вправо», а 0,5 – «не змінювати напрямок». Таким чином, ми повинні перевести результати в значення, які ми можемо використовувати.

Слід зазначити, що «негативне прискорення» означає гальмування, якщо транспортний засіб рухається вперед, але це також означає «рухатися у зворотному напрямку», якщо автомобіль знаходиться в стані спокою. Крім того, «позитивне прискорення» означає гальмування, якщо транспортний засіб рухається у зворотному напрямку.

Навчання. Як згадувалося раніше, ми спочатку повинні навчити нейронну мережу. Нам необхідно створити набір входів і відповідних їм виходів.

Вибір правильних входів-виходів для навчання нейронної мережі, імовірно, найскладніша частина роботи. Нам довелося навчати мережу з безліччю даних, дивитися, як автомобіль діяв у навколишньому середовищі, а потім змінювати записи по мірі необхідності. Залежно від того, як ми навчаємо мережу, транспортний засіб може «коливатися» в деяких ситуаціях і здаватися нерухомим.

Складемо таблицю (табл. 1) різного положення перешкод щодо транспортного засобу та бажаної реакції II.

І ось тепер можна перевести це в цифри в таблиці 2.

Таблиця 2

Вхідні нейрони			Вихідні нейрони	
Ліво-руч	По центру	Право-руч	Прискорення	Напрямок
1,0	1,0	1,0	1,0	0,5
0,5	1,0	1,0	0,6	0,7
1,0	1,0	0,5	0,6	0,3
1,0	0,5	1,0	0,3	0,4
0,5	1,0	0,5	0,7	0,5
0,0	0,0	0,0	0,2	0,2
0,5	0,5	0,5	0,5	0,4
0,0	1,0	1,0	0,4	0,9
1,0	1,0	0,0	0,4	0,1
1,0	0,0	1,0	0,2	0,2
0,0	1,0	0,0	1,0	0,5
0,0	0,0	1,0	0,3	0,8
1,0	0,0	0,0	0,3	0,2
0,3	0,4	0,1	0,5	0,3
0,1	0,4	0,3	0,5	0,7
0,0	0,1	0,2	0,3	0,9
0,2	0,1	0,0	0,3	0,1
0,0	0,3	0,6	0,5	0,8
0,6	0,3	0,0	0,5	0,2
0,2	0,3	0,4	0,5	0,9
0,4	0,3	0,2	0,4	0,1

Вхід:
0,0 – об’єкт майже стосується транспортного засобу;

1,0 – об’єкт на максимальній відстані від автомобіля або немає об’єкта в полі зору.

Вихід:

прискорення

0,0 – максимальне негативне прискорення (гальмування чи навпаки);

1,0 – максимальне позитивне прискорення.

Напрямок:

0,0 – повний поворот вліво;

0,5 – прямо;

1,0 – повний поворот вправо.

Висновки. Як ми щойно побачили, цей метод може бути поліпшений і застосований у найрізноманітніших галузях. Навіть якщо він не використовується для якоїсь корисної мети, нам все одно буде цікаво спостерігати, як система штучного інтелекту поводить себе в навколишньому середовищі. Якщо спостерігати досить довго, ми зрозуміємо, що в складних умовах транспортний засіб не завжди буде йти одним і тим самим шляхом унаслідок невеликої різниці в рішенні у зв’язку з характером нейронної мережі. Автомобіль буде іноді їздити ліворуч від будівлі, а іноді – праворуч від неї.

Список літератури:

1. Rogers J. Object-Oriented Neural Network in C++, Academic Press, San Diego, CA, 1997.
2. Hagan M., Demuth H. and Beale M. Neural Network Design, PWS Publishing, Boston, MA, 1995.
3. Adams T. (2017). Training an artificial neural network.
4. Крисилов В., Олешко Д., Трутнев А.. Применение нейронных сетей в задачах интеллектуального анализа информации. Труды Одесского политехнического университета. Вып. 2 (8). 1999. С. 134.
5. Нейронные сети. STATISTICA Neural Networks. М.: Горячая линия-Телеком, 2000 г. С. 182.
6. Джеффри Е. Хинтон. Как обучаются нейронные сети. В мире науки. 1992. № 11–12. С. 103–107.
7. Садовой А., Сотник С. Алгоритмы обучения нейронных сетей будущего. URL: <http://www.alicetele.com/~sergei/articles/algo/algo.htm>.
8. Rumelhart B., Minton G., Williams R. Learning representations by back propagating error. Wature, 1986. V. 323. P. 1016–1028.
9. URL: <http://www.accurate-automtion.com/Technology/Loflyte/loflyte.html>.
10. URL: <http://www.designation-systems.net/dusrm/app4/loflyte.html>.

УПРАВЛЕНИЕ 3D-МОДЕЛЬЮ АВТОМОБИЛЯ НА ТРЕКЕ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

В статье освещаются практические аспекты использования нейронных сетей для управления транспортными средствами на треке, в частности как инструмента для сбора информации, а на основе полученных данных – обучения автомобиля. Мы рассмотрим, как можно научить модель глубокого обучения, чтобы предсказать углы поворота рулевого колеса и помочь виртуальному автомобилю управлять самим собой в симуляторе. В результате получаем автоматическое ускорение и повороты руля автомобиля.

Ключевые слова: нейрон, нейронная сеть, архитектура, алгоритм обучения, управление процессами.

3D-MODEL OF THE CAR ON THE TRACK USING A NEURAL NETWORK

The article highlights the practical aspects of the use of neural networks to control vehicles on the track, in particular as a tool for collecting information and on the basis of the obtained data training car. We will consider how to teach the model of deep learning to predict the rotation angles of the steering wheel and help virtual car driving itself in the simulator. As a result, we get automatic acceleration and steering turns.

Key words: neuron, neural network, architecture, learning algorithm, process control.

УДК 519.872

Дубчак Л.О.

Тернопільський національний економічний університет

Бойків Н.І.

Тернопільський національний економічний університет

Васильків Н.М.

Тернопільський національний економічний університет

СИСТЕМА МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ КНИЖКОВОГО МАГАЗИНУ

У статті проведено дослідження сучасних систем масового обслуговування. Виділено їх основні характеристики. На основі проведеного аналізу розроблено систему масового обслуговування, що імітує десятигодинний робочий день книжкового магазину, в який надходить два потоки заявок – безпосередньо клієнти й новий товар, а також який містить сім каналів обслуговування. Запропонована система реалізована та досліджена в середовищі Simulink. Ця система масового обслуговування може бути основою для інших подібних систем.

Ключові слова: система масового обслуговування, Simulink, канали обслуговування, черги, потоки.

Постановка проблеми. У повсякденному житті людина часто стикається з різними формами обслуговування та системами, які їх виконують. Для формалізації процесів, що виконуються в таких системах, використовуються математичні об'єкти, які прийнято називати системами масового обслуговування або СМО.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Система масового обслуговування – це динамічна система, призначена для обслуговування випадкового потоку заявок при обмежених ресурсах, доступних для їх обробки [2, с. 2]. Прикладами таких систем можуть слугувати телефонні станції, довідкові бюро, ремонтні майстерні, магазини, поліклініки, аеропорти, квиткові каси, виробничий конвеєр з обробки деталей, процес обробки інформації на комп'ютері, переміщення електричних зарядів у деякому пристрої тощо [5].

Обов'язковими складниками системи масового обслуговування є один або декілька обслуговуючих пристроїв, які є каналами обслуговування та виконують функцію надання послуг вимогам або, як їх ще називають, заявкам. У ролі каналів можуть виступати лінії зв'язку, особи, які виконують ті чи інші операції, різні прилади тощо [6, с. 349]. Робота будь-якої системи масового обслуговування полягає в задоволенні потоку вимог, які надходять на неї. Заявки надходять у систему одна за одною у випадкові моменти часу. Обслуговування заявки триває деякий час, після чого обслуговуючий пристрій звільняється й готовий

до обслуговування нової вимоги. Кожна обслуговуюча система має свою дисципліну обслуговування, яка визначає поведінку заявки в системі та поза нею [8].

Основним завданням теорії масового обслуговування є вивчення режиму функціонування обслуговуючої системи й дослідження явищ, що виникають у процесі обслуговування, а також установлення залежності між характером потоку заявок, продуктивністю окремого каналу, кількістю каналів обслуговування й ефективністю обслуговування загалом [3, с. 15].

Приклад використання алгоритмів імітаційного моделювання систем масового обслуговування описаний у роботі [4]. Автор пропонує алгоритм моделювання СМО роботи сервера, який приймає заявки типу D/D/1 [1, с. 14] з єдиним використанням блоків у такій послідовності: Time-Based Entity Generator – FIFO Queue – Single Server – Entity Sink – Event-Based Random Number – Service time, Wait time, InterTime, Utilization – виведення на дисплей. Недоліком цієї системи є виключно послідовна обробка заявок, що спровоковано наявністю тільки одного блоку обслуговування. Без наявності додаткових блоків і механізмів обробки заявок така система буде малоефективна в умовах, коли доведеться обробляти велику кількість заявок за невеликий проміжок часу.

У праці [7] автор демонструє складнішу систему, ніж попередньо наведена. Попри наведений вище алгоритм обслуговування заявок, у цій СМО

наявна також обробка заявок згідно з пріоритетом. Тобто високопріоритетні заявки обслуговуються першими. Недоліком цієї системи є відносно значний час обслуговування заявок із високим пріоритетом, що призведе до втрати заявок, коли потрібно обслужити за момент часу велику кількість високопріоритетних заявок.

Постановка завдання. Метою статті є розроблення системи масового обслуговування, у якій нівелюються описані недоліки.

Основне завдання цього проекту запропонованої імітаційної моделі системи масового обслуговування – симуляція роботи книжкового магазину з вхідними параметрами, які точно або приблизно відповідають параметрам реальної системи.

Виклад основного матеріалу дослідження. Ефективною вважається система, яка здатна обслужити максимальну кількість вимог без урахування факторів, що прямо не стосуються її та впливають не на її роботу, а тільки на потік заявок. Параметри системи масового обслуговування, такі як розміри черг чи час, який канал обслуговування затрачає на обслуговування однієї заявки, близькі до реальних.

Отже, розроблена СМО імітує десятигодинний робочий день книжкового магазину, в який надходить два потоки заявок – безпосередньо клієнти й новий товар, а також який містить сім каналів обслуговування. За символікою Кендала-Башаріна [10], розроблену СМО можна позначити так:

$$D/D_1/LS/W/FF/S$$

Цей спосіб маркування систем обслуговування включає в себе шість пунктів, які характеризують шість ключових параметрів системи.

Перший параметр D означає, що заявки з джерел на канали обслуговування надходять детерміновано. Це означає, що послідовність надходження вимог відома й чітко вказана, а також те, що відомі проміжки, тобто інтервал часу, через який заявки надходять до каналів обслуговування.

Другий параметр D_1 – це показник, який указує на закон розподілу часу обслуговування заявки каналом обслуговування. Параметр D_1 означає, що час, потрібний для обслуговування заявки, також генерується детерміновано, тобто з відомим інтервалом обслуговування.

Третій параметр LS означає, що ця система є багатофазною (Link System). Це, у свою чергу, вказує на те, що заявки проходять більше, ніж одну фазу обслуговування, які в цьому випадку є нічим іншим, як канали обслуговування.

Четвертий параметр W вказує на дисципліну обслуговування заявок каналами обслуговування.

W означає, що в цій системі наявні черги, тобто вимоги обслуговуються з очікуванням. У такому випадку, якщо канал обслуговування уже зайнятий, заявки формують чергу на обслуговування, а не залишають систему необслуженими.

П'ятий параметр FF визначає черги обслуговування. FF – це скорочення від FIFO, що, у свою чергу, перекладається з англійської як First Input First Output. Тобто до обслуговування першою надходить заявка, яка першою увійшла в чергу.

Детермінованість подачі заявок у цій системі є стаціонарною, ординарною та без післядії.

Процес розроблення моделі передбачає складання системи методом блок-схем. Кожен елемент схеми є функціональним блоком, який має графічне представлення, математичний спосіб дії та синтезу, формульно-числові параметри й характеристики. Усі блоки з'єднуються лініями, які є графічним представленням руху потоків даних в об'єкті. Цей проект проектується в середовищі Matlab Simulink.

Simulink – інтерактивне програмне забезпечення, призначенням якого є імітація, моделювання та аналіз динамічних за своєю природою систем. Simulink є додатком програмного пакету Matlab. У цій програмі застосовується такий спосіб моделювання, як візуальне програмування, що передбачає створення моделі з використанням стандартних функціональних блоків із тих чи інших бібліотек, які користувач обирає або створює сам, здійснюючи при цьому також і розрахунки [9]. Відмінним від класичних методів моделювання тут є те, що немає жодної необхідності досконало знати мови програмування високого рівня чи складні математичні методи й закони.

Часова одиниця симуляції моделі – 1 хвилина. Як наслідок, час симуляції буде дорівнювати 600 хв., що означає десятигодинний робочий день. За урахуванням цих одиниць під час симуляції в усіх складниках моделі, які містять часовий елемент, відповідає блок Clock. Саме цей блок визначає, в які моменти часу повинні виконувати обслуговування ті чи інші канали. Реалізується це за допомогою структур subsystem if і похідних від них блоків типу action, які автоматично переформатовуються в else. Описана структура блоків подана на рисунку 1.

Заявки, які надходять у систему, переходять у блок Path combiner, який їх оформлює та передає далі – у чергу, функціонування якої реалізує блок FIFO Queue із заданим розміром черги у 25 заявок. Цей блок у сукупності з наступним блоком, який позначає перший канал обслуговування, станов-

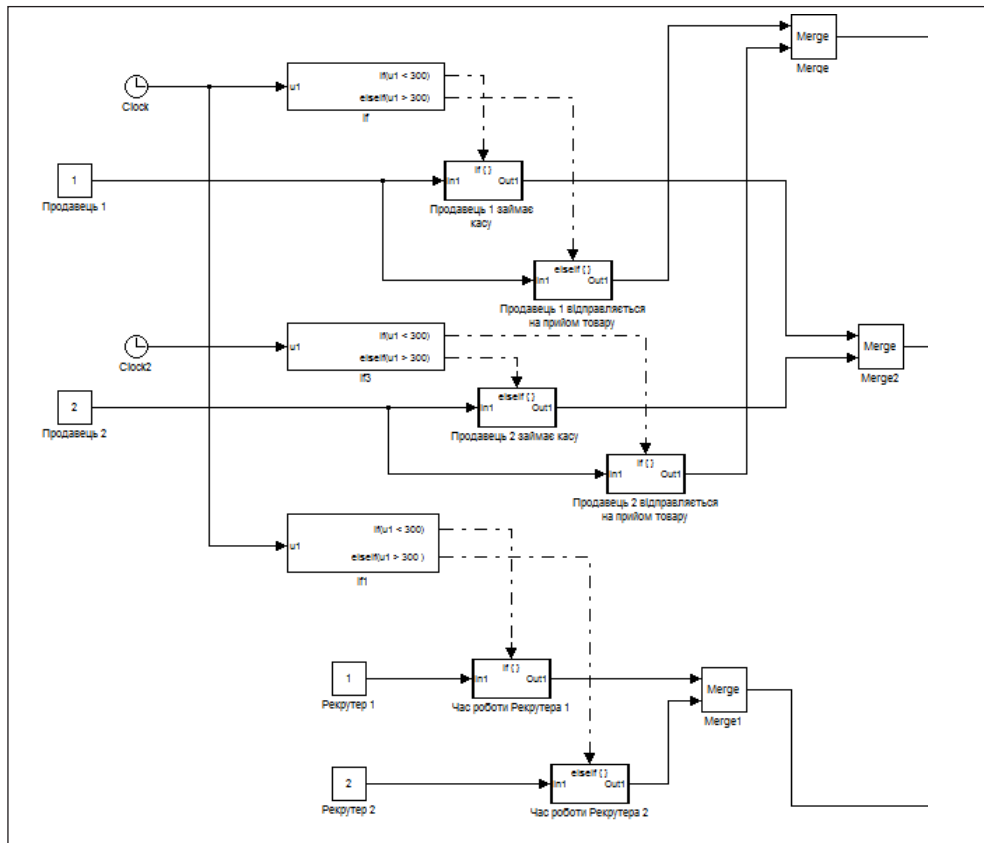


Рис. 1. Структура блоків регулювання робочого часу працівників

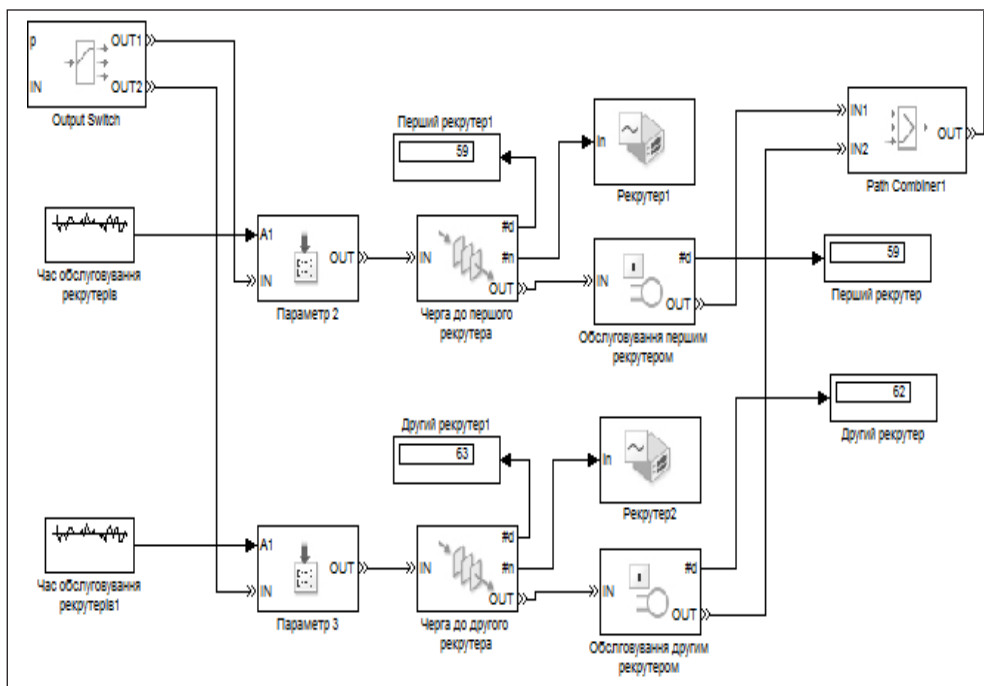


Рис. 2. Схема обслуговування потоку заявок рекрутерами

лять структуру, що розрахована на чітко виділену максимальну кількість клієнтів, які може вмістити в себе приміщення магазину, і виключає можливість нескінченного та постійного потоку заявок. Після

цього заявки приймає блок Output Switch, який подає їх далі, послідовно переключаючи їх на вільні порти, що блокуються згідно зі значеннями, які приймаються на порт p. Далі вже розпочинається дру-

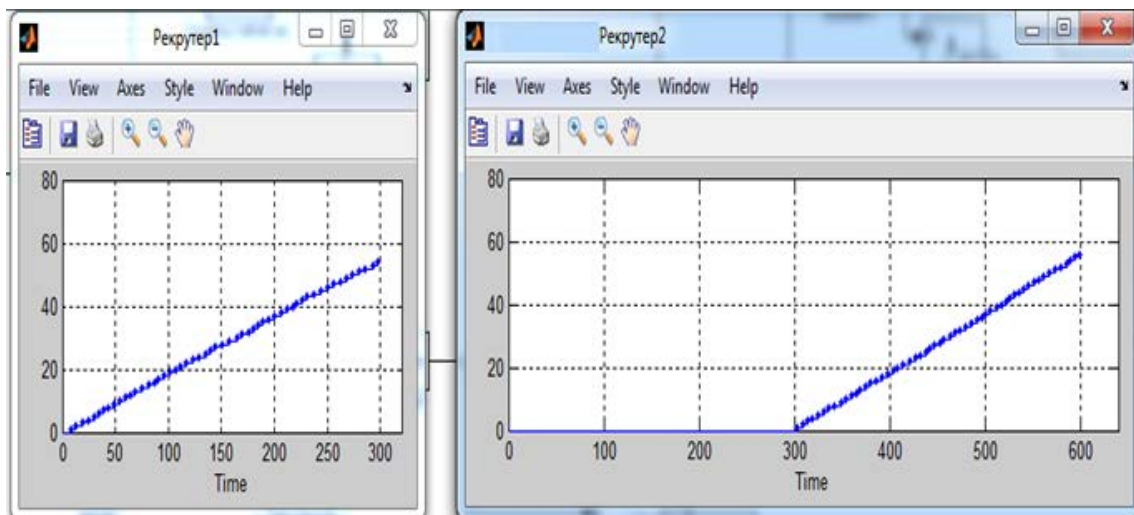


Рис. 3. Діаграми черги першого та другого рекрутерів

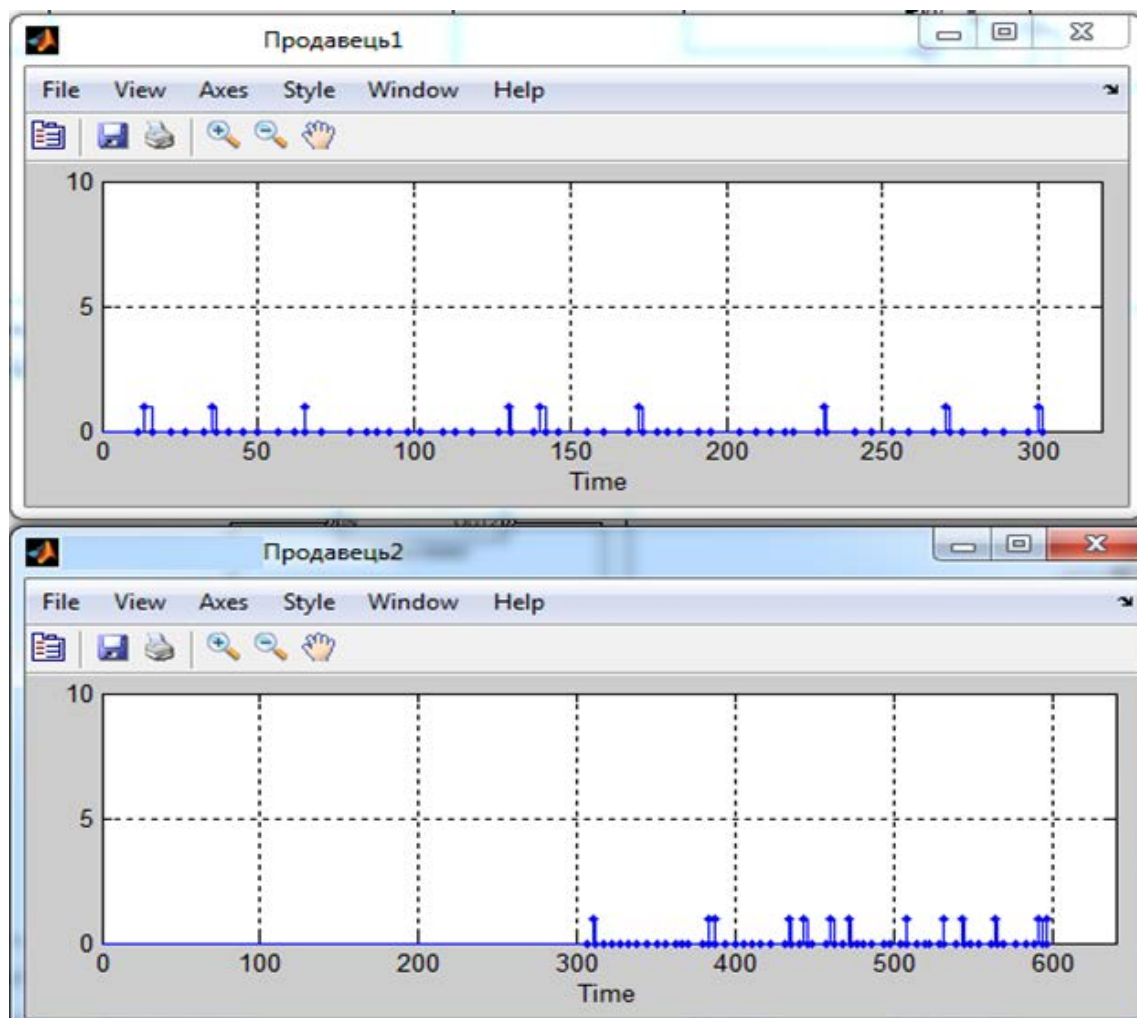


Рис. 4. Діаграми обслуговування продавців

гий етап обслуговування першого потоку заявок – обслуговування клієнтів рекрутерами. Схема, яка реалізує цей процес, зображена на рисунку 2.

По завершенню обслуговування обидва канали передають обслужені заявки в Path combiner, який формує з двох їх потоків один і передає його далі – в

перемикач, що цього разу на порт r приймає часові значення продавців. Із цього розпочинається третє обслуговування першого потоку заявок. Принцип той самий, що й у попередньому випадку, тільки з указаними іншими параметрами. По завершенню обслуговування продавцями два потоки заявок знову формують один потік за допомогою блоку Path combiner і переходять на заключний етап обслуговування – в структуру блоків, яка симулює роботу каси.

Згідно з даними, які зімітувала модель СМО, за 600 хв. роботи магазину його відвідали 110 потенційних клієнтів. Це означає, що нові покупці приходили з інтервалом у 5,45 хв., що відповідає параметрам інтервалу генератора першого потоку заявок. На рисунку 3 блок діаграми першого та другого рекрутерів, які демонструють процес збільшення кількості клієнтів, котрі залишили чергу на обслуговування.

Графіки першого і другого продавців наведено на рисунку 4.

З наведених діаграм можна чітко бачити, що завдяки доволі невеликому середньому часу обслуговування клієнтів продавцями максимальна черга до них складалась усього з двох людей. Продавці спільними зусиллями змогли обслужити абсолютно всіх клієнтів, яких обслужили перед ними рекрутери, що можна побачити з числових результатів, наведених на рисунку 5.

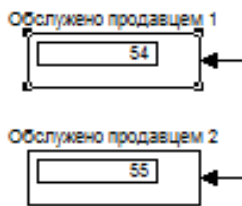


Рис. 5. Кількість обслужених заявок продавцями

Отже, на виході є 109 обслужених заявок із 110. А це свідчить про 99,09% ефективності системи обслуговування першого потоку заявок.

У результаті обслуговування другого потоку двома каналами отримуємо 57 обслужених заявок із 58, а це свідчить про 98,2% ефективності обслуговування другого потоку заявок.

Середнє значення ефективності розробленої імітаційної моделі системи масового обслуговування книжкового магазину становить 98,645%. Цей кінцевий показник свідчить про успішність цієї розробки та вигідність розроблення її реального прототипу.

Висновки. Авторами здійснено розробку імітаційної моделі системи масового обслуговування книжкового магазину, яка включає в себе вісім каналів обслуговування і два потоки заявок. Така будова моделі дає змогу застосовувати її для магазинів зі складною структурою шляхом мінімальної зміни параметрів залежно від індивідуальних характеристик закладу.

Також простота структури дає змогу швидко й без ключових змін самої моделі адаптувати її для симуляції магазину будь-якої продукції або підприємств, діяльність яких має схожий характер. При цьому параметри розробленої моделі в таких випадках також зазнають мінімальних змін, що дає змогу зберегти в СМО еталон ефективності й параметрів продуктивності. У книжковому магазині з аналогічною структурою, яку описує модель, систему можна застосовувати без жодних змін у параметрах і будові.

Список літератури:

1. Sztrik J. Basic Queueing Theory. Debrecen: University of Debrecen, Faculty of Informatics, 2012. 193 p.
2. Frode B. Queuing systems: Modeling, analysis and simulation. Oslo: Department of Informatics, University of Oslo, 1998. 53 p.
3. Al-Matar N. Theories and applications related to queuing systems. International Journal of Advances in Electronics and Computer Science, 2017. V. 4. I. 2. P. 7–10.
4. Интеллектуальная модель D/D/1 в среде SimEvents. URL: http://model.exponenta.ru/cl_gva_02.html (дата звернення: 15.09.2018).
5. Імітаційне моделювання систем масового обслуговування. URL: <http://www.studfiles.ru/preview/961125/> (дата звернення: 13.09.2018).
6. Моделирование в среде Simulink системы массового обслуживания с приоритетами. URL: http://www.lib.tpu.ru/fulltext/v/Conferences/2012/C2/V2/v2_163.pdf (дата звернення: 15.09.2018).
7. Основи технології імітаційного моделювання. URL: http://sernam.ru/method_im.php?id=10 (дата звернення: 14.09.2018).
8. Програмні пакети для імітаційного моделювання. URL: http://posibnyky.vntu.edu.ua/k_m/t1/172.htm (дата звернення: 17.09.2018).
9. Символическое обозначение моделей СМО (по Кендаллу). URL: <https://studopedia.org/8-174901.html> (дата звернення: 15.09.2018).
10. Лазарев Ю. Моделирование процессов и систем в MATLAB: учебный курс. Санкт-Петербург: Питер; Киев: Издательская группа BHV, 2005. 512 с.

СИСТЕМА МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ КНИЖНОГО МАГАЗИНА

В статье проведено исследование современных систем массового обслуживания. Выделены их основные характеристики. На основе проведенного анализа разработана система массового обслуживания, имитирующая десятичасовой рабочий день книжного магазина, в который поступает два потока заявок – непосредственно клиенты и новый товар, а также содержащий семь каналов обслуживания. Предложенная система реализована и исследована в среде Simulink. Данная система массового обслуживания может быть основой для других подобных систем.

Ключевые слова: система массового обслуживания, Simulink, каналы обслуживания, очереди, потоки.

QUEUING SYSTEM OF THE BOOKSTORE

The article deals with the research of modern queuing systems. Their main characteristics are highlighted. Based on the analysis, the queuing system has been developed and simulated a ten-hour day of the bookstore, which receives two application streams – directly from customers and a new product, and also contains seven service channels. The proposed system is implemented and investigated in the Simulink environment. This queuing system can be the basis for other similar systems.

Key words: queuing system, Simulink, service channels, queues, flows.

УДК 004.42

Жуковський В.В.

Національний університет водного господарства та природокористування

Скрипчук П.М.

Національний університет водного господарства та природокористування

Жуковська Н.А.

Національний університет водного господарства та природокористування

ПРОЕКТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА ГЕОІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНОЇ СИСТЕМИ ОРГАНІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА

У статті проведено дослідження ринку ІТ-рішень аграрного сектору. Поставлено технічне завдання для проектування інформаційної системи, що б вирішувала проблеми органічного землеробства. Вибрано оптимальний стек технологій. Спроектовано структуру бази даних для збереження геоінформаційних даних. Створено геоінформаційно-аналітичну систему органічного виробництва й описано її основні складники.

Ключові слова: проектування, програмування, органічне землеробство, інформаційна система, organic portal, база даних.

Постановка проблеми. Під час дослідження ринку інформаційних технологій виникає проблема відсутності централізованого порталу, який займався б проблемами сільського господарства та, зокрема, органічного землеробства. Такий портал може надавати новий спектр можливостей для успішного ведення власного бізнесу, за відповідних умов навіть стати фактором розвитку економіки та збільшення експортного потенціалу держави.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Поєднання двох галузей – агропромислового комплексу (АПК) і розробки програмного забезпечення (ПЗ) – призвело до численного зростання інформаційних рішень, таких як упровадження систем точного землеробства, аерозйомка з метою контролю якості посівів, лабораторні дослідження ґрунту для отримання інформації про біохімічний склад, ведення історії полів для вибору оптимальної культури. Такі рішення дають можливість збільшити врожайність і знизити собівартість продукції завдяки скороченню витрат на паливо, насіння, добрива, вибору найбільш рентабельних культур тощо.

Сьогодні ситуація на ринку інформаційних технологій аграрного сектору складається так, що веб-додатки мимоволі замінюють застарілі десктопні програми. Пояснюється ця ситуація тим, що односторінкові додатки більш зручні у використанні, їх легко оновлювати та підтримувати в розробці, у них немає прив'язки до конкретного при-

строю. І, навіть незважаючи на те, що користувачі поволі переходять до використання мобільних додатків замість їх браузерних аналогів, потреба у великих і складних додатках усе ще залишається чималою й навіть зростає.

Одним із таких складних рішень є інформаційна система *Adapt-N* [1]. Базовою функцією в перших версіях цієї програми був аналіз витрат азотних добрив. Однак наступні версії були доповнені алгоритмами обчислення впливу природних опадів і зрошувальних систем на врожай, рекомендаціями щодо використання натуральних добрив у межах конкретної ділянки, що задається географічними координатами (рис. 1).

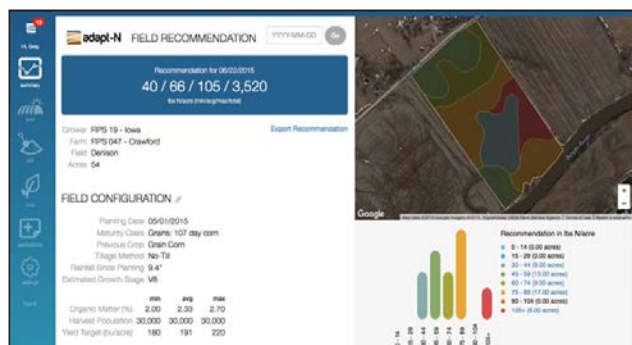


Рис. 1. Головна сторінка сервісу Adapt-N

Інформаційна система *FarmLogs* допомагає фермерам контролювати й вимірювати ріст своїх культур, прогнозувати прибуток, керувати ризиками від погоди та шкідників тощо. В основі всього функціоналу лежить аналіз супутнико-

вих знімків у контексті прив'язки до конкретної території США з урахуванням її кліматичних умов та аналізу фінансової інформації. В одному з недавніх випадків *FarmLogs* допоміг зупинити зараження шкідниками, базуючись на отриманій інформації із сусідніх полів. Головною перевагою цього ресурсу є те, що фермер може забути про стоси паперів і тримати всю інформацію про ділянку у своєму смартфоні.

Agrieye – це платформа рекомендацій з точного землеробства, що базується на штучному інтелекті та аналізі великих обсягів даних, які отримуються із супутників і дронів. Станом на сьогодні командою проекту опрацьовано близько 180 тис. гектарів полів в Україні, США, Еквадорі та Перу. Сервіс допомагає фермерам отримувати більші врожаї з меншими витратами, даючи чіткі вказівки щодо кількості насіння, добрив і води, необхідних для оптимального росту рослин у кожній точці поля[6].

SmartFarming – український веб-ресурс, що надає низку послуг: аудит земельного банку, стислу інформацію про кількість і стан земельних ділянок компанії, обчислення площ ділянок, що здаються в оренду та знаходяться в обробці; моніторинг стану посівів за допомогою супутників і дронів; керування технікою та слідування за використанням техніки (дані про місце, де в цей момент знаходиться техніка й де вона б мала бути, інша довідкова інформація); ведення історії полів, що дає аграрним компаніям змогу планувати майбутній бюджет; надання індивідуальних консультацій. Інтерфейс обліку земельних ділянок у цій інформаційній системі представлено на рис. 2.

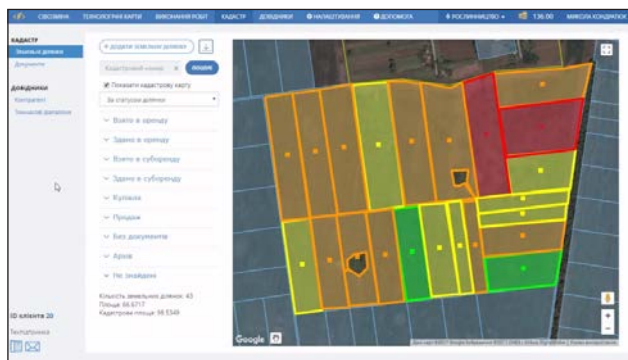


Рис. 2. Облік земельних ділянок в системі *Soft.Farm*

Soft.Farm – це безкоштовна on-line система планування, обліку й аналізу діяльності сільськогосподарських підприємств, що займаються рослинництвом і тваринництвом. Вона дає можливість уникнути помилок в обліку та плануванні

господарської діяльності, не вимагає спеціального навчання користувачів складних виробничих процесів. Серед функціоналу – автоматизоване планування посівів з урахуванням сівозміни, ведення електронного агрохімічного паспорта поля, складання карт полів, формування бази даних історії полів та аналіз накопиченої інформації; автоматизоване складання технологічних карт вирощування культур, розрахунок потреби насіння, добрив і засобів захисту рослин, прогноз планових витрат; щоденний контроль виконаних робіт та оперативне планування майбутніх, а так само формування звітів щодо них.

Поряд із вищенаведеними спеціалізованими онлайн інформаційними системами існує низка наукоємних програмних комплексів комп'ютерного моделювання підземних процесів. З їх допомогою вчені прагнуть удосконалити наявні математичні моделі геофізики, що враховують низку певних чинників під час моделювання складних динамічних процесів. Вони опосередковано вирішують завдання органічного виробництва та фермерського землеробства зокрема. Колективи науковців працюють над створенням власних програмних продуктів (*NADRA-3D* [2], *NanoSurface*[3;4], *ORCHESTRA*, *PHREEQC*, *HPx*, *PHT3D*, *OpenGeoSys (OGS)*, *HYTEC*, *HYDRUS*, *TOUGHREACT*, *eSTOMP*, *HYDROGEOCHEM*, *CrunchFlow*, *MIN3P*, *PFLOTRAN* тощо), що закладають науковий базис для практичних застосувань.

Постановка завдання. Під час створення порталу органічного землеробства мали на меті реалізація сервісу, який надає конкретні рекомендації для окремої земельної ділянки щодо ефективності її використання, проводить оцінювання якості відповідно до впливу сукупності агрохімічних показників, що наявні в ґрунті, загалом дає змогу визначити, яка земельна ділянка найкраще підійде для потреб органічного виробництва. Крім того, на порталі буде розташовуватися довідкова інформація щодо економічної ефективності переходу до органічного землеробства, правил сертифікації, переробки і збуту.

Виклад основного матеріалу дослідження. *Проектування та розробка геоінформаційно-аналітичної системи OrganicPortal.* Портал складається з 4-х основних розділів: аналітичний, технологія, сертифікація, електронний калькулятор. Кожний розділ має аналітичне та методологічне наповнення, яке слугує загальною метою – найбільш екологічно доцільне й економічно ефективно започаткування та ведення органічного сільськогоспо-

дарського рослинництва. UML діаграма варіантів використання згідно з поставленим завданням подана на рис. 3.



Рис. 3. UML діаграма варіантів використання геоінформаційно-аналітичної системи Organic Portal

Стек технологій. З огляду на наявні методології розробки [5; 6] і сучасні підходи до побудови Smart систем аграрного профілю [7] вибрано необхідний стек технологій для розробки геоінформаційно-аналітичної системи OrganicPortal [8].

У серверній частині (*backend*) проекту Organic Portal для опрацювання клієнтських запитів використано ASP.NET Web API 2 Application, що дало змогу побудувати REST архітектуру додатка, яка являє собою один з основних складників SPA. Для швидкої вибірки даних з бази даних використовується технологія Dapper.

Одним із завдань, які виникли під час розробки, є пошук формату для збереження геоінформаційних даних. Для цієї цілі використано формат GeoJSON, що дає можливість у зручному й компактному вигляді зберігати інформацію про земельні ділянки, які користувач наносить на карту під час користування підсистемою внесення даних OrganicPortal.

У клієнтській частині (*frontend*) проекту застосовується JavaScript – фреймворк AngularJS, що забезпечує динамічну взаємодію користувача з програмним інтерфейсом системи в рамках нашого односторінкового додатка.

Для роботи з інтерактивною електронною картою застосовується Leaflet-бібліотека з відкритим вихідним кодом, написана на JavaScript. Leaflet дає змогу, по-перше, відображати растрові карти сторонніх розробників, наприклад, GoogleMaps, або кадастрової карти України, а по-друге, накладати на ці карти додаткові шари, які містять маркери, точки, лінії, полігони. Також Leaflet дає можливість розробнику легко завантажити й відобразити геометричні структури, які зберігаються у форматі GeoJSON, що в разі геоінформаційно-

аналітичної системи органічного виробництва представляють полігони земельних ділянок.

База геоінформаційних даних. Розробку системи внесення геоінформаційних даних розпочато з проектування MSSQL бази даних для зберігання основних агрохімічних показників ґрунту. У ході розробки створено такі таблиці:

Таблиця MapLayers. Призначення цієї таблиці – зберігати загальну інформацію про основні агрохімічні показники ґрунту, такі як рН ґрунту, органічна речовина, азот (N), фосфор (P), калій (K), марганець (Mn), сірка (S), цинк (Zn), мідь (Cu), бор (B), кобальт (Co), кадмій (Cd), свинець (Pb), ртуть (Hg), цезій (Cs), стронцій (Sr). Також для кожної земельної ділянки введено два додаткові показники, які загалом характеризують земельну ділянку, – це «Агрохімічна оцінка» й «Еколого-агрохімічна оцінка».

Ця таблиця містить поля: Id (унікальний ідентифікатор), Name (назва агрохімічного показника), Measure (одиниця виміру цього агрохімічного показника), MinValue (мінімальне значення агрохімічного показника), MaxValue (максимальне значення агрохімічного показника).

Таблиця PolygonLayers. Призначення цієї таблиці полягає у збереженні тих даних, що стосуються відображення конкретної земельної ділянки у вигляді полігона на карті, а також додаткової інформації про того, хто вносив ділянку в систему, і дату цього внесення.

Ця таблиця містить поля: Id (унікальний ідентифікатор), GeoJSON (поле містить дані в спеціальному форматі GeoJSON, який призначений для зберігання географічних структур даних), Latitude (широта центральної точки тої ділянки, яку вносять у базу даних), Longitude (довгота центральної точки тої ділянки, яку вносять у базу даних), Point (центральна точка ділянки, що являє собою структуру, яка складається з попередніх полів – широти й довготи, введена для зручності), Creator (автор – людина, яка відповідальна за внесення цієї ділянки в базу даних), Date (дата створення земельної ділянки на карті).

Таблиця ValueLayers. Призначення цієї таблиці – зв'язати дві попередні таблиці *MapLayers* і *PolygonLayers*, зберегти конкретні значення внесених агрохімічних показників (рис. 4).

Ця таблиця містить поля: Id (унікальний ідентифікатор), IdMapLayer (ідентифікатор для зв'язку з певним агрохімічним показником), IdPolygon (ідентифікатор для зв'язку з певною земельною ділянкою), Value (конкретне значення агрохімічного показника).

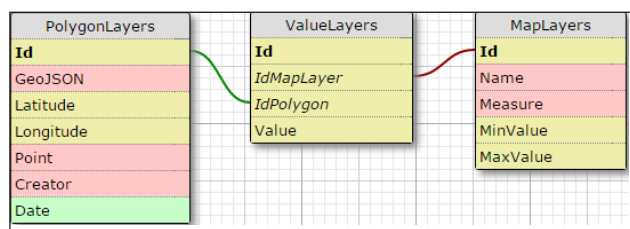


Рис. 4. Загальна схема зв'язків між таблицями ValueLayers, MapLayers і PolygonLayers

Висновки. У результаті виконання поставленого завдання розроблено геоінформаційно-аналітичну систему органічного землеробства.

На головній сторінці порталу розміщена коротка інформація про мету проекту, можливості порталу, умови користування та шляхи співпраці з командою розробників. Основним елементом порталу слугує електронна карта в підрозділі «Карта». Ця сторінка містить карту місцевості, дані з кадастрової карти України (увімкнено за замовчуванням), земельні ділянки у вигляді різноманітних полігонів, які попередньо занесені в систему авторизованими користувачами.

Категорія «Аналіз показників» на сторінці «Карта» призначена для виведення всіх агрохімічних показників конкретної земельної ділянки (полігона), яка попередньо вибрана шляхом натискання на неї на карті (рис. 5). Ця категорія містить назву агрохімічного показника, який підлягає аналізу, його конкретне значення й одиницю виміру.

Категорія «Фільтр по показниках» містить опцію для вибору картографічних матеріалів (на вибір OpenStreetMap або декілька типів GoogleMap), увімкнення/вимкнення даних када-

стрової карти України, вибір фільтру за одним із основних агрохімічних показників.

Для реалізації функціоналу щодо вибору картографічних матеріалів використано одне з розширень бібліотеки Leaflet під назвою GoogleMutant. Це розширення дає змогу пристосувати GoogleMaps для роботи з бібліотекою Leaflet, надає механізм вибору різного типу картографічних матеріалів від компанії Google.

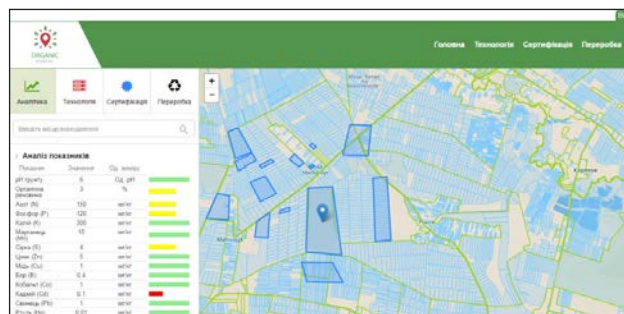


Рис. 5. Демонстрація пункту меню «Аналіз показників» для вибраного полігону на OrganicPortal

Щоб підсистема внесення та редагування геоінформаційних даних стала доступною, користувачеві необхідно авторизуватися в системі, після чого панель «Аналітика» доповнюється двома додатковими категоріями, а саме «Ділянки» й «Введення показників».

Наукоємкий функціонал порталу буде також забезпечуватися модулем аналітичних порад щодо оптимального землекористування. Зокрема, ведеться розробка алгоритмів для видачі рекомендацій щодо оптимального органічного землекористування на базі агрохімічних показників і низки інших факторів.

Список літератури:

1. Melkonian J.J., van Es H.M., DeGaetano A.T., Joseph L., Kosla R. ADAPT-N: Adaptive nitrogen management for maize using high-resolution climate data and model simulations. Denver, 2008, 14 p.
2. Sergienko I.V., Deineka V.S., Veshchunov V.V. NADRA 3D information technology for analysis of processes in multicomponent soil media. Cybernetics and Systems Analysis. 2006. Vol. 42. № 6. P. 901–916.
3. Vlasyuk A.P., Zhukovskii V.V. Mathematical Simulation of the Migration of Radionuclides in a Soil Medium Under Nonisothermal Conditions with Account for Catalytic Microparticles and Nonlinear Processes. Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2017. T. 90. № 6. P. 1386–1398.
4. Власюк А.П., Жуковський В.В., Жуковська Н.А. Комп'ютерне моделювання процесу вертикальної міграції радіонуклідів у каталітичному пористому середовищі з використанням паралельних обчислень. Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. 2017. Т. 2. № 39. С. 60–69.
5. Papajorgji P.J., Pardalos P.M. Software engineering techniques applied to agricultural systems. New York, NY: Springer, 2014. 301 p.
6. Жуковський В.В. Про деякі підходи до створення програмних комплексів комп'ютерного моделювання підземних процесів. Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. 2017. Т. 2. № 103. С. 64–73.
7. Wolfert S., Ge L., Verdouw C., Bogaardt M.-J. Big Data in Smart Farming – A review. Agricultural Systems. 2017. T. 153. P. 69–80.

8. Organic Portal – Геоінформаційний портал органічного землеробства. URL: <http://organicportal.in.ua/> (дата звернення: 01.09.2018).
9. Публічна кадастрова карта України. URL: <http://map.land.gov.ua> (дата звернення: 01.09.2018).

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ГЕОИНФОРМАЦИОННО-ИНФОРМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОРГАНИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

В статье проведено исследование рынка ИТ-решений аграрного сектора. Поставлено техническое задание для проектирования информационной системы, которая бы решала проблемы органического земледелия. Выбран оптимальный стек технологий. Спроектирована структура базы данных для хранения геоинформационных данных. Создана геоинформационно-аналитическая система органического производства и описаны основные ее составляющие.

Ключевые слова: проектирование, программирование, органическое земледелие, информационная система, organic portal, база данных.

DESIGN AND DEVELOPMENT OF THE GEOINFORMATION AND ANALYTICAL SYSTEM OF ORGANIC PRODUCTION

The article analyzes the market of IT solutions for the agricultural sector. The technical task was set for the development of an information system that would solve the problems of organic farming. Optimal stack of technologies is chosen. The database structure for the geoinformation data storage has been designed. A geo-information-analytical system of organic production has been created and its main components have been described.

Key words: design, programming, organic farming, information system, organic portal, database.

Кисіль Т.М.

Хмельницький національний університет

Бедратюк Г.І.

Хмельницький національний університет

ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕРАКТИВНОГО СЕРЕДОВИЩА MATLAB ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ ОПТИМІЗАЦІЇ

У статті подано опис основних функцій середовища Matlab та інструментарію Optimization Toolbox для розв'язання задач оптимізації. Розглянуто способи розв'язання деяких типових задач лінійної та нелінійної оптимізації в Matlab. Зокрема, розглянуто команди для таких розділів: задачі лінійного програмування, транспортні задачі, задачі нелінійної оптимізації.

Ключові слова: цільова функція, мінімум, максимум, оптимізація, Matlab, Optimization Toolbox.

Постановка проблеми. Сучасний етап розвитку суспільства зумовлює високі вимоги до оцінювання ефективності функціонування систем різної природи. До завдань оптимізаційного типу належать завдання, в яких потрібно знайти найкраще або оптимальне рішення при заданих умовах. Особливістю завдань оптимізаційного типу є багатоваріантність їх рішень, що зумовлена різноманітністю факторів, які можуть бути розглянуті. Важливість задач оптимізаційного типу є безумовна. Розв'язання таких задач особливо в умовах невизначеності здебільшого є складним питанням навіть для математиків. У зв'язку з цим дедалі частіше доводиться використовувати комп'ютерні технології, спеціалізовані пакети команд, додатковий інструментарій [1–3].

MATLAB – це платформа для програмування, розроблена спеціально для інженерів і вчених. MATLAB поєднує в собі середовище, налаштоване для багатократного аналізу та дизайну процесів, і мову програмування, яка безпосередньо використовує матриці й математичні масиви [1].

Практично для кожного розділу математики в MATLAB розроблено окремий спеціалізований пакет команд, зокрема **Optimization Toolbox**. **Optimization Toolbox** надає широкий набір алгоритмів для вирішення стандартних задач оптимізації та задач оптимізації великої розмірності. Ці алгоритми вирішують завдання з обмеженнями й без обмежень, з неперервним і дискретним аргументом. **Optimization Toolbox** має функції для лінійного програмування, квадратичного програмування, бінарного цілочисельного програмування, нелінійної оптимізації, нелінійного методу найменших квадратів, систем нелінійних рівнянь і багатокритеріальної оптимізації [7].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останнім часом спостерігається активне проникнення спеціалізованих математичних пакетів в освітній процес, оскільки це дає можливість формування принципово нових технологій навчання [2], уникати рутини. Проте натеper ці технології, незважаючи на свою ефективність і наочність, у силу різних причин ще недостатньо поширені в навчальному процесі.

Необхідні знання та початкові навички роботи в середовищі MATLAB детально розглянуто в роботі В.П. Дьяконова [1].

Стаття є продовженням статей [4–5], спрямованих на інформатизацію й комп'ютеризацію освіти. Матеріали статті можуть бути використані студентами та викладачами ВНЗ для навчальних цілей, зокрема розв'язання типових задач, які зустрічаються в процесі вивчення дисциплін «Методи оптимізації», «Математичне моделювання», «Комп'ютерне моделювання» тощо.

Постановка завдання. Метою статті є розгляд основних команд і спеціалізованого набору інструментів **Optimization Toolbox** середовища Matlab, який може бути використаний для розв'язання типових задач лінійної та нелінійної оптимізації.

Виклад основного матеріалу дослідження.

1. Задачі лінійного програмування.

Нагадаємо, що основною задачею лінійного програмування [6] є знаходження мінімуму цільової функції

$$f = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n,$$

за таких лінійних обмежень на змінні x_1, x_2, \dots, x_n :

$$\begin{cases} a_{1,1}x_1 + a_{1,2}x_2 + \dots + a_{1,n}x_n \leq b_1, \\ a_{2,1}x_1 + a_{2,2}x_2 + \dots + a_{2,n}x_n \leq b_2, \\ \vdots \\ a_{m,1}x_1 + a_{m,2}x_2 + \dots + a_{m,n}x_n \leq b_m. \end{cases}$$

У матричному записі задача лінійного програмування записується у вигляді

$$A \cdot X \leq B, f = (C, X) \rightarrow \min,$$

для деякої матриці A та векторів X, B, C . Якщо функція f не є лінійною або обмеження на змінні не є лійними, то задача знаходження її мінімуму називається задачею нелінійної оптимізації.

Розглядати задачі оптимізації зручно в матричному вигляді, тим більше що «серцем» MATLAB є матриці.

Для ініціалізації основних матриць і розв'язання задачі необхідно:

- 1) згрупувати всі невідомі в один вектор (x);
- 2) відокремити межі (верхні й нижні) значень змінних; записати вектори верхніх (ub) і нижніх меж (lb);
- 3) записати матрицю (A) і вектор (b) для обмежень – нерівностей;
- 4) записати матрицю (A_{eq}) і вектор (b_{eq}) для обмежень – рівностей;
- 5) записати цільову функцію;
- 6) викликати потрібний солвер та отримати розв'язок.

Залежно від типу оптимізаційної задачі й методу отримання розв'язку, викликається та чи інша команда, зокрема для задачі лінійного програмування викликається солвер `linprog`, для випадку, коли цільова функція є квадратична, викликаємо солвер `quadprog` [1; 7].

Одним із варіантів синтаксису названих команд є такий.

`[X, FVAL] = linprog (f,A,b,Aeq,beq,LB,UB)` вирішує задачу лінійного програмування з обмеженнями типу рівності та нерівності за умови, що шукані змінні є обмежені зверху і знизу. Повертає вектор розв'язок, що буде записаний у X , і значення цільової функції $FVAL$.

`[X, FVAL] = quadprog (f,A,b,Aeq,beq,LB,UB)` вирішує задачу квадратичного програмування з обмеженнями типу рівності та нерівності за умови, що шукані змінні є обмежені зверху і знизу. Повертає вектор розв'язок, що буде записаний у X , і значення цільової функції $FVAL$.

Алгоритм розв'язання типової задачі лінійного програмування розглянемо на абстрактному прикладі, не прив'язуючись до прикладного змісту змінних і параметрів.

Приклад 1. Знайти мінімум функції $f = 3x_1 + 5x_2 + 12x_3$, при таких обмеженнях:

$$\begin{cases} 2x_1 + x_2 + 4x_3 \geq 20, \\ 4x_1 + 5x_2 \geq 40, \\ x_1, x_2, x_3 \geq 0. \end{cases}$$

Маємо вектор (x_1, x_2, x_3) . Усі змінні додатні, тому вектор нижніх меж:

$$lb=zeros(3,1).$$

Зверху на змінні в нашому випадку обмежень не накладено, тому вектор верхніх меж:

$$ub=Inf(3,1).$$

Задамо тепер матрицю й вектор для обмежень типу нерівностей:

$$A=[-2 -1 -4; -4 -5 0];$$

$$b=[-20; -40].$$

Обмежень типу рівностей за умовою задачі не передбачено, але в разі звернення до потрібної функції MATLAB вона має бути означена, тому обираємо порожні матрицю і вектор для обмежень типу рівностей:

$$Aeq=[];$$

$$beq=[].$$

Тепер задамо цільову функцію:

$$f=[3 5 12].$$

Усі початкові ініціалізації зручно робити в скриптовому файлі, щоб за потреби була можливість їх швидко модифікувати.

```

MuOptim.m x +
1 %нижні і верхні межі
2 lb=zeros(3,1);
3 ub=Inf(3,1);
4 %матриця і вектор для обмежень-нерівностей
5 A=[-2 -1 -4; -4 -5 0];
6 b=[-20; -40];
7 %матриця і вектор для обмежень-рівнянь
8 Aeq=[];
9 beq=[];
10 %цільова функція
11 f=[3 5 12];
    
```

Рис. 1. Скрипт для визначення вхідних параметрів

Викличемо потрібний солвер (із командного вікна після виконання скрипта) й отримаємо розв'язок.

```

Command Window
>> [x fval]=linprog(f,A,b,Aeq,beq,lb,ub)

Optimal solution found.

x =
    10
     0
     0
fval =
    30
fx >>
    
```

Рис. 2. Результати роботи солвера

Отже, $x_{opt} = (10, 0, 0)$; $f_{opt} = 30$.

Для можливості використання набору інструментів **Optimization Toolbox** середовища Matlab

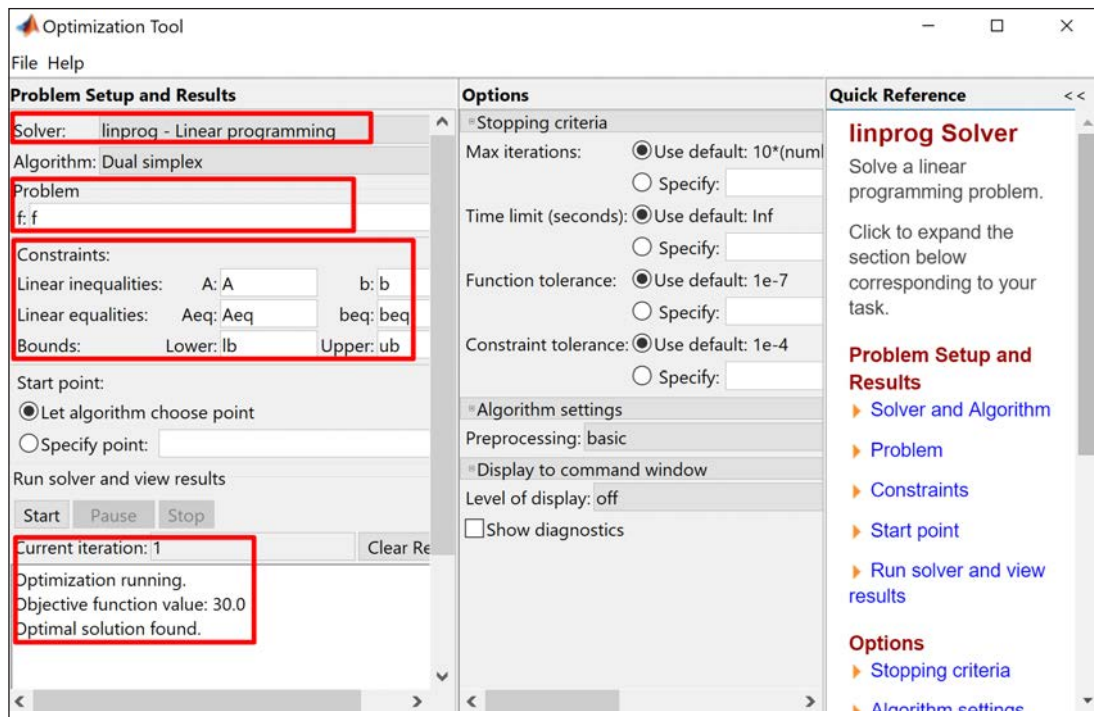


Рис. 3. Користувачський інтерфейс Optimization Toolbox

потрібно в командному вікні MATLAB набрати командний рядок такого вигляду:

```
>> optimtool
```

або натиснути відповідну піктограму в меню APPS.

optimtool запускає графічний користувачський інтерфейс для розв'язання оптимізаційних задач у MATLAB. optimtool може бути використаний для редагування параметрів за замовчуванням, вибору та запуску програми-солвера.

Приклад 2. Під час розв'язання попередньої задачі використати набір інструментів Optimization Toolbox середовища MATLAB.

У вікні, що відкрилось, обираємо потрібний солвер, задаємо цільову функцію й обмеження. (Зауважимо, що необхідні параметри після виконання скриптового файлу перенесені в робочий простір, тому можемо їх використовувати.) Запускаємо пошук розв'язку й отримуємо результат.

Зручність і зрозумілість інтерфейсу інструментарію Optimization Toolbox очевидна.

2. Транспортна задача.

Нехай у пунктах A_1, A_2, \dots, A_m виробляється деякий однорідний продукт, причому обсяг виробництва цього продукту в пункті A_i a_i одиниць. Зроблений у пунктах виробництва продукт повинен бути доставлений до пунктів споживання B_1, B_2, \dots, B_n , причому обсяг споживання в пункті B_j становить b_j одиниць продукту. Уважається, що транспор-

тування готової продукції можливе з будь-якого пункту виробництва в будь-який пункт споживання, і транспортні витрати, що припадають на перевезення одиниці продукту з пункту A_i в пункт B_j становлять c_{ij} грошових одиниць. Задача полягає в організації такого плану перевезень, за якого сумарні транспортні витрати були б мінімальними [6].

Формально задача ставиться так. Нехай x_{ij} – кількість продукту, що перевозиться з пункту A_i в пункт B_j . Потрібно визначити сукупність із mn величин x_{ij} , які відповідають умовам:

1. $\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i, \quad \forall i;$
2. $\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, \quad \forall j;$
3. $x_{ij} \geq 0, \quad \forall i \forall j$

і для яких лінійна форма $z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$ набуває найменшого значення.

Приклад 3. Розв'язати транспортну задачу:

	B_1	B_2	B_3	B_4	Кількість
A_1	11	25	13	43	160
A_2	14	31	22,5	10	180
A_3	20	22	28	21	300
Кількість	140	60	180	260	640

Позначимо через x_{ij} кількість продукції, яку нам потрібно перевезти з пункту A_i в пункт B_j . Тоді нам необхідно мінімізувати таку цільову функцію


```

Command Window
>> my_trans
Введіть матрицю тарифних коефіцієнтів разом із векторами постачання і споживання ...
[11 25 13 43 160; 14 31 22.5 10 180; 20 22 28 21 300; 140 60 180 260 640]
Матриця перевезень:
    140    20     0     0
     0    40   140     0
     0     0    40   260
Значення цільової функції 13010
    
```

Рис. 5. Результат розв'язання поставленої задачі

$$f = 11x_{11} + 25x_{12} + 13x_{13} + 43x_{14} + 14x_{21} + 31x_{22} + 22.5x_{23} + 10x_{24} + 20x_{31} + 22x_{32} + 28x_{33} + 26x_{34}$$

при таких обмеженнях (задача закритого типу)

$$\begin{cases} x_{11} + x_{21} + x_{31} = 140, \\ x_{12} + x_{22} + x_{32} = 60, \\ x_{13} + x_{23} + x_{33} = 180, \\ x_{14} + x_{24} + x_{34} = 260, \\ x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} = 160, \\ x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} = 180, \\ x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} = 300 \end{cases}$$

Нагадаємо, що в MATLAB дуже зручно працювати з матрицями, тому, не применшуючи важливості вже розглянутих убудованих функцій і згаданого Optimization Toolbox, створимо свою функцію, яка розв'яже нашу транспортну задачу методом північно-західного кута [6].

```
function [outputArg1,outputArg2] = my_trans(inputArg1,inputArg2);
```

```

C=input('Введіть матрицю тарифних коефіцієнтів разом із векторами постачання і споживання ');
[m n]=size(C);
x=zeros(m,n);%шукана матриця
sumc=0;
sumr=0;
for i=1:m-1
sumc=sumc+C(i,n);
end
for j=1:n-1
sumr=sumr+C(m,j);
end
if(sumc == sumr)
for i=1:m
for j=1:n
a=min(C(i,n),C(m,j));
x(i,j)=a;
C(i,n)=C(i,n)-a;
C(m,j)=C(m,j)-a;
end
end
    
```

```

end
else disp('не виконується умова балансу');
end
disp(x(1:(m-1),1:(n-1)));
xre=0;
or i=1:m-1
for j=1:n-1
xre=xre+(C(i,j).*x(i,j));
end
end
disp(['Значення цільової функції',num2str(xre)]);
end
    
```

Рис. 4. Реалізація методу північно-західного кута

Виконаємо цю функцію і протестуємо на цій задачі.

Отже, $x_{11} = 140, x_{12} = 20, x_{22} = 40, x_{23} = 140, x_{33} = 40, x_{34} = 260, \text{ інші } x_{ij} = 0, f_{opt} = 13010$.

3. Нелінійні задачі.

Нелінійні задачі можуть бути розв'язані за допомогою команд пакету **Optimization Toolbox**. Команда **fminunc** дає змогу знайти глобальний (локальний) мінімум цільової функції багатьох змінних без обмежень і з обмеженнями. Зауважимо, що цільова функція та обмеження можуть бути нелінійними.

Приклад 4. Знайдемо мінімум функції $f = 5\sqrt{x} + \sqrt[3]{y}$

```

>> x = fminunc(@(x) 5*x(1)^(1/2) + x(2)^(1/3),[64;64])
x =
    0.0000
    59.7333.
    
```

Команда **fmincon** знаходить екстремум нелінійної функції багатьох змінних із заданими обмеженнями.

Приклад 5. Знайдемо умовний мінімум функції $f = 100(y - x^2)^2 + (1 - x)^2$ за умови $x + 2y \leq 1$, обрати початкові значення змінних (-1; 2).

```
>> fun = @(x)100*(x(2)-x(1)^2)^2 + (1-x(1))^2;  
>> x0 = [-1,2];  
A = [1,2];  
b = 1;  
x = fmincon(fun,x0,A,b) x =  
0.5022 0.2489.
```

Висновки. У статті подано опис деяких основних команд інструментарію **Optimization Tools**

системи MATLAB. Розглянуто способи розв'язання деяких типових задач лінійної та нелінійної оптимізації. Використовуючи розглянуті команди пакету MATLAB, можна ілюструвати розв'язання задач на практичних заняттях задля запобігання рутинним діям або для порівняння результатів обчислень під час вивчення таких курсів, як методи оптимізації та комп'ютерного моделювання тощо.

Список літератури:

1. Дьяконов В.П. MATLAB. Полный самоучитель. Москва: ДМК Пресс, 2012. 768 с.: ил.
2. Крупський Я.В. Активізація навчально-пізнавальної діяльності студентів при вивченні диференційного числення (за допомогою Maple-технологій). Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання в підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми. 2010. Вип. 26. С. 339–344.
3. Алгоритмы. Построение и анализ / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест, К. Штайн. Москва: Вильямс, 2013. 1324 с.
4. Бедратюк Г.І. Використання Maple при вивченні дисципліни «Методи синтезу та оптимізації». Збірник наукових праць ФПМКТ. Хмельницький: ХНУ, 2010. № 1 (3). С. 137–141.
5. Бедратюк Л.П., Бедратюк Г.І. Системи комп'ютерної алгебри в теорії графів. Східноєвропейський журнал передових технологій. 2012. Т. 6. № 4 (60). С. 43–46.
6. Дослідження операцій: конспект лекцій / уклад.: О.І. Лисенко, І.В. Алексеева. Київ: НТУУ «КПІ», 2016. 196 с.
7. Optimization Toolbox User's Guide @ COPYRIGHT 1990–2003 by The MathWorks, Inc. URL: http://www.ing.unitn.it/~afanasye/10_UniTN_reports/20_Presentations/20_Lettures/Robotica_e_Sensor_Fusion_lezioni_2012/Lezione%203%20-%20Optimisation/materials/optim_tb.pdf (дата звернення: 18.09.2018).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕРАКТИВНОЙ СРЕДЫ MATLAB ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ

В статье дано описание некоторых функций среды Matlab и инструмента Optimization Toolbox для решения задач оптимизации. Рассмотрены способы решения некоторых типовых задач линейной и нелинейной оптимизации в Matlab. В частности, рассмотрены команды для следующих разделов: задачи линейного программирования, транспортные задачи, задачи нелинейной оптимизации.

Ключевые слова: целевая функция, минимум, максимум, оптимизация, Matlab, Optimization Toolbox.

USING THE MATLAB INTERACTIVE SOURCE FOR SOLVING OPTIMIZATION PROBLEMS

A description of Matlab's core functions and the Optimization Toolbox toolkit for solving optimization problems is given. Methods of solving some typical linear and nonlinear optimization problems in Matlab are considered. In particular, the commands for the following sections are considered: linear programming problem, transportation problem, problems of nonlinear optimization.

Key words: objective function, minimum, maximum, optimization, Matlab, Optimization Toolbox.

Коваленко О.В.

Центральноукраїнський національний технічний університет

АНАЛІЗ І ДОСЛІДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

У роботі проведено аналіз основних тенденцій розвитку інформаційних технологій розробки програмного забезпечення та вимог до програмних засобів, показників і критеріїв оптимізації, а також підходів математичної формалізації відповідних інформаційних процесів та інформаційних технологій. Аналіз і дослідження, використання методів просторово-матричного представлення систем, а також єдиний підхід до конвергенції показників функціональної й інформаційної безпеки дали змогу розробити ієрархічний комплексний показник безпеки програмного забезпечення комп'ютерних систем критичного застосування, який ураховує як параметри функціональної та інформаційної безпеки, так і фактор зовнішніх впливів. У результаті формується загальна схема характеристик і показників, що стосуються якості програмного забезпечення.

Проводяться порівняльні дослідження основних підходів математичної формалізації інформаційних технологій розробки програмного забезпечення, що дають можливість сформулювати оптимізаційні задачі синтезу інформаційної технології розробки програмного забезпечення для підвищення безпеки даних. Основним завданням синтезу інформаційної технології розробки програмного забезпечення є розробка, вдосконалення та вибір моделей, методів і засобів, що забезпечують максимальні показники безпеки програмного забезпечення.

Ключові слова: інформаційні технології, розробка програмного забезпечення, безпека програмного забезпечення.

Постановка проблеми. Сучасний період розвитку засобів автоматизації й інформатизації суспільства загалом та окремих організацій і підприємств зокрема можна охарактеризувати як час масового переходу від стихійної комп'ютеризації окремих елементів діяльності організацій до єдиних інтегрованих рішень, що охоплює всі аспекти їх існування. Це не могло не відобразитися на складі й обсязі ІТ-проектів, які частіше за все виконуються на методах їх виконання.

Особливостями сучасних ІТ-проектів є замовлення (розробка) й експлуатація уніфікованих програмних додатків та ERP-систем; перехід до поділу праці в проектах щодо розробки ПЗ; підвищення вимог до якості ПЗ; залучення замовника в процес розробки тощо.

Динамічний розвиток цифрових технологій, зростання кількості пристроїв, підключених до Інтернету речей, прийняття закону Сарбейнса-Окслі, зміна нормативно-правового середовища, часті фінансові кризи, відмови в роботі критично важливого обладнання, терористичні атаки і зростання кіберзлочинності – лише деякі з причин, які змушують суспільство вдосконалювати свої інформаційні системи й засоби захисту програмного забезпечення. Особливо гострою ця проблематика виглядає в умовах використання комп'ютерних систем критичного застосування,

вимоги до безпеки програмних засобів у яких надзвичайно високі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Натепер Українське законодавство регламентує питання безпеки програмного забезпечення на підставі Закону України «Про авторське право і суміжні права» в редакції від 11 червня 2001 р. [1], а також підзаконних актів, прийнятих урядом України (ДСТУ ISO/IEC 25010 до: 2016, ДСТУ ISO/IEC 25012 до: 2016, ДСТУ ISO/IEC 25021: 2016 та ін.) [2], у яких під якістю програмного забезпечення розуміється набір ознак і властивостей програмних засобів, які характеризують здатність задовольняти встановлені й передбачені потреби. Однак, відповідно до зазначених документів, вибір метрик оцінювання якості та, відповідно, безпеки виконується суб'єктивно. Це значною мірою ускладнює процес об'єктивної оцінки якості програмного забезпечення загалом і безпеки зокрема, що, у свою чергу, знижує цінності процедур сертифікації програмного забезпечення (далі – ПЗ).

Якість ПЗ можна уявити як функцію восьми складників: підфункцій придатності (Fa), ефективності (Fe), сумісності (Fc), зручності використання (Fu), супровідності (Fes), можливості перенесення й установки (Ft), функціональної безпеки (Fr), інформаційної безпеки (Fs). При цьому

характеристика придатності є функцією показників функціональної повноти (Ffc), функціональної коректності (Ffcr), функціональної доцільності (Ffe). Показники, що характеризують ефективність, можна подати у вигляді вектора, складовими елементами якого є функції поведінки в часі (Fbt), поведінки ресурсів (Fbr), ємність (Ffca). Сумісність ПЗ – це функція, показниками якої є співіснування (Ffco) і взаємодія (Ffi). У свою чергу, характеристику «зручність використання» можна уявити як сукупність показників доцільності (Ffre), керованості (Fcon), захисту від помилок користувачів (Fum), естетичності інтерфейсу (Ffai), доступності користувачів (Ffa). Супровідність є функцією показників модульності (Ffmod), можливості повторного використання (Ffrei), можливості аналізу (Ffan), можливості модифікації (Ffmod), можливості тестування (Fftes). Можливість перенесення й установки як ще одна важлива характеристика може описуватися за допомогою показників адаптованості (Ffadp), можливості інсталяції (Ffins), можливості заміни (Ffrep).

Дослідження показали, що групу характеристик безпеки ПЗ (функціональної безпеки (Fr), інформаційної безпеки (Fs)) доцільно розглядати з погляду єдиної мети – забезпечення безпеки комп'ютерних систем критичного застосування, наявної можливості взаємовпливу один в одного. При цьому показниками функціональної безпеки є зрілість (Fmat), відмовостійкість (Ffft), відновлюваність (Frec), а показниками інформаційної безпеки є конфіденційність (Fconf), цілісність (Fint), автентичність (Fauth), доступність (Favb), причетність (Ffir).

У роботах [3; 4] проводилися дослідження й розроблені комплексні показники якості функціонування комп'ютерних систем критичного застосування (далі – КСКЗ). Скористаємося системними підходами, представленими в цих роботах, і розробимо комплексний показник безпеки ПЗ КСКЗ.

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження інформаційних технологій розробки програмного забезпечення, що забезпечують максимальні показники безпеки.

Виклад основного матеріалу дослідження. Проведені дослідження й аналіз показників якості ПЗ у вигляді ієрархічної векторної системи, а також показників безпеки ПЗ зокрема дали змогу представити комплексний показник безпеки ПЗ КСКЗ $Y_i^{(ПЗ)}$ у вигляді твору матриць:

$$Y_i^{(ПЗ)} = (X_{ik} \cdot Y_k) \cdot A, \quad (1)$$

де $X_{ik} = [x_{ik}^{(\xi)}]$ – матриця усереднених коефіцієнтів впливу зовнішніх процесів і факторів впливу на окремі показники безпеки ПЗ, i – кількість зовнішніх факторів, що впливають на функціонування системи, k – кількість програмних засобів ПЗ КСКЗ, $x_{ik}^{(\psi)} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^{(\psi)}$ – усереднений коефіцієнт впливу зовнішніх процесів (ψ) на показники безпеки окремих програмних засобів КСКЗ (ξ), ℓ – найменування окремого показника безпеки ПЗ, A – матриця усереднених коефіцієнтів взаємовпливу різних характеристик якості ПЗ, $Y_k = [Y_{mat}^{(ПЗ)}, Y_{ft}^{(ПЗ)}, Y_{rec}^{(ПЗ)}, Y_{conf}^{(ПЗ)}, Y_{int}^{(ПЗ)}, Y_{auth}^{(ПЗ)}, Y_{avb}^{(ПЗ)}, Y_{fir}^{(ПЗ)}]$ – матриця показників безпеки ПЗ, $Y_i^{(ПЗ)} = [Y_{mat}^{(ПЗ)}, Y_{ft}^{(ПЗ)}, Y_{rec}^{(ПЗ)}, Y_{conf}^{(ПЗ)}, Y_{int}^{(ПЗ)}, Y_{auth}^{(ПЗ)}, Y_{avb}^{(ПЗ)}, Y_{fir}^{(ПЗ)}]$ – векторні показники безпеки ПЗ.

У результаті перемноження (вираз 1) буде сформована матриця, що являє собою комплексний показник безпеки $Y_i^{(ПО)}$ ПЗ КСКЗ.

Надалі в процесі моделювання й розробки інформаційної технології підвищення безпеки ПЗ, застосування та аналізу її структурних елементів для вирішення приватних оптимізаційних задач доцільно виставляти прапор пріоритетності на окремі елементи матриць X_{ik}, Y_k та A .

Використання методів просторово-матричного представлення систем, а також єдиний підхід до конвергенції показників функціональної й інформаційної безпеки дали можливість розробити ієрархічний комплексний показник безпеки ПЗ КСКЗ, який урахує як параметри функціональної та інформаційної безпеки, так і фактор зовнішніх впливів.

Аналіз вимог безпеки в законодавчих і регламентуючих актах, дослідження моделі якості ПЗ, а також досвід розробки, специфіки впровадження та супроводу ПЗ дав змогу зробити висновок про значне підвищення вимог до безпеки, особливо в КСКЗ.

Натепер існує низка способів забезпечення безпеки програмного забезпечення. Серед них можна виділити способи, які стосуються обґрунтованої розробки та ефективного виконання політики безпеки, оперативного реагування на події, пов'язані з безпекою ПО, безпечного програмування тощо [5].

Усі ці способи тією чи іншою мірою повинні виконуватися відповідно до методології, що призводить до фізичного змісту інтегрального рівня безпеки (SIL – Safety Integrity Level) [6; 7]. Відповідно до цієї методології, дії, пов'язані із забезпеченням безпеки програмного забезпечення, починаються найбільш ранніх стадіях роботи над проектом і тривають протягом усього циклу розробки, причому багато дій виконуються пара-

лельно. На рисунку 1 показано, як дії, пов'язані із забезпеченням безпеки програмного забезпечення, накладаються на різні інші дії, що виконуються в процесі його розробки.

Варто зауважити, що під час розробці ПЗ дуже важливим кроком є обґрунтований вибір методології реалізації цього завдання, що дає змогу підвищити ефективність і якість програмного продукту. При цьому необхідно враховувати, що сукупність процесів розробки ПЗ є складною багатофакторною системою проходжень етапів у рамках обраної методології. Аналіз літератури [8; 9] показав, що сучасні методології розробки ПЗ можна розділити на три основні групи: послідовні (прогнозовані), циклічні (напівпрогнозовані), гнучкі (абстрактні).

Основні відмінності між гнучкими й послідовними методологіями розробки ПЗ представлені на рисунку 2. При цьому варто зауважити, що філософія Agile включає в себе різні принципи та правила, об'єднані між собою в один документ (маніфест Agile). На рисунку 2 виділені тільки основні правила.

Сьогодні існує безліч підходів математичного моделювання процесу розробки програмного забезпечення. Їх основою є положення теорії системного аналізу, масового обслуговування, нейронних мереж, нечіткої логіки, графових моделей і комбінаторних методів розрахунку тощо [8; 10]. Крім того, набули свого розвитку засоби рішення оптимізаційних задач, що формалізуються на основі даних моделей. Це передусім аналітичні методи, методи математичного програмування, евристичні методи тощо [8]. Проаналізуємо найбільш часто використовувані на практиці моделі розробки ПЗ, які різною мірою адаптовані до сучасних вимог до безпеки під час формалізації процесів управління розробкою.

На початку виділимо, що нині в теорії системного аналізу виділяють низку напрямів, серед яких виділимо напрями якісного й кількісного аналізу різних технічних систем і процесів. При цьому якісний аналіз характеризується простотою та високою швидкістю реалізації, а кількісний аналіз – точністю.

	Збір вимог та аналіз	Архітектура та дизайн	Розробка	Тестування	Розгортання	Супровід
Визначення цілей та завдань, пов'язаних із забезпеченням безпеки	█					
Керівництво по забезпеченню безпеки		█				
Моделювання загроз	█					
Рев'ю архітектури та дизайну на відповідність вимогам безпеки		█				
Безпечне кодування та рев'ю коду на відповідність вимогам безпеки			█			
Тестування на відповідність вимогам безпеки		█				
Рев'ю процесу розгортання на відповідність вимогам безпеки				█		

Рис. 1. Діаграма операцій забезпечення безпеки в циклі розробки програмного забезпечення

Для опису поведінки керованих процесів (у тому числі й процесу розробки ПО) з дискретною безліччю станів і безперервним часом широко використовується теорія марковських процесів. Якщо при цьому закони розподілу тривалості перебування в кожному зі станів до відходу в інший можливий стан не є експонентними, то адекватною моделлю поведінки системи є напівмарковський процес [11].

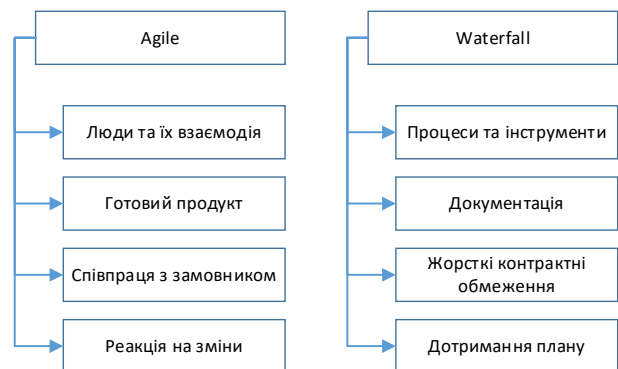


Рис. 2. Основні відмінності між гнучкими та послідовними методологіями

Традиційні технології аналізу напівмарковських систем обмежуються розрахунком фінального розподілу ймовірностей станів системи за формулами:

$$P_i = \frac{\pi_j \bar{T}_j}{\sum_{j=1}^n \pi_j \bar{T}_j}, \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

де n – число можливих станів системи,

$$\bar{T}_j = \int_0^{\infty} (1 - F_i(t)) dt = \int_0^{\infty} (1 - \sum_{j=1}^n P_{ij} F_{ij}(t)) dt$$

– середній час перебування в стані i до відходу, π_i – стаціонарна ймовірність перебування в стані i , $i=1,2,\dots,n$, набір яких знаходиться шляхом вирішення векторно-матричного рівняння

$$(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n) = (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n) \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} \end{pmatrix}$$

Якщо, крім фінальних імовірностей для дослідження системи, необхідне знання будь-яких тимчасових характеристик її поведінки (наприклад, закон розподілу тимчасового інтервалу до потрапляння в який-небудь стан системи), то для вирішення відповідних завдань використовується апарат інтервально-перехідних імовірностей [10; 11]. Напівмарковський процес, як відомо, відрізняється від марковського тим, що закон розподілу часу перебування в кожному зі станів не є обов'язково експоненціальним, а може бути довільним. Ці фактори доцільно використовувати при кількісній оцінці ризиків розробки ПЗ для розробки оптимізаційної стратегії прийняття рішень.

Одним із сучасних напрямів математичного моделювання є біологічний напрям з допомогою нейронних мереж [12]. Багато в чому це пов'язано зі специфікою функціонування комп'ютерних систем, які є людино-машинними системами. Крім того, останнім часом усе більшу увагу розробники та проектувальники стали приділяти питанням захисту даних від програмних загроз. А в цьому випадку результати дослідження систем, проведені за допомогою біологічного підходу, показують найбільш адекватні результати.

Однак проведені дослідження моделей комп'ютерних систем, представлених у вигляді нейронних мереж [12–14], поряд з їх достоїнствами показали й недоліки, пов'язані з істотними (до 100 спостережень) тимчасовими витратами на процес навчання під час побудови моделі, як наслідок, «консерватизмом» щодо динамічних змін у процесі управління розробкою системного ПЗ. Тому ці моделі доцільно використовувати під час моделювання окремих компонентів або структурних елементів інтелектуальних систем прийняття рішень або використовувати в основі процесу вироблення практичних рекомендацій менеджерам.

Однією з поширених технологій математичної формалізації процесів, що протікають у технічних системах, є технологія автоматного моделювання. В автоматизованій моделі управління технологія розробки системного ПЗ представляється детермінованим автоматом, на вхід якого надходить послідовність команд користувачів. Основними елементами автоматизованої моделі може бути безліч станів системи $\{V\}$, безліч користувачів $\{U\}$, безліч матриць доступів $\{M\}$, безліч команд користувачів, що змінюють матрицю доступів $\{CC\}$, безліч команд користувачів, що змінюють стан $\{VC\}$, безліч вихідних значень $\{Out\}$ [8; 13].

Перевагою цієї технології є можливість відображення різних підходів управління, що визначають не тільки архітектуру системи, а й конфігурацію, порядок взаємодії між об'єктами та суб'єктами процесу розробки ПЗ.

Серед недоліків автоматних моделей можна відзначити складність їх практичної реалізації в разі збільшення використовуваних підходів і методологій розробки системного ПЗ.

Як зазначено в низці джерел [10; 11; 15], домінуючим під час вирішення широкого кола завдань аналізу й синтезу систем управління різного призначення тривалий час залишався графокомбінаторний підхід. У цьому випадку процес розробки ПЗ представляється у вигляді функції: $G(N, C)$ або $G(x)$, де N – безліч станів в управлінні, C – безліч зв'язків між станами, x – характеристика якості управління (ефективність, безпеку, вартість тощо), обрана як критерій оптимізації. Тоді приватна задача розробки системного програмного забезпечення може трансформуватися в оптимізаційну задачу виду: $G(x) \rightarrow opt$.

Рішення мережевих завдань управління в рамках цього підходу ґрунтувалося на моделюванні процесу у вигляді графа й пов'язане з направленим перебором можливих варіантів з метою досягнення деякого оптимуму щодо аналізованого властивості.

Одним із можливих методів математичного графового уявлення процесу розробки ПЗ є метод, заснований на GERT-мережах. Цей метод дає змогу моделювати процеси із заздалегідь невідомою функцією розподілу випадкових величин, успішно випробуваний під час математичної формалізації низки процесів, пов'язаних із проектуванням і тестуванням програмного забезпечення, що висвітлено в роботах [16; 17].

Результати, отримані під час моделювання таких процесів, показали можливість використання цього підходу з урахуванням можливих

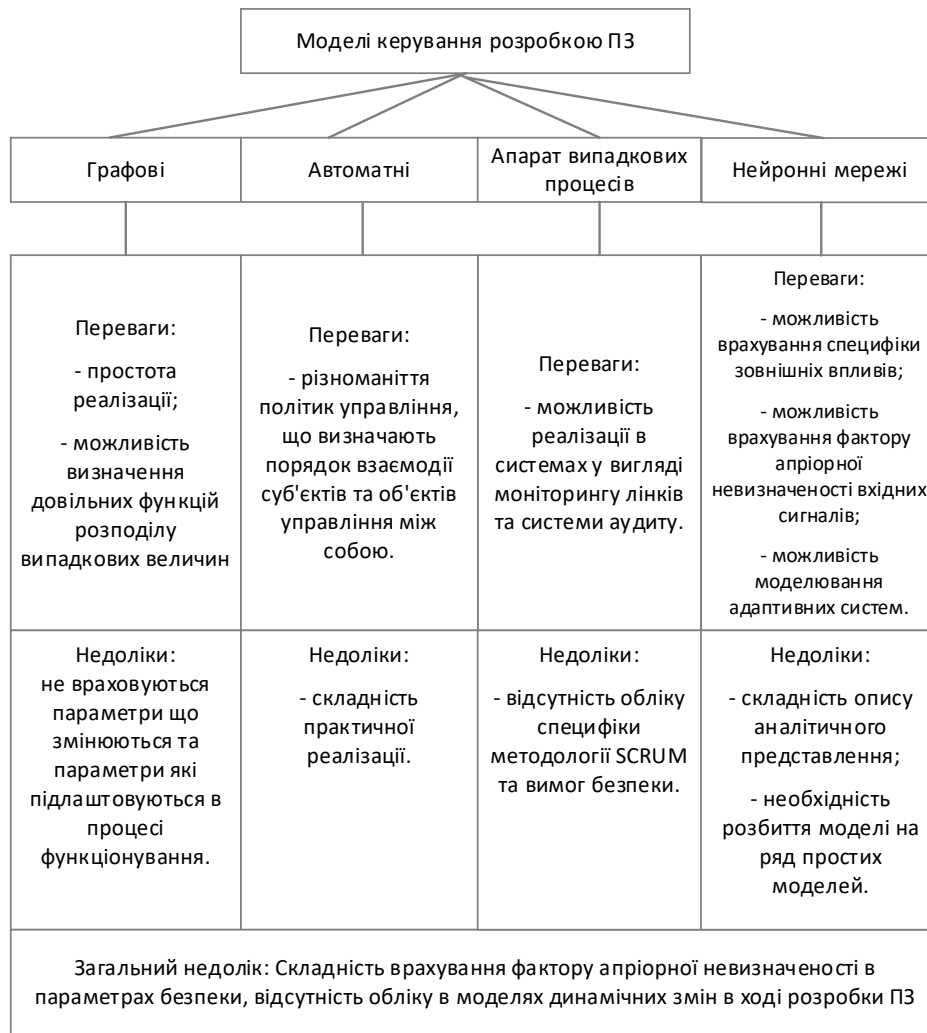


Рис. 3. Порівняльна характеристика найбільш відомих підходів математичної формалізації процесу управління розробкою системного ПЗ

негативних ситуацій і наслідків. Зокрема, аналіз GERT-моделей показав доцільність еквівалентних спрощень перетворень складних процесів, розбиття складних етапів на низку підетапів, використання відомого математичного апарату (наприклад, формули Мейссоньє, леми Жордана) тощо.

На рисунку 3 представлено порівняльну характеристику найбільш відомих підходів математичної формалізації процесів управління розробкою із зазначенням їх достоїнств і недоліків.

Отже, в результаті аналізу й порівняльних досліджень наявних моделей процесу розробки ПЗ виявлено низку характерних особливостей, переваг і недоліків наявних напрямів аналізу та синтезу цих систем.

Проведені дослідження наявних інформаційних технологій і методологічного забезпечення процесу розробки ПЗ, методів і засобів управ-

ління цим процесом, а також технологій математичної формалізації дали змогу виявити низку недоліків та обмежень їх використання в умовах підвищеного інтересу до ПЗ у зловмисників і високих вимог безпеки. Ці результати характеризують об'єктивно існуюче протиріччя розвитку інформаційних технологій розробки програмного забезпечення в умовах наявної філософії Agile та гнучких методологій розробки ПЗ.

Це дало змогу зробити висновок про необхідність врахування низки негативних факторів, що впливають на безпеку інформації, під час розробки та реалізації інформаційної технології розробки ПЗ.

Проведені дослідження показали, що існує широкий спектр варіантів розробки й використання інформаційних технологій управління розробкою ПЗ. Ці варіанти можуть відрізнятися способами впровадженнями, вартісними й іншими

тактико-технічними показниками, характеристиками її окремих елементів тощо [4].

Безліч можливих варіантів побудови інформаційної технології розробки ПЗ Θ може бути представлено у вигляді об'єднання підмножин Θ і Θ , що забезпечують безпеку на всіх етапах життєвого циклу розробки ПЗ й не забезпечують заданий показник якості відповідно.

Основним завданням для вирішення науково-технічної проблеми, яка полягає в синтезі інформаційних технологій розробки ПЗ КСКЗ для підвищення безпеки даних, є розробка, вдосконалення та вибір інформаційних технологій, методів і моделей, що належать до підмножини й забезпечують максимальні показники безпеки ПЗ.

Під час розробки інформаційної технології якісного аналізу необхідно зазначити, що основою для розробки є методика структурної ідентифікації ризиків розробки ПО, що відрізняється від відомих побудов оцінювання ризиків, розробки ПЗ «зверху» у вигляді безлічі за наявності довільного несуперечливого кінцевого набору «квантів інформації».

Під час розробки комплексу математичних моделей технології тестування Web-додатків необхідно виділити такі окремі наукові завдання: розробка та дослідження математичних моделей технології тестування DOM XSS уразливості й технології тестування уразливості до SQL ін'єкцій, оцінювання ефективності та адекватності розробленого комплексу математичних моделей.

Висновки. У статті проведено аналіз сучасних тенденцій розвитку інформаційних технологій розробки програмного забезпечення та вимог до програмних засобів, показників і критеріїв оптимізації, а також підходів математичної формалізації відповідних інформаційних процесів та інформаційних технологій.

Проведені аналіз і дослідження дали змогу сформулювати ієрархічний показник вимог до якості ПЗ КСКЗ, виділити в ньому вимоги до безпеки. У результаті сформована загальна схема характеристик і показників, що стосуються якості програмного забезпечення.

Аналіз інформаційних технологій і методологій розробки програмного забезпечення, а також факторів, що впливають на безпеку, дав можливість виділити протиріччя між підвищеними вимогами до безпеки ПЗ (з урахуванням усіх ризиків безпеки) і необхідністю адаптації до наявних об'єктивно-суб'єктивних факторів, властивих сучасному світу IT-індустрії.

Проведені порівняльні дослідження основних підходів математичної формалізації інформаційних технологій розробки ПЗ дали змогу сформулювати оптимізаційну задачу синтезу інформаційної технології розробки ПЗ для підвищення безпеки даних. Основним завданням синтезу є розробка, вдосконалення та вибір моделей, методів і засобів, що забезпечують максимальні показники безпеки ПЗ.

Список літератури:

1. Про авторське право і суміжні права: Закон України від 11.06.2001 № 2627-III. Дата оновлення: 22.07.2018. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3792-12>.
2. Каталог на Україні: URL: <http://csm.kiev.ua/>.
3. Яковина В.С., Федасюк Д.В., Мамроха Н.М. Аналіз використання аспектно-орієнтованого програмування як засобу підвищення надійності програмного забезпечення. Інженерія програмного забезпечення. 2010. № 2. С. 24–29.
4. Wang Y. Software engineering foundations. A software science perspective. Auerbach Publications, 2008. 1419 p.
5. Домарев В.В. Безопасность информационных технологий. Методология создания систем защиты. Киев: Свифт, 2001. 680 с.
6. Mitchell K., Longendelpher T., Kuhn M. Safety Instrumented Systems Engineering Handbook. USA, 2010. 562 p.
7. Marszal E. Safety Integrity Level Selection – Systematic Methods Including Layer of Protection Analysis. The Instrumentation, Systems, and Automation Society. Research Triangle Park. USA, 2002. 136 p.
8. Говорущенко Т.О., Красій А.В. Математичне моделювання специфікації вимог та характеристик програмного забезпечення. Радіоелектронні і комп'ютерні системи. 2014. № 5. С. 34–39.
9. Ambler W. Agile Model Driven Development (AMDD): The Key to Scaling Agile Software Development. 2007. URL: <http://www.agilemodeling.com/essays/amdd.htm>.
10. Мхитарян В.С., Шишов В.Ф., Козлов А.Ю. Теория вероятностей и математическая статистика: учебное пособие для студ. учреждений высш. проф. образования. Москва: Академия, 2012. 416 с.
11. Praba B., Sujatha R., Srikrishna S. A study on homogeneous fuzzy semi-Markov model. Applied Mathematical Sciences. 2009. № 3 (50). P. 2453–2467.

12. Хайкин С. Нейронные сети. Москва: Вильямс, 2006. 1103 с.
13. Головкин В.Л. Нейронные сети: обучение, организация и применение. Москва: ИПРЖР, 2001. Кн. 4 / под ред. А.И. Галушкина. 645 с.
14. Пильгун В.М. Глубинное обучение нейронных сетей и достижения в их применении. Киев, 2015. 589 с.
15. Смірнов О.А., Коваленко О.В., Мелешко Є.В. Інженерія програмного забезпечення: навчальний посібник. Київ: РВЛ КНТУ, 2013. С. 409
16. Коваленко А.В. Технология тестирования DOM XSS уязвимости. Безпека інформації. 2017. № 2 (23). С. 73–79.
17. The mathematical model of the testing technology for DOM XSS vulnerabilities / O. Kovalenko, O. Smirnov, A. Kovalenko, S. Smirnov, V. Vialkova. Scientific & practical cyber security journal (SPCSJ). Georgia. Tbilisi: SCSA, 2018. № 2 (1). P. 22–28. URL: <https://journal.scsa.ge/issues/2018/03/997>.

АНАЛИЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

В работе анализируются основные тенденции развития информационных технологий разработки программного обеспечения и требования к программным средствам, показателям и критериям оптимизации, а также подходов математической формализации соответствующих информационных процессов и информационных технологий. Анализ и исследования использования методов пространственно-матричного представления систем, а также единый подход к конвергенции показателей функциональной и информационной безопасности позволили разработать иерархический комплексный показатель безопасности программного обеспечения компьютерных систем критического применения, который учитывает как параметры функциональной и информационной безопасности, так и фактор внешних воздействий. В итоге формируется общая схема характеристик и показателей, относящихся к качеству программного обеспечения.

Проводятся сравнительные исследования основных подходов математической формализации информационных технологий разработки программного обеспечения, что позволяют сформулировать оптимизационную задачу синтеза информационной технологии разработки программного обеспечения для повышения безопасности данных. Основной задачей синтеза информационной технологии разработки программного обеспечения является разработка, совершенствование и выбор моделей, методов и средств, обеспечивающих максимальные показатели безопасности программного обеспечения.

Ключевые слова: информационные технологии, разработка программного обеспечения, безопасность программного обеспечения.

ANALYSIS AND RESEARCH OF INFORMATION TECHNOLOGIES FOR SOFTWARE DEVELOPMENT

This paper analyzes the main trends of development of software development information technology and software requirements, indicators and criteria of optimization and approaches of mathematical formalization of relevant information processes and information technology. On the basis of analysis and research the use of methods of space-matrix system representation as well as a common approach to the convergence of indicators of functional and information security allowed to develop a hierarchical complex indicator of security of computer systems of critical application that takes into account both the parameters of functional and information security, and the factor of external influences. As a result, a general scheme of characteristics and indicators relating to the quality of software is formed.

This research carries out comparative studies of the basic approaches of the mathematical formalization of information technology software development, which allow us to formulate the optimization problem of synthesizing the information software development technologies to enhance data security. The main task of synthesizing information technology for software development is the development, improvement and selection of models, methods and tools that provide maximum software security indicators.

Key words: information technology, software development, software security.

УДК 004.056.53

Комаров М.Ю.

Інститут проблем моделювання в енергетиці імені Г.Є. Пухова НАН України

Ониськова А.В.

Інститут проблем моделювання в енергетиці імені Г.Є. Пухова НАН України

Гончар С.Ф.

Інститут проблем моделювання в енергетиці імені Г.Є. Пухова НАН України

АНАЛІЗ І ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ ПОРУШНИКА БЕЗПЕКИ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ ЗАХИЩЕНОГО ВУЗЛА ІНТЕРНЕТ ДОСТУПУ

У роботі здійснено аналіз і дослідження моделі порушника безпеки інформації для захищеного вузла Інтернет доступу. Подано загальну класифікацію порушників безпеки інформації, яка циркулює в захищеному вузлі Інтернет доступу. Приведено специфікації моделі порушника за мотивами здійснення порушень, за рівнем кваліфікації та обізнаності, за показником можливостей використання засобів для реалізації загроз, за часом дії, за місцем дії. Показано, що розробка адекватної й максимально всеохоплюючої моделі порушника безпеки інформації є обов'язковим етапом під час побудови захищеного вузла Інтернет доступу. З'ясовано, що реалізація цього етапу дасть змогу забезпечити його ресурси, в тому числі інформаційні, від деструктивного впливу порушника будь-якого типу.

Ключові слова: загроза, модель порушника, безпека інформації, програмне забезпечення, захищений вузол Інтернет доступу.

Постановка проблеми. Захищений вузол Інтернет доступу (далі – ЗВІД) призначений для надання органам державної влади й органам місцевого самоврядування, державним підприємствам, установам, організаціям, іншим юридичним і фізичним особам послуг зв'язку, послуг захищеного доступу до ресурсів і сервісів мережі Інтернет.

Для захисту інформації, що обробляється та зберігається у ЗВІД, розробляється комплексна система захисту інформації (далі – КСЗІ).

КСЗІ ЗВІД призначена для:

– захисту цілісності й доступності транзитної інформації, яка передається через ЗВІД, та інформації WEB-ресурсів, які циркулюють у ЗВІД;

– захисту конфіденційності, цілісності й доступності технологічної інформації компонентів ЗВІД і технологічної інформації комплексу засобів захисту ЗВІД;

– розмежування доступу користувачів, адміністраторів і технічного обслуговуючого персоналу до інформаційних ресурсів ЗВІД;

– блокування несанкціонованих дій з транзитною інформацією, яка передається через ЗВІД, та інформацією WEB-ресурсів, які циркулюють у ЗВІД;

– захисту інформаційних ресурсів, які циркулюють у ЗВІД, від несанкціонованого доступу та модифікації;

– реєстрації спроб реалізації загроз інформації та сповіщення адміністраторів безпеки про факти несанкціонованих дій з об'єктами захисту ЗВІД.

Одним із етапів створення комплексної системи захисту інформації є розробка моделі порушника безпеки інформації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Згідно з нормативними документами системи технічного захисту інформації (НД ТЗІ 1.1-002-99 [1], НД ТЗІ 1.4-001-2000 [2], НД ТЗІ 1.6-003-04 [3], НД ТЗІ 3.7-003-05 [4]), здійснюється загальна класифікація порушників безпеки інформації. Разом із тим відсутня узагальнена модель порушника безпеки інформації, яка циркулює у ЗВІД, з урахуванням практичних і потенційних можливостей, апріорних знань, часу та місця дії тощо.

Постановка завдання. Необхідно проаналізувати й дослідити модель порушника безпеки інформації, яка циркулює у ЗВІД. Під розробкою моделі порушника будемо розуміти класифікацію порушників, їх перелік, наслідки впливу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Згідно з нормативними документами системи технічного захисту інформації [1–4], загрози безпеки інформації за локалізацією джерела загрози поділяються на внутрішні та зовнішні. До зовнішніх належать загрози, джерело яких знаходиться поза межами ЗВІД. Внутрішні загрози реалізуються в

Категорії порушників, що визначені в моделі

Позначення	Визначення категорії	Потенційний рівень загрози
П1	Системний адміністратор ЗВІД	5
П2	Адміністратор безпеки	5
П3	Користувачі	4
П4	Відвідувачі	2
П5	Технічний персонал, який обслуговує будівлю та приміщення, в яких розташовані компоненти ЗВІД	3
П6	Персонал, який обслуговує технічні засоби (інженери, техніки)	3
П7	Представники організацій, що взаємодіють з питань обслуговування ЗВІД, технічного забезпечення та підтримки її функціональності	3
П8	Сторонні особи, що знаходяться за межами контрольованої території вузлів ЗВІД	2

межах контрольованої зони, в приміщеннях, де розташовані засоби обробки та збереження інформації ЗВІД. Відповідно до цього, розрізняються два види порушників: зовнішній і внутрішній. Розглянемо кожний із зазначених видів порушників детальніше.

Зовнішній порушник – це порушник, що діє із зовнішнього щодо ЗВІД боку. У цій моделі розглядається особа, що не має доступу до приміщень, у яких розташовані засоби обчислювальної техніки, і не є авторизованим користувачем. Зовнішній порушник має можливість реалізувати загрозу інформації тільки впливаючи на інформацію з боку інших автоматизованих систем (що не входять до складу ЗВІД).

Категорії осіб, які можуть бути зовнішніми порушниками:

- сторонні особи, що знаходяться за межами контрольованої території вузлів ЗВІД;
- відвідувачі;
- представники організацій, що взаємодіють з питань обслуговування ЗВІД, технічного забезпечення та підтримки її функціональності.

Внутрішній порушник – це порушник, що діє зсередини ЗВІД. У цій моделі розглядається особа, що має доступ до приміщень, у яких розташовані засоби обчислювальної техніки ЗВІД. Внутрішній порушник має можливість реалізувати загрозу інформації й може бути як авторизованим користувачем, так і неавторизованим.

Внутрішнім порушником може бути особа з таких категорій персоналу організації:

- системний адміністратор ЗВІД;
- адміністратор безпеки;
- користувачі;
- технічний персонал, який обслуговує будівлю

та приміщення, в яких розташовані компоненти ЗВІД;

- персонал, який обслуговує технічні засоби (інженери, техніки).

Потенційним порушником безпеки інформації ЗВІД є особа, яка помилково, внаслідок необізнаності, цілеспрямовано, за злим наміром або без нього, використовуючи різні можливості, методи та засоби, здійснила спробу виконати операції, що призвели або можуть призвести до порушення конфіденційності, цілісності й доступності інформації.

Основним припущенням, що зроблене під час аналізу потенційного порушника для ЗВІД, є те, що адміністратор з безпеки має найвищий рівень довіри з погляду забезпечення захисту інформації ЗВІД і розглядається як особа, відповідальна за стан захищеності інформації, що обробляється в межах об'єкта, в моделі порушника не розглядається як потенційний порушник, а заходи, що можуть бути прийняті для забезпечення контролю його дій з боку керівництва, розглядаються як додаткові.

Модель порушника відображає його практичні та потенційні можливості, апріорні знання, час і місце дії тощо.

Визначення категорій порушників, що прийняті в моделі, узагальнено й подано в таблиці 1. У таблицях 2–6 узагальнено й подано специфікації моделі порушника за мотивами здійснення порушень, за рівнем кваліфікації та обізнаності щодо ЗВІД, за показником можливостей використання засобів ЗВІД для реалізації загроз, за часом дії, за місцем дії. У графі «Рівень загроз» зазначених таблиць наведено рейтингову оцінку загроз порушника (можливих збитків). Рівень загрози характеризується такими категоріями:

Таблиця 2

Специфікація моделі порушника за мотивами здійснення порушень

Позначення	Мотив порушення	Ефективний рівень загрози
M1	Безвідповідальність (недбалість)	3
M2	Корислива цілеспрямованість	5

Таблиця 3

Специфікація моделі порушника за рівнем кваліфікації та обізнаності щодо ЗВІД

Позначення	Основні кваліфікаційні ознаки порушника	Ефективний рівень загрози
K1	Не володіє знаннями та інформацією про порядок функціонування ЗВІД, не має навичок щодо користування штатними засобами системи	1
K2	Має навички щодо користування ПК на рівні користувача	2
K3	Володіє базовими знаннями щодо функціонування програмного забезпечення й операційних систем і практичними навичками роботи із засобами, що реалізовані у ЗВІД	4
K4	Володіє знаннями щодо функціонування засобів і механізмів захисту, що використовуються у ЗВІД, і їх недоліки	5

Таблиця 4

Специфікація моделі порушника за показником можливостей використання засобів ЗВІД для реалізації загроз

Позначення	Характеристика можливостей порушника	Ефективний рівень загрози
31	Має фізичний доступ до автоматизованого робочого місця ЗВІД, але не є авторизованим користувачем ЗВІД	1
32	Має можливість запуску фіксованого набору завдань (програм), що реалізують заздалегідь передбачені функції обробки інформації	3
33	Має можливість керування функціонуванням елементів ЗВІД, тобто конфігурує програмне забезпечення та комплекс засобів захисту ЗВІД	5
34	Не має доступу фізичного доступу до ресурсів ЗВІД	1

Таблиця 5

Специфікація моделі порушника за часом дії

Позначення	Характеристика можливостей порушника	Ефективний рівень загрози
Ч1	Під час бездіяльності компонентів системи (під час планових перерв у роботі, у неробочий час)	4
Ч2	Під час функціонування ЗВІД	5
Ч3	Під час перерв у роботі для обслуговування та ремонту	3

Таблиця 6

Специфікація моделі порушника за місцем дії

Позначення	Характеристика місця дії порушника	Ефективний рівень загрози
Д1	Усередині будівлі та приміщень, але без доступу до технічних засобів ЗВІД	1
Д2	З робочих місць користувачів	5
Д3	З інших об'єктів ЗВІД, у тому числі каналів зв'язку	2

- 1 – незначний (низький),
 2 – нижчий за середній,
 3 – середній,
 4 – вищий за середній,
 5 – значний (високий).

Модель порушника, яку побудовано з урахуванням особливостей ЗВІД (що забезпечує певне виконання технологічних процесів створення об'єкта), технологій обробки інформації, категорій персоналу й користувачів, характеризується сукупністю значень характеристик, що наведені

Профілі можливостей порушників

Позначення	Визначення категорії	Характер дій порушника					Ефективний рівень загроз
		Мотив порушення	Кваліфікація	Можливості	Час дії	Місце дії	
П1	Системний адміністратор ЗВІД	M1, M2	K4	33	Ч1-Ч3	Д2, Д3	5
П2	Адміністратор безпеки ЗВІД	M1, M2	K4	33	Ч1-Ч3	Д2, Д3	5
П3	Користувачі	M1, M2	K2-K4	33	Ч1-Ч3	Д2, Д3	4
П4	Відвідувачі	M1, M2	K1-K4	31	Ч2	Д2, Д3	3
П5	Технічний персонал, який обслуговує будівлю та приміщення, в яких розташовані компоненти ЗВІД	M1, M2	K1-K4	31	Ч1-Ч3	Д2	2
П6	Персонал, який обслуговує технічні засоби (інженери, техніки)	M1, M2	K1-K4	32	Ч1-Ч3	Д2	3
П7	Представники організацій, що взаємодіють з питань обслуговування ЗВІД, технічного забезпечення та підтримки її функціональності	M1, M2	K1-K4	33	Ч1-Ч3	Д3	5
П8	Сторонні особи, що знаходяться за межами контрольованої території вузлів ЗВІД	M2	K1-K4	34	Ч1-Ч3	Д3	1

вище. Сукупність цих характеристик визначає профіль можливостей порушника.

Профілі можливостей порушників усіх категорій подано в таблиці 7. У графі «Ефективний рівень загроз» наведено рейтингову оцінку загроз порушника з відповідними характеристиками.

Висновки. Досліджені в роботі види порушників безпеки інформації, яка циркулює у ЗВІД, засвідчують, що теоретично до цієї категорії може бути зараховано будь-якого адміністра-

тора, користувача й технічний (обслуговуючий) персонал, який так чи опосередковано має доступ до обладнання, програмного забезпечення чи інформації, що обробляється у ЗВІД. Розробка адекватної та максимально всеохоплюючої моделі порушника під час побудови ЗВІД є обов'язковим етапом, реалізація якого дасть змогу убезпечити його ресурси, в тому числі інформаційні, від деструктивного впливу порушника будь-якого типу.

Список літератури:

1. НД ТЗІ 1.1-002-99. Загальні положення щодо захисту інформації в комп'ютерних системах від несанкціонованого доступу.
2. НД ТЗІ 1.4-001-2000. Типове положення про службу захисту інформації в автоматизованій системі.
3. НД ТЗІ 1.6-003-04. Створення комплексів технічного захисту інформації на об'єктах інформаційної діяльності. Правила розроблення, побудови, викладення та оформлення моделі загроз для інформації.
4. НД ТЗІ 3.7-003-05. Порядок проведення робіт із створення комплексної системи захисту інформації в інформаційно-телекомунікаційній системі.

АНАЛИЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ НАРУШИТЕЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ЗАЩИЩЕННОГО УЗЛА ИНТЕРНЕТ ДОСТУПА

В работе осуществлены анализ и исследование модели нарушителя безопасности информации для защищенного узла Интернет доступа. Приведена общая классификация нарушителей безопасности информации, циркулирующей в защищенном узле Интернет доступа. Приведены спецификации модели нарушителя по мотивам совершения нарушений, по уровню квалификации и осведомленности, по показателю возможностей использования средств для реализации угроз, по времени действия, за местом действия. Показано, что разработка адекватной и максимально всеобъемлющей модели нарушителя

безопасности информации является обязательным этапом при построении защищенного узла Интернет доступа; что реализация данного этапа позволит обезопасить его ресурсы, в том числе информационные, от деструктивного влияния нарушителя любого типа.

***Ключевые слова:** угроза, модель нарушителя, безопасность информации, программное обеспечение, защищенный узел Интернет доступа.*

ANALYSIS AND RESEARCH OF THE MODEL OF INFORMATION SECURITY VIOLATOR FOR A SECURED INTERNET ACCESS NODE

The paper analyzes and researches the model of the information security violator for a secured Internet access node. The general classification of information security violators circulating in a secured Internet access node is given. The specifications of the violator model based on violations, on the level of qualification and awareness, on the indicator of possibilities of using means for realization of threats, by time of action, by place of action are given. It is shown that the development of an adequate and the most comprehensive model of information security violator is an obligatory stage in construction of a secured Internet access node. It is shown that realization of this stage will allow to secure its resources, including information, from the destructive influence of the violator of any type.

***Key words:** threat, violator model, information security, software, secured Internet access node.*

УДК 004:62-52:004.03

Комлева Н.О.

Одеський національний політехнічний університет

Комлева О.О.

Одеський національний політехнічний університет

Комлева Г.О.

Одеський національний політехнічний університет

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ WEB-ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО МЕДИЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ

У роботі розглядаються особливості проектування web-застосування *DiaSpectrEx*, яке призначене для автоматизації проведення медичного діагностування дихальної системи людини. *DiaSpectrEx* використовує інноваційну медичну методику, що дає змогу зробити процес діагностики безпечним для всіх категорій обстежуваних. Висока точність результатів досягається завдяки використанню сукупності діагностичних класифікаторів: «нейромережа», «статистичний класифікатор», «метод *k*-найближчих сусідів». Розглянуто архітектурні особливості web-застосування *DiaSpectrEx* і наведено ключові UML-діаграми. Формалізовано умови застосування діагностичних класифікаторів.

Ключові слова: діагностування, проектування web-застосування, класифікація, нейромережа, статистичні методи, UML-діаграми.

Постановка проблеми. Застосування інформаційних технологій у сфері медичного діагностування дає змогу покращити якість сервісу, скоротити час обстеження, збільшити точність діагностики, проводити віддалені обстеження, прискорити аналіз та обробку первинної інформації. Крім того, до медичної інформації може бути отриманий доступ практично з будь-якої точки земної кулі, що є важливим аспектом у багатьох випадках як для лікаря, так і для пацієнта.

У роботі розглядаються особливості проектування web-застосування *DiaSpectrEx*, яке призначене для автоматизації проведення медичного діагностування дихальної системи людини на основі аналізу складу конденсату видихуваного повітря [1, с. 65]. У ході процесу діагностики інформація про пацієнта вводиться в систему, обробляється, аналізується і зберігається в базі даних. Застосування цього підходу забезпечує доступність, високу точність і безпеку проведеної діагностики. Для аналізу спектрограми конденсату вологи видихуваного повітря web-застосування *DiaSpectrEx* використовує оригінальне діагностичне обладнання.

Для діагностики стану дихальної системи людини можна застосовувати три класифікаційні підходи: перший оснований на використанні нейронної мережі, другий – на основі статистичних методів, а третій використовує метод

k-найближчих сусідів [2, с. 98; 3, с. 43]. Нейрона мережа є найголовнішим і найточнішим засобом визначення належності пацієнта до тієї чи іншої діагностичної групи. Але вона має декілька обмежень: потребує якнайбільше даних для спроможності ефективно класифікувати вхідні дані, процес навчання мережі може вимагати занадто великої кількості часу. Тому вирішено використовувати допоміжні методи класифікації, які базуються на статистичному аналізі даних. Статистика в медицині є одним із інструментів аналізу експериментальних даних і клінічних спостережень, а також мовою, за допомогою якої повідомляються отримані математичні результати. Крім того, математичний апарат широко застосовується в діагностичних цілях і вирішенні класифікаційних завдань [4, с. 250; 5, с. 54; 6, с. 117].

Постановка завдання. Метою роботи є підвищення якості медичного діагностування з використанням спеціалізованого програмно-апаратного web-застосування завдяки автоматизації виконання ключових етапів діагностичного процесу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для формалізації вимог до розроблюваної діагностичної системи *DiaSpectrEx* проведено збирання та аналіз інформації на основі документів «Бачення», сформованих майбутніми користувачами системи. Користувачів системи доцільно розбити на такі категорії:

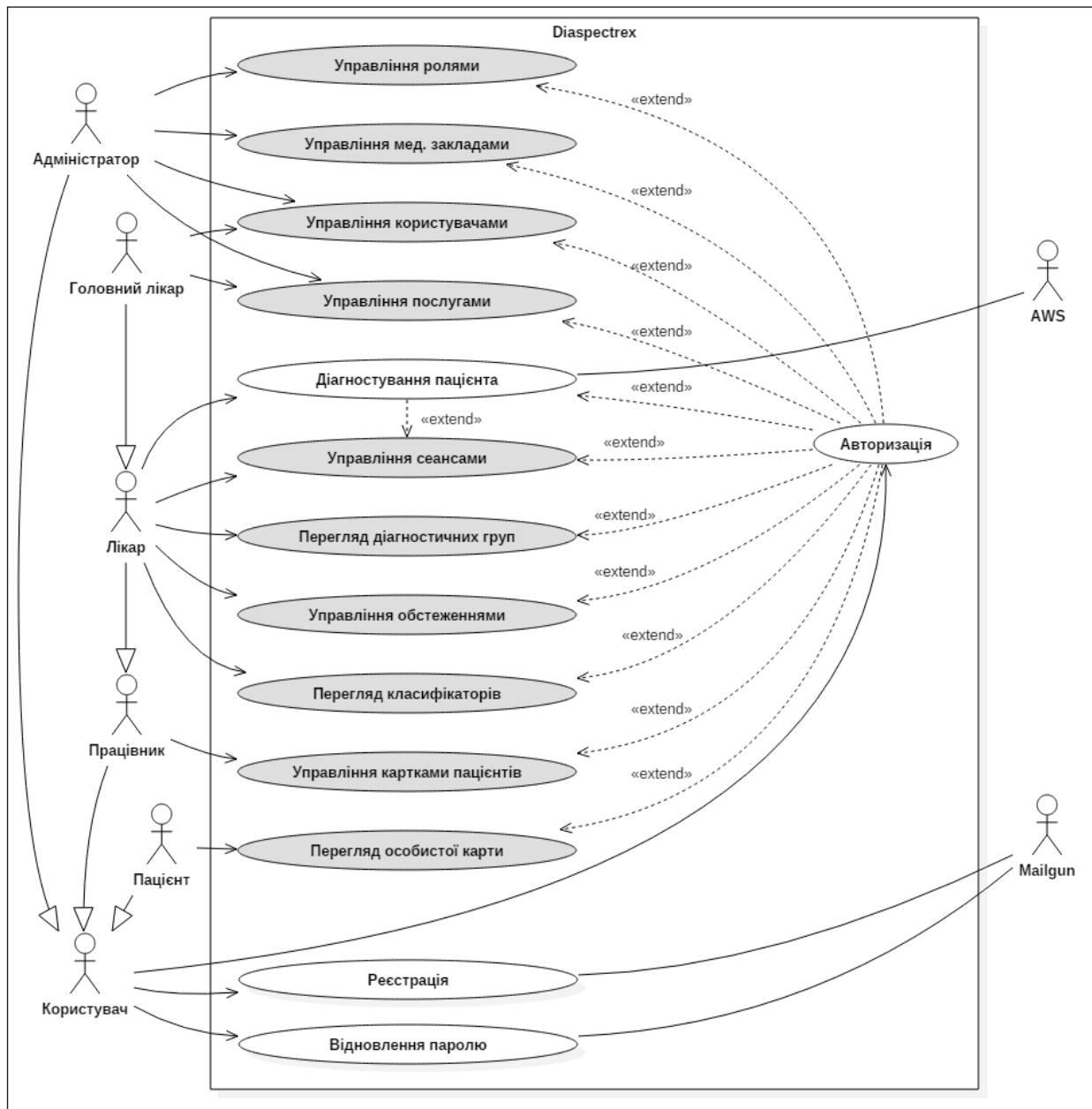


Рис. 1. Діаграма варіантів використання системи DiaSpectrEx

– «Пацієнт» – обстежуваний, у якого в процесі діагностування ідентифікується стан дихальної системи; він повинен мати можливість перегляду особистої картки;

– «Працівник» – особа, яка виконує заходи щодо роботи з картками пацієнтів;

– «Лікар» – особа, яка виконує заходи щодо проведення обстежень і сеансів, а також безпосереднього діагностування пацієнта з використанням класифікаторів «нейромережа», «статистичний класифікатор», «метод k-найближчих сусідів» і за допомогою сервісів AWS – Amazon Web Services. Може виконувати ті самі дії, що й особа, зарахована до категорії «Працівник»;

– «Головний лікар» – особа, яка виконує заходи щодо управління послугами, що надаються, і користувачами, які є працівниками медичного закладу. Може виконувати ті самі дії, що й особа, зарахована до категорії «Лікар»;

– «Адміністратор» – особа, яка виконує заходи щодо управління ролями в системі, тобто, по суті, відповідає за розмежування прав доступу, управління медичними закладами й послугами, а також користувачами;

– «Користувач» – це категорія, що введена для групування загальних для всіх інших категорій можливостей, а саме реєстрації, авторизації та відновлення пароля за допомогою незалежного

сервісу MailGun. Усі вищеперелічені категорії мають ці можливості.

Варто зазначити, що права щодо виконання тих чи інших дій у системі суворо розділені.

Розглянемо основні функціональні вимоги, що висуваються до розробленої системи діагностики [7, с. 75; 8, с. 55]. Формально опис функціональності й поведінки DiaSpectrEx наведено на рисунку 1.

Виходячи з того, що діагностична система є web-застосуванням, перевірка даних на повноту й цілісність і їх валідація відбуваються як на боці клієнта, так і на боці сервера задля підвищення ступеня захисту даних.

Так як розроблювальний програмний продукт призначений для використання медичними працівниками, які володіють обчислювальною технікою на рівні користувача, то він повинен мати простий, зручний і зрозумілий користувацький інтерфейс. Для зручності інтерфейс має бути адаптивним, тобто зручним для використання на різних девайсах: планшетах, смартфонах, ноутбуках, настільних ПК тощо.

Як матеріал для досліджень узято дані за трьома непересічними групами пацієнтів, кожен із яких пройшов попереднє пульмонологічне обстеження. Проміжні результати обстеження кожного пацієнта представлені вектором із 32 ознак, що характеризують стан дихальної системи [9, с. 102]. Значення ознак є кількісними величинами, вимірними на безперервній шкалі. Угрупування пацієнтів проведено апріорно на підставі медичних рекомендацій, заснованих на стандартних діагностичних методах; кількість пацієнтів у групах різна.

У системі представлено такі види класифікаторів: «нейромережа», «статистичний класифікатор», «метод k-найближчих сусідів» [10, с. 35]. Але лікарю не завжди доступні всі три види: перед кожним діагностуванням проводиться аналіз наявних класифікаторів, і тільки ті класифікатори, що відповідають висунутим до них вимогам, можуть бути використані для оцінювання результатів первинного аналізу дихальної системи пацієнта [11, с. 78; 12, с. 106].

Для визначення можливості застосування класифікаторів необхідно перевірити таке:

- штучну нейронну мережу:
 - зв'язок із сервісами AWS і валідність ключа клієнта;
 - доступність нейронної мережі для всіх необхідних діагностичних груп;
 - перевищення точності кожної нейронної мережі встановленого порогового значення (обрано 90%);

- дискримінантний аналіз:
 - наявність конфігураційних налаштувань для дискримінантного аналізу;
 - наявність конфігураційних налаштувань для всіх необхідних діагностичних груп;
 - наявність коректно розрахованих для кожної діагностичної групи констант, коефіцієнтів та обраних змінних;
 - наявність значення класифікуючої функції для кожної групи;
- метод k-найближчих сусідів:
 - наявність у системі файлу, що створюється після тренування відповідного класифікатора й містить серіалізований об'єкт разом із навчальними даними.

Якщо дозволяється використовувати нейронну мережу, вона є найпріоритетнішим класифікатором завдяки найвищій точності діагностування – близько 95%.

З метою підвищення точності діагностування враховуються персональні дані пацієнта згідно з рубрикаторм обстеження (далі – PO). PO враховує вид захворювання пацієнта, його стать, спосіб життя, вік, наявність звички до паління, сезон, у якому проводиться обстеження, час доби, коли проводиться обстеження, наявність фізичного навантаження. Отже, PO містить умови проведення експерименту й формалізовані персональні дані про обстежуваного. Шаблон рубрикатора має такий вигляд:

$$PO = \langle k_0 k_1 k_2 k_3 k_4 k_5 k_6 k_7 k_8 \rangle,$$

де $k_0 k_1$ – код апріорно відомого хронічного захворювання або групи захворювань ($k_0 k_1 = 00$ – здоровий); k_2 – стать (0 – чоловіча, 1 – жіноча); k_3 – наявність спортивного способу життя (0 – не займається спортом, 1 – займається); k_4 – вік (0 – до 14 років, 1 – з 14 до 25 років, 2 – з 25 до 40 років, 3 – з 40 до 65 років, 4 – старший за 65 років); k_5 – наявність звички до паління (0 – не палить, 1 – палить); k_6 – сезон (0 – літо, 1 – осінь, 2 – зима, 3 – весна); k_7 – час доби (0 – ранок, 1 – день, 2 – вечір); k_8 – наявність фізичного навантаження (0 – до навантаження, 1 – після навантаження).

Оскільки програмна система DiaSpectrEx має багату кількість користувачів, що працюють з однією базою даних програмної системи, є необхідність виконати її декомпозицію згідно з клієнт-серверною архітектурою. Для цього необхідно структурувати систему на належну кількість ярусів і розмістити їх один над одним. Основою системи є найнижчий ярус (Layer 1). Під час роботи йде просування вгору від ярусу J-1 до ярусу J,

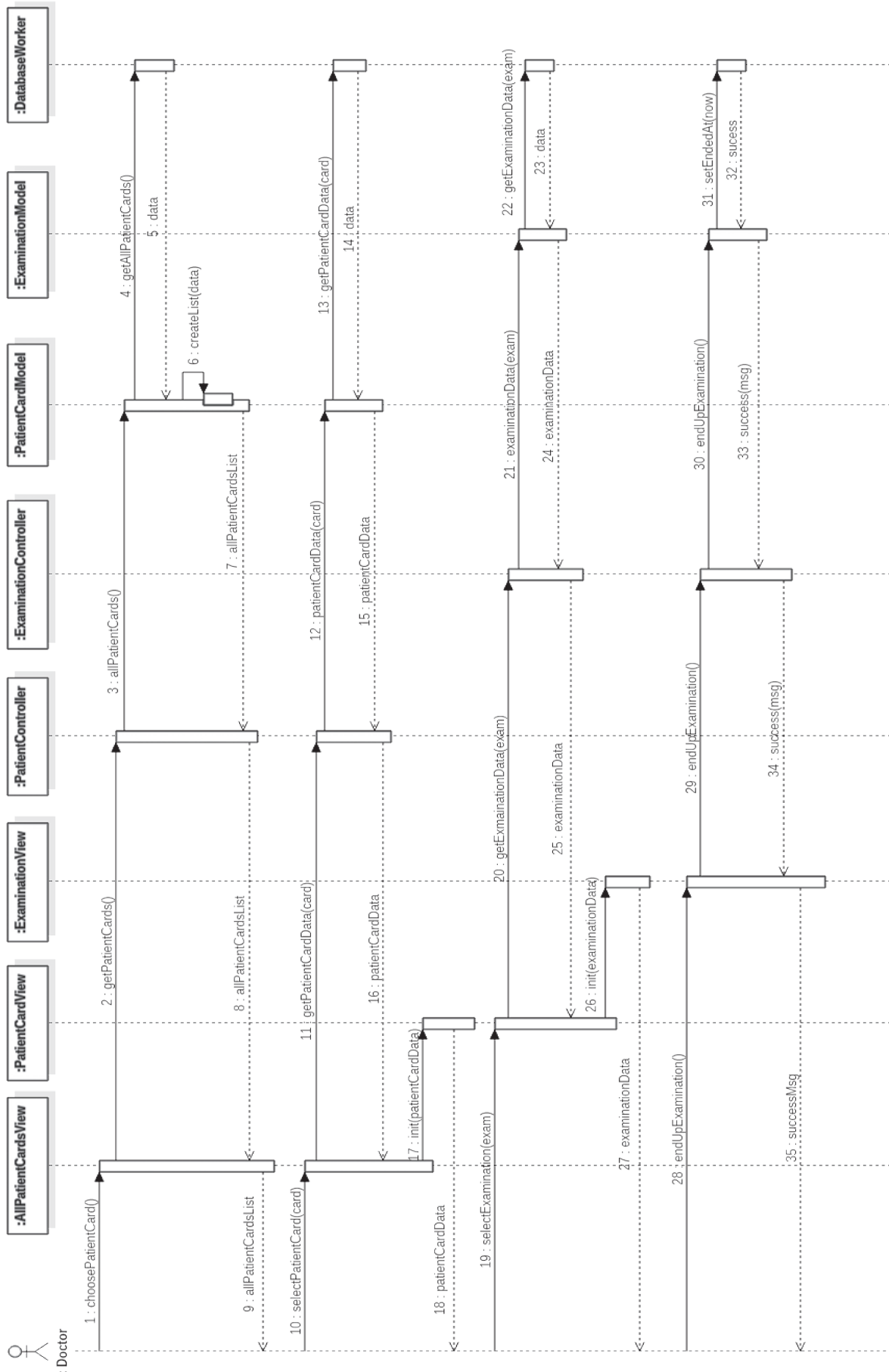


Рис. 2. Діаграма послідовностей прецеденту «Управління обстеженням»

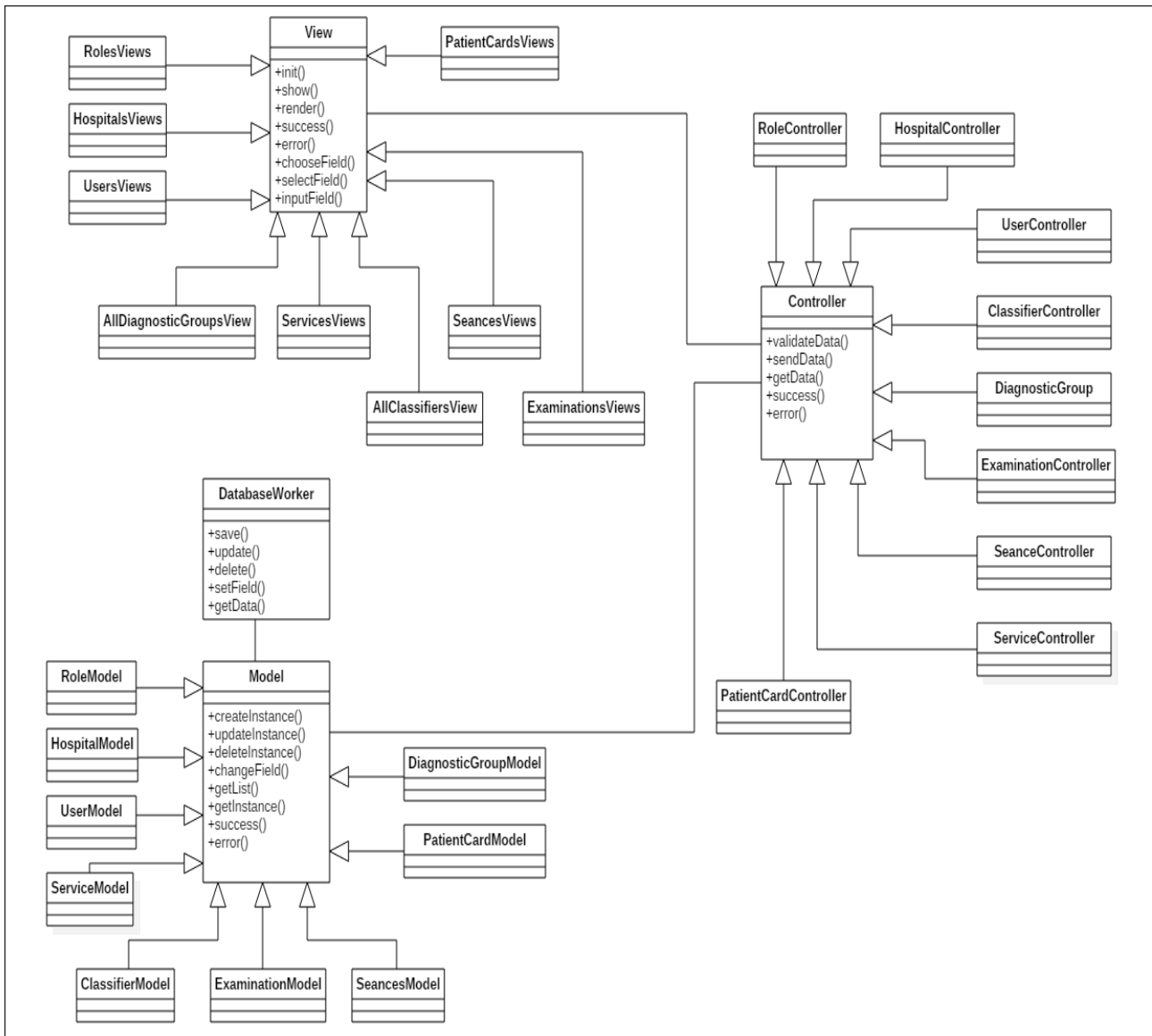


Рис. 3. Діаграма класів

доки не буде досягнуто верхнього рівня функціональності (Layer N).

Отримаємо такі яруси:

- ярус інтерфейсу користувача (відповідає за прийом запитів від користувача й демонстрацію йому результатів роботи програмної системи);
- ярус подання даних (виконує відправку даних і запитів клієнта на сервер, отримані результати передає інтерфейсу користувача);
- ярус сервера (приймає запити від ярусу подання даних, передає їх ярусу застосування логіки; отримані результати передає в ярус подання даних);
- ярус застосування логіки (відповідає за обробку даних, отриманих від ярусу сервера, на рівні бізнес-логіки програмного продукту, передачу йому результатів обробки).

Яруси розміщені один над одним. Основою системи є найнижчий ярус – ярус застосування логіки. Клієнт використовує ярус інтерфейсу користувача. Послуги кожного іншого ярусу використовує лише ярус, що знаходиться безпосередньо над ним.

У цьому випадку буде використана різновидність шаблону «Яруси» – клієнт-серверна архітектура. Архітектура клієнт-сервер є одним із архітектурних шаблонів програмного забезпечення, домінуючою концепцією у створенні розподілених мережових відношень і передбачає взаємодію та обмін даними між ними. Вона передбачає такі основні компоненти: набір серверів, які надають інформацію або інші послуги програмам, що звертаються до них; набір клієнтів, які використовують сервіси, що надаються

серверами; мережа, яка забезпечує взаємодію між клієнтами та серверами. Сервери є незалежними один від одного. Клієнти також функціонують паралельно й незалежно один від одного. Немає жорсткої прив'язки клієнтів до серверів. Більш ніж типовою є ситуація, коли один сервер одночасно обробляє запити від різних клієнтів; з іншого боку, клієнт може звертатися то до одного сервера, то до іншого. Клієнти мають знати про доступні сервери, але можуть не мати жодного уявлення про існування інших клієнтів. Ця система має тонкого клієнта, оскільки вся обробка інформації здійснюється сервером. Сервер посилає готовий результат, який не потребує додаткової обробки. Клієнт тільки веде діалог з користувачем: складає запит, відсилає запит, приймає запит і виводить інформацію на екран. Шаблон «Яруси» має декілька переваг: можливість повторного використання та швидкого внесення змін. Проте шаблон має й низку недоліків: каскади зміни поведінки (зміни в одному ярусі можуть спровокувати зміни в інших), низка ефективності (багаторівнева архітектура, як правило, є менш ефективною, ніж монолітна структура), непотрібні роботи (деякі сервіси, які виконуються в нижніх ярусах, дублюються, що може фактично не бути потрібно, це негативно впливає на продуктивність).

На рисунку 2 подано діаграму послідовностей для одного з найбільш важливих процесів – «Управління обстеженням».

Діаграма класів (рисунк 3) дещо нагадує шаблон проектування MVC і є більш доречним варіантом для створення програмного коду цієї системи.

Користувачський інтерфейс програмного продукту відображається у класах, що наслідують клас View. Класи інтерфейсу взаємодіють з класами контролерів відповідних сутностей, які є посередниками між відображенням і даними. Усі класи контролерів наслідують клас Controller. На діаграмі зображено класи моделей сутностей системи, які наслідують клас Model. Клас Model взаємодіє з класом DatabaseWorker, який проводить безпосередні операції з базою даних: додавання записів, їх оновлення та видалення.

Висновки. У роботі розглянуто особливості проектування автоматизованої системи пульмонологічного діагностування DiaSpectrEx. Наведено умови застосування діагностичних класифікаторів: «нейромережа», «статистичний класифікатор», «метод k-найближчих сусідів», комплексне використання яких показало високу точність і стабільність роботи web-застосування.

Під час розробки системи обрана архітектура системи «клієнт-сервер», що дало змогу розподілити бізнес-логіку програми і зняти навантаження із серверу. Програмною мовою серверу обрана PHP з використанням фреймворку Laravel для чіткої структуризації програмного коду серверу, програмною мовою клієнта – JavaScript у зв'язці з Vue.js. Також система тісно інтегрує з хмаровими сервісами Amazon Web Services.

Розроблений програмний продукт дає можливість автоматизувати процес роботи з медичними даними, які описують стан дихальної системи людини, і зробити процес діагностики більш легким і наочним.

Список літератури:

1. Cherniha K.S., Tymchenko B.I., Komleva N.O. Decision support System for Automated Medical Diagnostics. *Electrotechnic and Computer Systems*. 2016. No. 23(99). P. 65–72.
2. Ким Дж.-О., Мьюллер Ч.У., Клекка У.Р. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. Москва, 2009. 215 с.
3. Касюк С.Т. Первинний, кластерний, регресійний і дискримінальний аналіз даних спортивної медицини на комп'ютері: навч.-метод. посібник. Челябінськ, 2015. 160 с.
4. Комлева Н.О. Построение системы диагностических признаков с использованием метода дискриминантного анализа в офтальмологических исследованиях. *Радиоэлектронні і комп'ютерні системи*. 2010. Вип. 6 (47). С. 250–253.
5. Юнкеров В.І., Григор'єв С.Г. Математико-статистична обробка даних медичних досліджень. Санкт-Петербург, 2002. 266 с.
6. Крянев А.В., Лукін Г.В., Удумян Д.К. Метричний аналіз і обробка даних. Москва, 2012. 308 с.
7. Комлева Н.О., Комлевой О.М. Розробка інформаційної моделі діагностування стану дихальної системи. *Холодильна техніка і технологія*. 2011. Вип. 2 (130). С. 75–79.
8. Комлевая Н.О., Комлевой А.Н. Автоматизация диагностирования состояния дыхательной системы. Труды тринадцатой МНПК «СИЭТ-2012». Одесса, 2012. С. 55.
9. Комлевой О.М. Построение классификатора для диагностики состояния бронхо-легочной системы с использованием специализированной программы STATISTICA. Труды конференции «Медицина в XXI веке: Тенденции и перспективы». Казань, 2014. Т. 1. С. 102–104.

10. Плеханов А.В. Математико-статистичні методи обробки інформації з застосуванням програми SPSS: практикум. Санкт-Петербург, 2010. 96 с.
11. Кулаічев А.П. Методи і засоби аналізу даних в середовищі Windows. STADIA. Москва, 2009. 341 с.
12. Боровіков В.П. Популярне введення в сучасний аналіз даних в системі STATISTICA. Москва, 2013. 288 с.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МЕДИЦИНСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

В работе рассматриваются особенности проектирования web-приложения DiaSpectrEx, предназначенного для автоматизации проведения медицинского диагностирования дыхательной системы человека. DiaSpectrEx использует инновационную медицинскую методику, позволяющую сделать процесс диагностики безопасным для всех категорий обследуемых. Высокая точность результатов достигается благодаря использованию совокупности диагностических классификаторов: «нейросеть», «статистический классификатор», «метод k-ближайших соседей». Рассмотрены архитектурные особенности web-приложения DiaSpectrEx и приведены ключевые UML-диаграммы. Формализованы условия применения диагностических классификаторов.

Ключевые слова: диагностирование, проектирование web-приложения, классификация, нейросеть, статистические методы, UML-диаграммы.

FEATURES OF WEB-APPLICATION ENGINEERING FOR AUTOMATED MEDICAL DIAGNOSTICS

In this article, the features of engineering of web-application DiaSpectrEx are examined. DiaSpectrEx is intended for automating of medical diagnosis of the human respiratory system. DiaSpectrEx uses an innovative medical technique that makes it possible to do the diagnostic process safe for all categories of patients. High accuracy of results is achieved due to the use of a set of diagnostic classifiers: “neural network”, “statistical classifier”, “k-nearest neighbours” method. In this paper, the architectural features of the web-application DiaSpectrEx are examined and main UML diagrams are presented. The conditions of diagnostic classifiers using are formalized.

Key words: diagnostics, web-application engineering, classification, neural network, statistical methods, UML-diagrams.

Красников С.О.

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

АЛГОРИТМ НАЛАШТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ АЛГОРИТМУ ІМІТАЦІЙНОГО ВІДПАЛУ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ КОМІВОЯЖЕРА

Розглянуто важливість розв'язку задач комбінаторної оптимізації та описано три варіації алгоритму імітаційного відпалу для розв'язання задачі комівояжера. Запропоновано алгоритм налаштування параметрів для трьох реалізацій алгоритму імітаційного відпалу та проведено обчислювальний експеримент із його застосування. Отримані результати порівняно із випадком, коли параметри підбираються експертно. Показано, що застосування алгоритму налаштування параметрів в алгоритмі імітаційного відпалу підвищило його ефективність порівняно з експертним підбором параметрів.

Ключові слова: задача комівояжера, детермінований локальний пошук, алгоритм імітаційного відпалу, налаштування параметрів.

Постановка проблеми. У житті трапляється багато ситуацій, коли треба побудувати оптимальний шлях для проходження потрібних пунктів. Також задача оптимізації шляху для зварювання в електронних платах [1, с. 1]. Багато задач базується на розв'язанні задачі комівояжера. Так, у статті “Traveling Officer Problem: Managing Car Parking Violations Efficiently Using Sensor Data” сформульована задача офіцера, яка полягає в оптимізації обходу автомобільної стоянки для піймання порушника [2]. Ще одним прикладом є завдання пошуку оптимальних туристичних маршрутів, що описано в статті «Методика вирішення завдань пошуку оптимальних туристичних маршрутів алгоритмами наслідування мурашиної колонії» [3]. Інші можливі модифікації задачі комівояжера, як-от задача кур'єра, гамільтонівська задача про розміщення, наведені у роботі «Задача комівояжера» [4, с. 7–8]. Таким чином, модель задачі комівояжера має безпосереднє застосування та полігон для дослідження оптимізаційних задач.

Але задача комівояжера є NP-повною, що доведено в роботі “A short tour of combinatorial optimization and computational complexity” [5, с. 28–29] Для розв'язання задачі комівояжера використовується багато алгоритмів комбінаторної оптимізації. В роботі Л.Ф. Гуляницького і О.Ю. Мулеса [6, с. 23] надається класифікація основних наближених методів комбінаторної оптимізації. Серед таких алгоритмів можна виділити алгоритми стохастичного локального пошуку. Одним із відомих алгоритмів стохастичного локального пошуку є алгоритм імітаційного

відпалу. Розглянемо, які дослідження для цього алгоритму були опубліковані за останні 5 років.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Для дослідження алгоритму імітаційного відпалу було опубліковано багато статей. Проводився аналіз трудомісткості алгоритмічних підходів для розв'язування задачі комівояжера [7]. Іншим дослідженням було використання метаевристичних алгоритмів із метою мінімізації холостого шляху для ріжучого інструмента [8], серед яких використовується алгоритм імітаційного відпалу.

Але, на жаль, у цих статтях не описуються параметри для алгоритмів. А з наукових експериментів відомо, що результат алгоритму суттєво залежить від значення параметрів.

Постановка завдання. Основною метою статті є розробка алгоритму для налаштування параметрів алгоритму імітаційного відпалу для розв'язування задачі комівояжера. Також розглядаємо 3 варіації алгоритму імітаційного відпалу і за допомогою алгоритму підбираємо параметри.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Постановка задачі комівояжера

Дається множина n міст, відстань між якими відомі. Треба побудувати такий шлях обходження міст, щоб сумарна довжина маршруту була мінімальною [6, с. 13].

Математично задача описується таким чином. Є граф $G=(V, E)$ де V – множина міст, які отождноються між містами, E – множина ребер, d_{ij} – довжина шляху $e_{ij} \in E$. Необхідно знайти гамільтонів цикл мінімальної довжини [6, с. 14].

Розв'язок задачі комівояжера може бути подано як послідовність обходу міст $P = (p_1, \dots, p_n)$. Також

для утворення гамільтонового циклу додатково ставиться умова $p_{n+1} = p_1$. Тоді цільова функція буде виглядати таким чином:

$$\sum_{i=1}^n d_{p_i, p_{i+1}} \rightarrow \min$$

Стохастичний локальний пошук

Алгоритми стохастичного локального пошуку належить до класу метаевристичних ітераційного типу. Основною відмінністю порівняно з детермінованим локальним пошуком є введення нової функції – імовірність прийняття розв’язку, що гірше від поточного розв’язку. Загальна схема стохастичного локального пошуку виглядає таким чином [6, с. 51]:

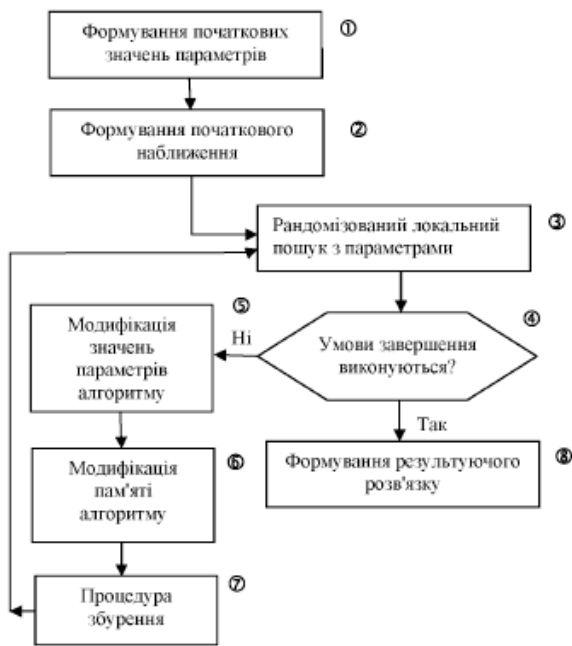


Рис. 1. Загальна схема стохастичного локального пошуку

Одним із найвідоміших алгоритмів стохастичного локального пошуку є алгоритм імітаційного відпаду. Його псевдокод виглядає таким чином:

```

procedure findSolutionWithSAAlgorithm( $x_{parent}, T_0$ )
begin
 $T_{current} = T_0$ 
 $x_{best} = x_{parent}$ ;
 $f_{best} = f_{parent}$ ;
while (не виконується умова закінчення роботи алгоритму) do
while (не виконується умова рівноваги) do
 $x_{child} = \text{ЗгенеруватиСусіда}(x_{parent})$ ;
 $\Delta = (f_{child} - f_{parent}) / f_{parent}$ ;
if ( $\Delta < 0$ ) then
 $x_{parent} = x_{child}$ ;
 $f_{parent} = f_{child}$ ;

```

```

if ( $f_{best} > f_{child}$ ) then
 $x_{best} = x_{child}$ ;
 $f_{best} = f_{child}$ ;
end
end
else
p = Наяти вероятність переходу ( $T_{current}$ );
 $\xi = \text{rand}[0, 1)$ ;
if ( $p \geq \xi$ ) then
 $x_{parent} = x_{child}$ ;
 $f_{parent} = f_{child}$ ;
end
end
end
 $T_{current} = \text{ЗменшитиТемпературу}(T_{current})$ ;
end
return  $x_{best}$ 
end

```

де x – шлях, f – довжина шляху.
 Ключовими аспектами для цього алгоритму є:
 – умова закінчення алгоритму;
 – умова досягнення умови рівноваги;
 – вибір початкової температури;
 – спосіб за яким зменшується температура;
 – спосіб генерації сусідів.

Для дослідження умовою дослідження алгоритму є досягнення поточної температури $T_{current}$ мінімального значення T_{min} або коли був здійснений обхід усіх сусідів для шляху x_{parent} . Як умова рівноваги розглядаються три варіанти:

- за визначеною кількістю ітерацій наведений як приклад у роботі «Metaheuristic From Design to implementation» [9, с. 128];
- за визначеною кількістю переходів;
- за метод прогонів та переходів, наведений у роботі Л.Ф. Гуляницького і О.Ю. Мулеса [6, с. 58].

Спосіб, за яким зменшується температура, є геометричне зменшення:

$$T = \alpha \times T$$

де α – коефіцієнт зменшення температури.
 Як спосіб генерації сусідів використовується оператор 2 заміна, який детально описаний у роботі «Metaheuristic From Design to implementation» [9, с. 91].

Бачимо, що для алгоритму імітації відпаду є достатня кількість параметрів. Загальними для трьох умов рівноваги є початкова температура, коефіцієнт зменшення температури та мінімальна температура.

Для кожної умови рівноваги додаткові параметри до загальних є:

- за визначеною кількістю ітерацій: кількість ітерацій;

– за визначеною кількістю переходів: кількість переходів;

– за метод прогонів та переходів: кількість переходів та мінімальне порівняне відхилення прогонів.

Для налаштування параметрів алгоритму відпалу сформулюємо і розв’яжемо задачу знаходження оптимальних параметрів в обмеженій решітці.

Механізм підбору параметрів

Маємо n параметрів. Введемо вектор параметрів $X=(x_1, \dots, x_n)$. Також для кожного параметру задається мінімальне $X_{\min} = (x_{1\min}, \dots, x_{n\min})$, максимальне $X_{\max} = (x_{1\max}, \dots, x_{n\max})$ значення для кожного параметра та дискрет для кожного параметра $\Delta X_{\min} = (\Delta x_1, \dots, \Delta x_n)$. Ці параметри використовуємо при розв’язуванні задачі комівояжера алгоритмом імітаційного відпалу SA з відповідною умовою рівноваги з початковими шляхами для задачі $R = (r_1, r_2, r_3)$.

Знаходимо довжину для кожного кращого шляху $R_{\text{best}} = (r_{1\text{best}}, r_{2\text{best}}, r_{3\text{best}})$ за допомогою алгоритму $L_{\text{best}} = (l_{1\text{best}}, l_{2\text{best}}, l_{3\text{best}})$. Після чого знаходимо середню довжину L_{average} . Результат описаного процесу знаходження кращого шляху та довжину шляхів позначимо як $F(r_1, r_2, r_3, X)$. Тоді задача налаштування параметрів виглядає так:

$$F(r_1, r_2, r_3, X) \rightarrow \min$$

Дискрет відіграє важливу роль і визначає точність, з якою треба знайти значення параметрів. Окрім цього, важливо підібрати початкові параметри для алгоритму. Наприклад, можна використати середні значення параметрів алгоритмів імітаційного відпалу.

Зміна параметрів у решітці відбувається в одиничному околі шляхом зменшення або збільшення значення компоненти на величину дискрета (якщо це можливо).

Для налаштування параметрів алгоритму імітаційного відпалу використовується детермінований локальний пошук, який описує у праці І.В. Сергієнко [10, с. 100–101].

Псевдокод алгоритму налаштування параметрів виглядає таким чином:

```

Procedure алгоритмПідборуПараметрів(SA, X, R)
begin
  Xparent = X;
  Xbest = X;
  Lbest average = ∞;
  while (не пройдені усі можливі варіанти зміни параметрів X) do
    Xchild = ЗгенеруватиНовіЗначенняПараметру(Xparent);
    Знайти Rbest використовуючи SA з параметрами Xchild;
    Знайти довжини Rbest;
    Знайти середню довжину Laverage;
    If (Lbest average > Laverage) then
      Xbest = Xchild;
      Xparent = Xchild;
      Lbest average = Laverage;
    end
  end
  return Xbest;
end
    
```

Розглянемо отримані за допомогою цього алгоритму результати.

Експериментальні результати дослідження

Для експерименту налаштування параметрів алгоритму будемо робити за допомогою задачі eil101.tsp (101 місто), взятої з бібліотеки задач TSPLIB [11]. Для цієї задачі згенеровано 5 початкових шляхів.

Для того щоб порівняти результати програмного налаштування, використаємо результати, отримані експертним шляхом. Для цього використовуємо Microsoft Excel. Оформляємо таблицю таким чином:

Таблиця 1

Фрагмент таблиці для експертного прийняття рішення щодо вибору параметру

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	№ R	T begin	α	N ітерацій	T min	Length R best	Мат Ожидание	Дисперсия	Стандартное отклонение
2	1	7	0,99	4697	0,01	2214			
3	2	7	0,99	4697	0,01	2091			
4	3	7	0,99	4697	0,01	2184			
5	4	7	0,99	4697	0,01	2137			
6	5	7	0,99	4697	0,01	2192	2163,6	2435,3	49,34875885
7	1	7	0,99	4697	0,009	2159			
8	2	7	0,99	4697	0,009	2119			
9	3	7	0,99	4697	0,009	2062			
10	4	7	0,99	4697	0,009	2013			
11	5	7	0,99	4697	0,009	2096	2089,8	3087,7	55,56707658

Порівняння результатів алгоритму та експертного підбору

Параметр	SA з ітераціями		SA з переходами		SA з прогонами та переходами	
	Алгоритм	Експерт	Алгоритм	Експерт	Алгоритм	Експерт
T begin	6.5	7	5.5	9	6	2
α	0.99	0.99	0.98	0.99	0.97	0.98
T min	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Param 1*	4701	4701	650	900	650	1000
Param 2*	-	-	-	-	0.009	0.003
Average Length	638.3333	645.8	629	629.4	629	629
Time finding	1m 44s	-	2m 35s	-	5m 53s	-

*Примітка: в якості Param 1 для SA з ітераціями це кількість ітерацій при одному значенні температури, для SA з переходами та SA з прогонами та переходами це кількість переходів, Param 2 – порівняна похибка прогонів.

Математичне сподівання вираховується як середнє значення від довжин знайдених шляхів. Дисперсія в Excel знаходиться за допомогою функції ДИСП.В, а стандартне відхилення – СТАНДОТКЛОН.В.

Після цього змінюємо один параметр, фіксуємо значення інших параметрів. Запускаємо алгоритм із відповідними параметрами і після цього обираємо найкращий параметр. Важливими критеріями для вибору параметру є математичне сподівання та дисперсія. Обираються параметри таким чином, щоб були кращими. Після цього найкраще значення параметру використовується в подальшій зміні інших параметрів по черзі, доки не визначимо найкращі параметри.

Програмний комплекс для налаштування параметрів був мовою Java.

Запускались алгоритм імітації відпалу та алгоритм налаштування параметрів ноутбука ASUS S56C із процесором Intel Core i5-3317U 1.7ГГц (розганяється до 2.5ГГц), 2 ядра, 4 потоки, оперативна пам'ять 8ГБ.

Для експериментального запуску алгоритму підбору параметрів використовуються такі межі значень алгоритмів:

- початкова температура T begin: від 1 до 10 з кроком 0.5;
- коефіцієнт зміни температури α : від 0.9 до 0.99 з кроком 0.01;

– мінімальне значення температури T min: від 0.001 до 0.01 з кроком 0.001;

– кількість ітерацій: від 55% від кількості сусідів для шляху для 100% з кроком 5%;

– кількість переходів: від 100 до 1 000 з кроком 50;

– порівняна похибка прогонів: від 0.001 до 0.01 з кроком 0.001.

У результаті отримуємо результати, наведені в таблиці 2, де SA – це алгоритм імітаційного відпалу.

Як ми бачимо, середня довжина шляху знайдена за допомогою алгоритму, це кращі ніж використовувати експертний підхід. Також це відбувається швидше і не потребує наявності експертів. Різний час для варіацій алгоритму імітації відпалу пояснюється часом виконання алгоритму з умовою рівноваги.

Висновки. У результаті проведеного дослідження розроблено спеціальний алгоритм налаштування параметрів алгоритму імітації відпалу, проведено експериментальні та експертні випробування для визначення найкращих параметрів задачі комівояжера. В подальшому планується розширити коло задач для дослідження алгоритму, налаштування інших алгоритмів комбінаторної оптимізації (наприклад G-алгоритм, генетичний алгоритм) за допомогою наведеного алгоритму та застосувати цей підхід до інших задач комбінаторної оптимізації.

Список літератури:

1. Meneses S., Cueva R., Tupia M., Guanira M. A genetic algorithm to solve 3D traveling salesman problem with initial population based on a GRASP algorithm. Journal of Computational Methods in Sciences and Engineering. 2017. Vol. 17, no. S1. Pp. S1–S10.
2. Shao W., Salim F. D., Gu T., Dinh N.-T., Chan J. Traveling Officer Problem: Managing Car Parking Violations Efficiently Using Sensor Data. IEEE Internet of Things Journal. 2018. Vol. 5. Issue 2. April. P. 802–810.
3. Литвин В.В., Угрин Д.І. Методика вирішення завдань пошуку оптимальних туристичних маршрутів алгоритмами наслідування мурашиної колонії. Вестник НТУ «ХПІ». 2016. № 21 (1193). С. 48–60.
4. Меламед И.И., Сергеев С.И., Сигал И.Х. Задача коммивояжера. Вопросы теории. Автоматика и телемеханика. 1989. № 9. С. 3–33.

5. Mauricio G.C. Resende, Celso C. Ribeiro. A short tour of combinatorial optimization and computational complexity. Optimization by GRASP, 2016. С. 13–39.
6. Гуляницький Л.Ф., Мулеса О.Ю. Прикладні методи комбінаторної оптимізації. К.: Київський університет ВПІ, 2016. 146 с.
7. Семенов С.С., Педан А.В., Воловиков В.С., Климов И.С. Анализ трудоемкости различных алгоритмических подходов для решения задачи коммивояжера. Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 1. С. 116–131.
8. Мурзакаев Р.Т., Шилов В.С., Бурылов А.В. Применение метаэвристических алгоритмов для минимизации длины холостого хода режущего инструмента, Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2015. С. 123–136.
9. Talbi El-Ghazali Metaheuristic From Design to implementation. Wiley, 2009. 618 с.
10. Сергиенко И.В. Математические модели и методы решения задач дискретной оптимизации. Киев: Наукова думка, 1988. 472 с.
11. TSPLIB – IWR, Heidelberg – Uni Heidelberg. URL: <https://www.iwr.uni-heidelberg.de/groups/comopt/software/TSPLIB95/> (дата звернення 20.09.2018).

АЛГОРИТМ НАСТРОЙКИ ПАРАМЕТРОВ АЛГОРИТМА ИМИТАЦИОННОГО ОТЖИГА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КОММИВОЯЖЁРА

Рассмотрена важность решения задач комбинаторной оптимизации и описаны три вариации алгоритма имитационного отжига для решения задачи коммивояжера. Предложен алгоритм настройки параметров для трех реализаций алгоритма имитационного отжига и проведён вычислительный эксперимент по его применению. Полученные результаты сравнены со случаем, когда параметры подбираются с помощью эксперта. Показано, что применение алгоритма настройки параметров в алгоритме имитационного отжига повысило его эффективность по сравнению с экспертным подбором параметров.

Ключевые слова: задача коммивояжера, детерминированный локальный поиск, алгоритм имитационного отжига, настройки параметров.

ALGORITHM FOR ADJUSTING THE PARAMETERS OF THE SIMULATED ANNEALING ALGORITHM FOR SOLVING THE TRAVELING SALESMAN PROBLEM

The importance of the solution of problems of combinatorial optimization is considered and three variations of the simulated annealing algorithm for solving the traveling salesman problem are described. The algorithm of setting parameters for the three realizations of the simulated annealing algorithm is proposed and a computational experiment was conducted on its application. The obtained results are compared with the case when the parameters are selected expertly. It is shown that the application of parameter adjustment algorithm in simulation annealing algorithm has increased its efficiency in comparison with the expert selection of parameters.

Key words: traveling salesman problem, deterministic local search, algorithm for simulation annealing, setting options.

УДК 004.7:654.195.6

Лазебний В.С.

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

Інь Ченлян

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

Омельянець О.О.

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

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕАЛЬНОЇ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ БЕЗПРОВОДОВОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ СПЕЦИФІКАЦІЇ IEEE 802.11n

У статті наведено результати досліджень реальної пропускної спроможності безпроводової інформаційної мережі специфікації IEEE 802.11n для режимів функціонування з радіоканалами 20 МГц та 40 МГц. Експериментально досліджено пропускну здатність мережі з 2, 4 та 6 активними станціями, що функціонують у насиченому режимі. Проаналізовано вплив інших безпроводових мереж Wi-Fi, зона покриття яких перекривається зоною покриття досліджуваної мережі. Для зазначеного аналізу зроблено моделювання процесу функціонування безпроводового каналу засобами програмного комплексу ADS. Наведено графіки деградації пропускної здатності, обумовленої завадами в радіоканалі. Зазначено особливі умови користування каналом безпроводової мережі поблизу межі зон покриття двох безпроводових мереж IEEE 802.11.

Ключові слова: безпроводовий канал, інформаційна мережа, насичений режим, пропускна спроможність, радіозавади, Wi-Fi.

Постановка проблеми. Безпроводові локальні інформаційні мережі стандарту IEEE 802.11 знайшли широке застосування. Wi-Fi Alliance протягом тривалого часу здійснював удосконалення технології функціонування таких мереж, що призвело до значного поліпшення параметрів і характеристик мереж, у порівнянні з першою версією стандарту [1; 2]. У користувачів є велика кількість обладнання, що функціонує за застарілими специфікаціями 802.11b/a/g. Натепер найбільш поширеним є обладнання специфікацій 802.11n/ac. Для забезпечення якісного надання мультимедійних послуг (телефонія, відеоконференції, IP-телебачення) у багатьох точках доступу реалізовано процедуру пріоритизації трафіка, згідно зі специфікацією 802.11e.

Теоретично швидкість передавання даних у безпроводових мережах зросла від 11 Мб/с (специфікація 802.11b) до 6 Гб/с (специфікація 802.11ac), проте реальна швидкість передавання суттєво відривається від наведених вище значень.

Це зумовлено кількома чинниками. Перш за все, наведені в специфікаціях граничні значення

пропускної здатності характеризують процес передавання інформації за ідеальних умов, під час передавання інформаційного блоку без урахування непродуктивних витрат часу для передавання службової інформації. Іншим чинником, що призводить до зменшення пропускної здатності безпроводової мережі, є наявність у радіоканалі шумів та завад від інших мереж і технічних засобів. Крім того, варто враховувати, що всі абоненти безпроводової мережі користуються одним радіоканалом. Оскільки основною технологією доступу до радіоканалу є технологія конкурентного доступу, це призводить до додаткового зменшення пропускної здатності, через виникнення колізій та повторне передавання окремих кадрів. У разі застосування централізованої функції координації, значне зменшення пропускної здатності безпроводового каналу має місце з причини непродуктивних витрат часу на службову інформацію та технологічні затримки часу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За оцінками дослідників реальної пропускної здатності, вона не перевищує половини задекларова-

ного в специфікації максимального значення, а здебільшого навіть за сприятливих умов – набагато менше [3; 4].

Нами обґрунтовано розрахункові співвідношення для оцінювання пропускної здатності каналу передавання даних безпроводової інформаційної мережі [5; 6], але правильність цих співвідношень необхідно перевірити експериментально.

Постановка завдання. Метою досліджень, наведених у цій статті, є практично перевірити реальну пропускну здатність каналу передавання даних безпроводової мережі стандарту 802.11n та оцінити вплив радіозавад на пропускну здатність каналу.

Виклад основного матеріалу дослідження. В експериментах використано від двох до шести абонентських станцій, а саме: використано 2 стаціонарних комп'ютери з Wi-Fi адаптерами стандарту IEEE802.11n та 4 ноутбуки, два з яких обладнані двома вбудованими антенами і два – однією. Для з'ясування пропускної здатності мережі в насиченому режимі здійснювали передавання великих файлів від однієї станції мережі до іншої. Для цього на трьох станціях мережі створили мережні теки загального доступу.

Схему здійснення експериментів наведено на рис. 1.

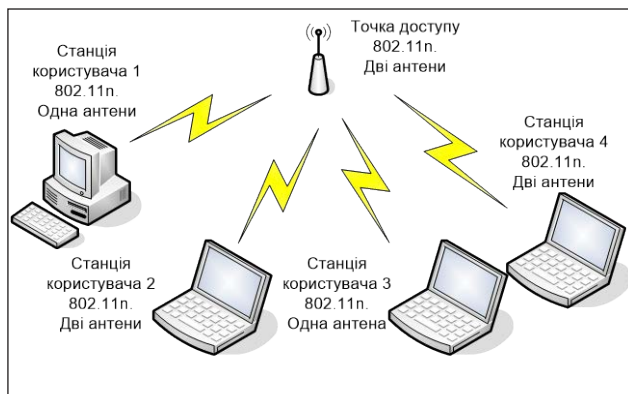


Рис. 1. Схема експериментальної безпроводової мережі IEEE802.11n

Пропускную здатність мережі оцінювали за часом передавання корисної інформації (файлів великого розміру: 120,851 МБ, 256,9 МБ, 836,567 МБ) від однієї станції до іншої. Наявне для експерименту обладнання дало змогу визначити швидкість передавання корисної інформації для режимів:

- 1) ширина смуги радіоканалу 20 МГц, один просторовий потік, швидкість з'єднання 72 Мб/с;
- 2) ширина смуги радіоканалу 20 МГц, два просторових канали, швидкість з'єднання 144 Мб/с;
- 3) ширина смуги радіоканалу 40 МГц, один просторовий канал, швидкість з'єднання 150 Мб/с.

Для експерименту підготовлено файли archive.zip розміром 120,851 МБ, файл concert_1.mp4 (256,9 МБ) та файл concert_2.mp4 (836,567 МБ).

Під час перевірки пропускної здатності мережі, за умови наявності двох насичених станцій, здійснювали передавання файлів різної величини між двома станціями безпроводової мережі у різних комбінаціях. Під час такого передавання канал розподіляється між двома процесами – передавання від джерела інформації до точки доступу і передавання від точки доступу до адресата. Обидва процеси безперервно передають кадри даних з однаковою інтенсивністю.

Час передавання певного із зазначених вище кадрів у кожному окремому експерименті відрізнявся. Так, під час десяти актів передавання файлу concert_1.mp4 у режимі з'єднання зі швидкістю 150 Мб/с (ширина частотної смуги 40 МГц), тривалість інтервалу передавання змінювалась від 37,3 с до 44 с. Більшість інтервалів знаходилась у межах 37,3–37,6 с. Розбіжність тривалості інтервалів зумовлена конкурентним доступом до каналу та випадковими чинниками. Усереднене значення пропускної здатності становить 54,805 Мб/с.

Під час десяти актів передавання файлу concert_2.mp4 у тому ж режимі тривалість інтервалу передавання змінювалась від 118 до 130 с. Переважна тривалість інтервалів була у межах від 118 до 123 с. Усереднене значення пропускної здатності становить 54,856 Мб/с.

Усереднене значення пропускної здатності під час передавання файлу archive.zip розміром 120,851 МБ становило 54,442 Мб/с.

Перевірку пропускної здатності для режиму зі швидкістю з'єднання 150 Мб/с, в разі наявності в мережі чотирьох насичених станцій здійснювали за схемою, в якій дві станції одночасно передають однакові файли кожна своєму абоненту мережі. У процесі експериментів інтервал передавання файлу кожної станції був відмінний від іншої станції. Розрахунок здійснювали за часом найменшого інтервалу, який знадобився першій станції, що завершила передавання файлу. Обсяги інформації, передані іншими станціями, враховували фіксацією частки переданого файлу на момент завершення передавання першою станцією. Максимальне значення пропускної здатності безпроводової мережі з чотирма насиченими станціями, якого вдалось досягти під час експерименту, становило 53,34 Мб/с. Варто зазначити, що через наявність колізій у каналі, а також через вплив завад від суміжних каналів (інших мереж) точка доступу переходить на інший режим передавання, що призводить

до зменшення пропускної здатності каналу. Так, під час експериментів пропускна здатність мережі з адаптивним вибором частотної смуги й чотирма насиченими станціями, за умов наявності в зоні експерименту інших безпроводових мереж, змінювалась від 9,1 Мб/с до 53,34 Мб/с. Найбільш часто під час експериментів пропускна здатність мережі набувала значень у межах від 22,218 Мб/с до 33,338 Мб/с. Такі значення пропускної здатності свідчать про те, що основним режимом функціонування мережі є режим з одним просторовим каналом і шириною частотної смуги радіоканалу 20 МГц.

Під час визначення пропускної здатності мережі з шістьма насиченими станціями із застосуванням файлу concert_2.mp4 (836,567 МБ) найменший час передавання становив 3 хв. 34 с, а найбільший – 17 хв. 55 с. Пропускна здатність мережі за цих умов змінювалась, відповідно, від 50,676 Мб/с до 10,478 Мб/с.

Для оцінювання отриманих результатів можна скористатись теоретичними розрахунками, наведеними в роботі Ін Ченляна, В.С. Лазебного [6]. Графіки розрахункової пропускної здатності безпроводової мережі, з урахуванням колізій і кількості насичених станцій, наведено на рис.2. Під час аналізу експериментальних даних та прогнозованих значень пропускної здатності треба також враховувати, що величина корисного навантаження в одному кадрі становила 1404 байти. Порівняння отриманих значень пропускної здатності з прогнозованими значеннями, рис. 2–3, свідчить про їх хорошу відповідність. Це, своєю чергою, свідчить про те, що запропонована методика і розрахункові співвідношення для оцінювання пропускної здатності безпроводової мережі з конкурентним режимом доступу [5; 6] враховує процеси в реальній мережі і дає хороший збіг розрахункових та експериментальних значень. Пунктиром на рис. 3 наведено максимально можливі значення пропускної здатності без урахування колізій і повторного передавання окремих пакетів.

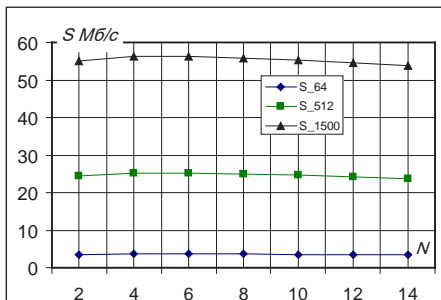


Рис. 2. Графік прогнозованої пропускної здатності мережі 802.11n в режимі зі швидкістю з'єднання 150 Мб/с у частотній смузі 40 МГц

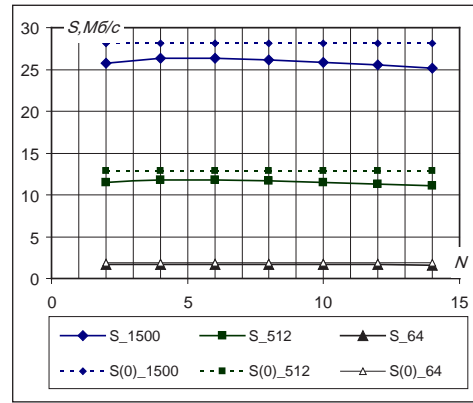


Рис. 3. Графік прогнозованої пропускної здатності мережі 802.11n в режимі зі швидкістю з'єднання 72 Мб/с у частотній смузі 20 МГц [6]

Для характеристики пропускної здатності безпроводової мережі доцільно застосувати коефіцієнт корисного навантаження (ккн).

Цей коефіцієнт можна визначити як відношення інтенсивності передавання корисної інформації до системної швидкості з'єднання. Так, за результатами здійснених досліджень за сприятливих умов для режиму 40 МГц, 150 Мб/с $k_{кн} = 0,366$, а для режиму 20 МГц, 72 Мб/с $k_{кн} = 0,308$.

Розглянемо тепер вплив інших мереж Wi-Fi на роботу цієї мережі. Як відомо, у діапазоні 2,4 ГГц для технології Wi-Fi на території європейських країн передбачено використовувати 13 радіоканалів (1–13 канали) завширшки 22 МГц. Розподіл спектра і значення граничних частот наведено на рис. 2 та в табл. 1 [7].

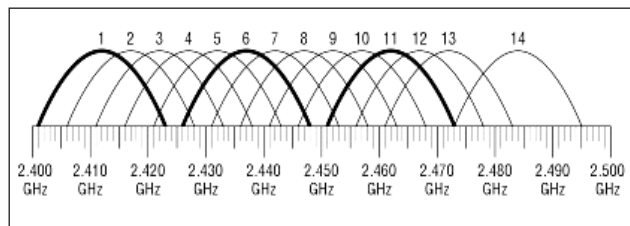


Рис. 2. Розподіл спектра діапазону 2,4 ГГц для системи Wi-Fi

Для визначення впливу сусідніх мереж визначимо вплив завад на виникнення спотворених кадрів даних у каналі передавання і проаналізуємо рівень завад, який створюють мережі з робочими частотними смугами, що перекриваються зі смугою цієї мережі.

Вплив завад на процес передавання інформаційного потоку проаналізовано засобами моделювання системи ADS (Advanced Design System).

Таблиця 1
**Параметри частотних смуг Wi-Fi
 в діапазоні 2,4 ГГц**

Канал Wi-Fi	Нижня частота	Центральна частота	Верхня частота
1	2.401	2.412	2.423
2	2.406	2.417	2.428
3	2.411	2.422	2.433
4	2.416	2.427	2.438
5	2.421	2.432	2.443
6	2.426	2.437	2.448
7	2.431	2.442	2.453
8	2.436	2.447	2.458
9	2.441	2.452	2.463
10	2.446	2.457	2.468
11	2.451	2.462	2.473
12	2.456	2.467	2.478
13	2.461	2.472	2.483

Моделювання зроблено для режиму передавання з MCS 7, тобто модуляція 64-QAM, швидкість завадостійкого коду $R=5/6$, для кадрів із корисним навантаженням $PL=1500$. Результати моделювання наведено на рис. 3.

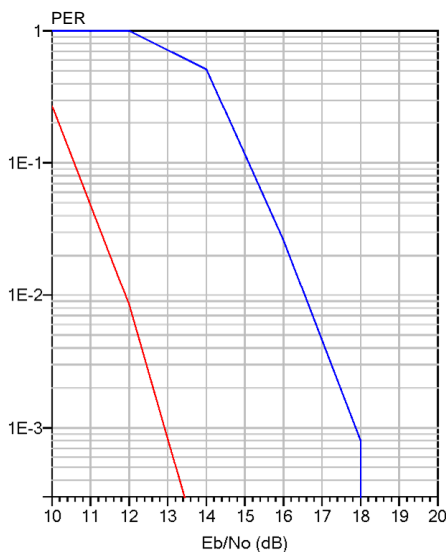


Рис. 3. Графік залежності коефіцієнта помилкових пакетів від відношення сигнал-шум

Ліва крива на графіку характеризує процес передавання в режимі MCS 3 (16-QAM, $R=1/2$), права крива – в режимі MCS 7 (64-QAM, $R=5/6$). Дві криві наведено для порівняння впливу завад, залежно від способу модуляції та кодування.

Оцінімо, як впливають втрачені через завади пакети на пропускну здатність каналу. Зауважимо, що в разі втрати пакета відбувається його повторне передавання із застосуванням механізму подолання колізії для станції, пакет якої був спо-

творений у каналі. Сам коефіцієнт спотворених пакетів PER, згідно зі способом його визначення, можна розглядати як ймовірність виникнення спотвореного кадру даних у каналі передавання через наявність завад.

Таким чином, для визначення пропускну здатності каналу із завадами і оцінювання впливу завад на пропуску здатність, можна застосувати раніше запропоновані співвідношення [6] зі заміною ймовірності колізій (p_c) на ймовірність спотворення кадру, внаслідок колізії або впливу завад:

$$p_{ef} = p_c + PER, \tag{1}$$

Саму пропуску здатність можна обчислити за формулою [6]:

$$S = \frac{N \cdot E[PL_1] \cdot P_s}{T_{VCW}}, \tag{2}$$

де N – кількість активних станцій у безпроводовій мережі, $E[PL_1]$ – усереднене корисне навантаження одного кадру, P_s – ймовірність успішного передавання кадру даних, T_{VCW} – тривалість реалізації віртуального конкурентного вікна.

Величину T_{VCW} з урахуванням завад треба обчислювати за співвідношенням:

$$T_{VCW} = N \cdot T_{PL} + N \cdot PER \cdot (T_{PL} + T_c) + n_c T_c + \sigma \cdot VCW, \tag{3}$$

де T_{PL} – час безпосереднього передавання кадру даних, T_c – тривалість інтервалу колізії, що має місце під час передавання кадру RTS, n_c – кількість колізій за час реалізації конкурентного вікна, σ – тривалість системного часового слота, VCW – числове значення віртуального конкурентного вікна.

Результати розрахунків пропускну здатності S1 безпроводового каналу мережі 802.11n за наявності завад наведено на рис. 4.

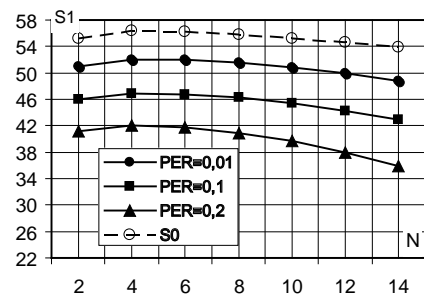


Рис. 4. Графіки залежності пропускну здатності безпроводового каналу IEEE802.11n

На рис. 4 зображено графіки пропускну здатності, що відповідають графіку помилкових бітів, наведеному на рис. 3. Перший графік характеризує пропуску здатність мережі, коли відношення сигнал-шум $E_b / N_0 = 16,5$ дБ ($PER=0,01$), другий графік – $E_b / N_0 = 15$ ($PER=0,1$), третій графік –

$E_b / N_0 = 14,6$ ($PER=0,2$). У разі, коли $E_b / N_0 < 14$ дБ, передавання сигналу в режимі з MCS 7 взагалі стає неможливим, але можлива надійна робота в режимі з MCS 3 із максимальною швидкістю передавання до 33 Мб/с.

Проаналізуємо тепер питання стосовно того, за яких умов варто очікувати рівень сигнал-шум, розглянутий вище. Для цього розглянемо сюжет, за якого на певній відстані (кілька десятків метрів) від цієї точки доступу, ТД1, знаходиться інша точка доступу (ТД), що функціонує в тому самому частотному діапазоні 2,4 ГГц. Нехай ТД1 функціонує в частотному каналі 1 (рис. 2), а ТД2 функціонує в частотному каналі 3. Згідно з наведеною на рис. 2 діаграмою, частотні смуги каналів 1 і 3 перекриваються на половину частотної смуги. З урахуванням того, що модуляція OFDM формує шумоподібний спектр із квазірівномірним спектральним розподілом, у разі однакової випромінюваної потужності та ізотропного випромінювання антенами обох точок доступу на однаковій відстані від цих точок доступу, для станції першої мережі відношення сигнал шум становитиме 3 дБ і, навпаки.

Визначимо, на скільки треба зменшитись у бік ТД1, щоб відношення сигнал-завада було більше за 14–17 дБ, і можна було користуватись мережею з високою швидкістю передавання сигналу. Для вирішення цього питання без урахування додаткових перешкод (будівельні конструкції, меблі, люди тощо) можна скористатись загальновідомим співвідношенням для визначення загасання електромагнітних хвиль у вільному просторі, а саме:

$$L, \text{ дБ} = 20 \lg(4\pi df/c), \quad (4)$$

де d – відстань, яку долає хвиля (м), f – частота (2,4–109 Гц), c – швидкість світла (м/с).

Щоб досягти різниці рівнів сигналів від двох точок доступу в 17 дБ (з урахуванням 3 дБ ослаблення завади, за рахунок зміщення частотних смуг), за їх однакової потужності випромінювання, необхідно, щоб різниця ходу електромагнітних хвиль становила 25 см. Тобто, за умов наявності іншої точки доступу, робоча частотна смуга якої частково перекривається з частотною смугою точки доступу основної безпроводової

мережі, для станції, що знаходиться приблизно на однаковій відстані від точок доступу різних мереж, виникають умови, за яких навіть за незначного переміщення пропускна здатність безпроводового каналу може змінюватись від максимальної до повної її відсутності.

Під час планування безпроводової мережі треба враховувати, що для забезпечення певного рівня пропускної здатності каналу треба забезпечити певний мінімальний рівень сигналу на вході приймача. Для максимальної швидкості передавання у мережі 802.11n треба, щоб потужність на вході приймача була не менше «мінус»64 дБм.

Висновки.

1. Максимальна пропускна здатність інформаційного каналу безпроводової мережі IEEE802.11n в режимі функціонування зі швидкістю з'єднання 150 Мб/с не перевищує 57 Мб/с. Коефіцієнт корисного навантаження ккн для мережі з одним просторовим каналом знаходиться в межах 0,3–0,37.

2. За наявності кількох активних станцій у безпроводової мережі, пропускна здатність залежить від взаємного розташування абонентських станцій та точки доступу. В разі насиченого навантаження активних станцій, найменша сумарна пропускна здатність має місце, коли станції розташовані приблизно в одному напрямі щодо точки доступу (мале кутове рознесення місць розташування станцій).

3. За наявності в мережі чотирьох і більше станцій, що функціонують у насиченому режимі, мережа 802.11n переходить на режим із пониженою швидкістю завадостійкого кодування і не можна реалізувати найбільш швидкісні режими передавання даних.

4. У разі наявності поблизу безпроводової мережі іншої мережі стандарту 802.11 для робочої станції, що знаходиться на сумірній відстані від обох точок доступу, виникають умови, за яких навіть незначне переміщення робочої станції може призвести до значної зміни пропускної здатності.

5. У разі передавання відеопотоку в мережі IEEE802.11n наявність у мережі ще двох станцій із насиченим навантаженням призводить до порушення безперервності передавання відеопотоку.

Список літератури:

1. Wi-Fi (Wireless Fidelity) стандарт беспроводной связи. URL: <https://www.tadviser.ru> (дата звернення 10.09.2018).
2. Emerging Technologies in Wireless LANs. Theory, Design, and Deployment / Edited by BENNY BING. Georgia Institute of Technology, Cambridge University Press 2008. 897 p.
3. Impact of Legacy Devices on 802.11n Networks. Whitepaper, AirMagnet, Inc., 2008, 15 p.

4. Денисов Д. Тестирование TCP, UDP-трафика в сети Wi-Fi 802.11n/ac. URL: <https://http://www.wireless.ua/1641-testirovanie-tcp-udp-trafika-v-seti-wi-fi-80211nac.html> (дата звернення 10.09.2018).
5. Инь Ченлян, Лазебный В.С. Застосування концепції віртуального конкурентного вікна для прогнозування пропускної здатності сегмента безпроводової мережі Wi-Fi. Проблеми інформатизації та управління. 2017. Том 4. № 60. С. 30–38.
6. Инь Ченлян, Лазебный В.С. Оцінювання ефективності передавання аудіо-візуальної інформації засобами безпроводової мережі 802.11n. Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2018. Том 30 (69). № 4. С. 73–82.
7. Частотные полосы и каналы Wi-Fi. URL: <https://http://wi-life.ru/tehnologii/wi-fi/wi-fi-frequency-bands-and-channels> (дата звернення 10.09.2018).

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАЛЬНОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ БЕСПРОВОДНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СЕТИ СПЕЦИФИКАЦИИ IEEE 802.11N

В статье приведены результаты исследований реальной пропускной способности беспроводной информационной сети спецификации IEEE 802.11n для режимов функционирования с радиоканалами 20 МГц и 40 МГц. Экспериментально исследована пропускная способность сети с 2, 4 и 6 активными станциями, функционирующими в насыщенном режиме. Проанализировано влияние других беспроводных сетей Wi-Fi, зона покрытия которых перекрывается зоной покрытия исследуемой сети. Для указанного анализа сделано моделирование процесса функционирования беспроводного канала средствами программного комплекса ADS. Приведены графики деградации пропускной способности, обусловленной помехами в радиоканале. Приведены особые условия пользования каналом беспроводной сети вблизи границы зон покрытия двух беспроводных сетей IEEE 802.11.

Ключевые слова: беспроводной канал, информационная сеть, насыщенный режим, пропускная способность, радиопомехи, Wi-Fi.

INVESTIGATION OF REAL THROUGHPUT OF THE IEEE 802.11N WIRELESS INFORMATION NETWORK

The article presents the results of research on the real bandwidth of the wireless information network of the IEEE 802.11n specification for operating modes with 20 MHz and 40 MHz radio channels. The throughput of the network with 2, 4 and 6 active stations operating in saturated mode has been experimentally investigated. The influence of other wireless Wi-Fi networks, whose coverage area overlaps with the coverage area of the investigated network, is analyzed. For the given analysis the simulation of the operation of the wireless channel by means of the software complex ADS is made. Graphs of throughput degradation, caused by interferences in the radio channel are presented. Specific terms for using the wireless network channel which located near the boundaries of coverage zones of two wireless IEEE 802.11 networks was considered.

Key words: wireless channel, information network, saturated mode, throughput, radio interferences, Wi-Fi.

Lozhechnikova N.V.

Odessa National Polytechnic University

Zhelenko V.O.

Odessa National Polytechnic University

THE ANALYSIS OF FORCED-AIR AND EXHAUST INSTALLATIONS WITH HEAT RECUPERATING

The problem of energy saving concerns, in particular, the agro-industrial complex, where a significant share of energy resources is spent on power supply, heating of heat carriers for various technological needs, lighting workshops, so the use of the most effective energy-saving tools and methods in this area becomes an urgent task. One of the forms of energy saving and creating optimal working conditions for maintenance personnel, as well as efficient storage of equipment at service enterprises is maintaining a comfortable temperature and humidity microclimate. To create these conditions, supply and exhaust systems with a heat recuperator can be used. Modern building materials can reduce the heat loss of the building and at the same time make them airtight, disrupting air exchange. Supply and exhaust units with a heat recuperator restore air exchange without extra costs for heating fresh air; in turn, recuperators can reduce a significant share of losses in heating air. This article deals with the design of industrial supply and exhaust units with a heat recuperator for heating air in the premises of technical service enterprises.

Key words: fan, air heater, air flow, plate recuperator, technical service, supply-and-exhaust system, heat recovery, filter, energy saving.

The formulation of the problem. One of the priority directions of the state policy is the rational use of energy resources. In particular, the problem of energy saving concerns the agro-industrial complex, where a large share of energy resources is spent on power supply, heating of heat carriers for various technological needs, lighting of workshops and much more. Therefore, the use of the most effective energy-saving tools and methods in this field becomes an extremely urgent task.

One of the options for saving energy resources is the use of the heat recovery (recuperation) method in ventilation and air conditioning systems in industrial buildings, including technical service enterprises. This method is applicable both in the cold season for heating and in warm for conditioning. Recuperation in ventilation systems is a process where incoming cold supply air is heated by exhausted air.

At present, a number of supply and exhaust units with heat recuperation from the following companies are produced: Daikin (VAM series models), Systemair (VX series models), Ecoterm (UVRK series models), etc., but as rule, with two types of recuperator (rotor or plate structure) [1]. In the plate heat exchanger, in contrast to the rotary heat exchanger, there are no moving parts, it does not mix the incoming and outgoing air streams, without changing the humidity of the supply air.

With countercurrent flow organization the plate heat exchanger alternately heats up and is cooled by heat-releasing and heat-absorbing air currents, therefore the supply and exhaust air must be coordinated and run simultaneously through it.

The plate heat exchanger performs the function of a storage mass, one half of which is heated by a warm air flow, and the other half is cooled by a cold stream flowing in the opposite direction. The air temperature at the outlet of the heat exchanger is not the same and depends on the volume of air passing through it, as well as the outside temperature, the internal temperature and the humidity of the air. Plate-type recuperator with a reliable anti-frost protection system (heating of supply air) practically does not require maintenance (filter change) [2].

The analysis of recent studies and publications. Analyzing the articles of O.A. Kolyunov, O.P. Ivanov, O.G. Martynenko, A.A. Mikhalevich, V.K. Shikova on the system of ventilation and conditioning of technical service buildings, it was revealed that most authors pay attention to only one method of ventilation and conditioning, highlighting the disadvantages and benefits, but there has not yet been a comparative characterization of several types of supply and exhaust systems, existing and patented today.

The aim of the paper is to consider several types of supply and exhaust units, existing and patented for today.

The exposition of the main material of the study. Let's consider some kinds of supply and exhaust installations.

There is a supply and exhaust system (Figure 1), designed for heat recovery. It consists of a warmed case 5, channels for supply 6 and exhaust 8 of air, in each of which there are air purification filters 4, a fan 3, chambers 10 with a rotating regenerative heat exchanger 9, the camera is installed on the roof of the building on reinforced concrete cup 1 and represents the case in the form of a parallelepiped, the walls of which are made of insulated panels interconnected by high-speed locks, and the base of the case is a metal frame 11, with the upper part of the chamber containing a mountain umbrella rotary regenerative heat recovery device 9, which is a retractable frame divided into two cavities by a partition, in which the supports of the core of the drum formed by corrugated aluminum foil strips densely wound on the core 12 are fixed, where the pulley of the V-belt drive is fixed to the core of the drum, and the partition of the frame with the drum fixed on it forms channels for the supply and exhaust air, in each of which air purification filters are placed 4.

A supply-exhaust system 1 (figure 2) [3] comprising a vent 8 connecting the room to the outside environment, comprising a recuperator 13, filters 7, a fan unit 4 comprising an electric axial reversible fan 3 and electric motor shutters 6, a control unit 5 comprising an input terminal 10 for connecting to an electrical network, an external grate 2 and a remote control panel 15, and also contains an air humidity sensor 11 connected to the control unit, a light sensor 12 connected to the control unit, and the control unit is located in the fan unit and is complemented comprises an output terminal 9.

There is a supply and exhaust system (Figure 3) [4] with a plate recuperative heat exchanger, which has inlet and outlet openings for supply air in the casing, inlet and outlet openings for exhaust air to the respective exhaust air inlet zones in the unit and exhaust air outlet from the unit, inlet air inlet filter element, supply air outlet heating element, condensate drain pan from the plate-type recuperative heat exchanger, connected to the control unit bypass valve, the supply and exhaust fans.

A distinctive feature of the installation is that the bypass valve is located between the exhaust air exit zone of the plant and the exhaust air inlet zone to the plant with the possibility of circulating exhaust air through the plate recuperative heat exchanger in a closed loop when the bypass valve is open in the

defrosting mode of the plate heat recovery unit, control is connected to the supply fan with the possibility of switching it off in the indicated mode. In this case, the control unit, which is a microprocessor, is connected to the supply fan through the switching means, and a heating element for the exhaust air is installed in the housing.

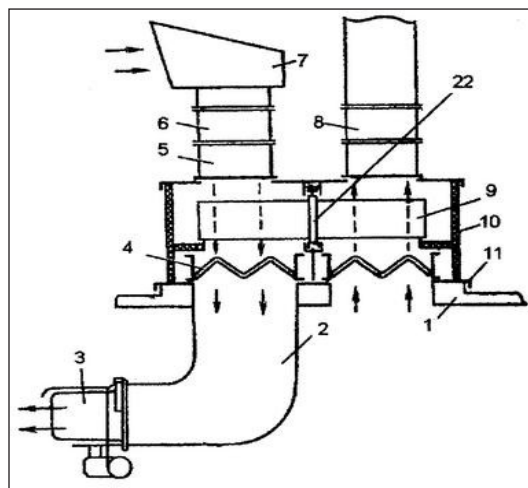


Fig. 1. Supply and exhaust unit (patent No. 2282794)

- 1 – a cup; 2 – the channel;
- 3 – the fan;
- 4 – air purification filter;
- 5 – a warmed case;
- 6, 8 – channels for supply and exhaust of air;
- 7 – air intake;
- 9 – heat exchanger;
- 10 – the chamber;
- 11 – frame; 12 – core.

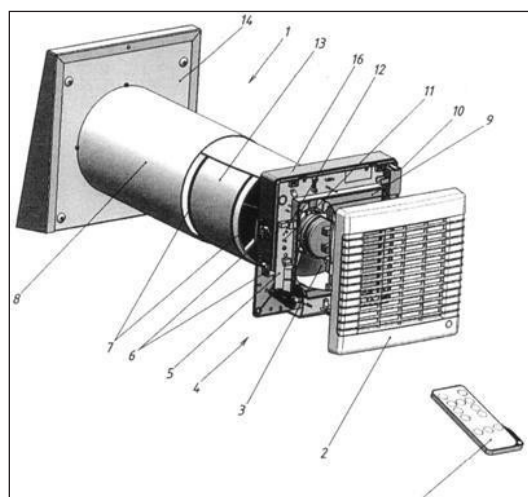


Fig. 2. Supply and exhaust unit (patent No. 140092)

- 1 – supply and exhaust system; 2 – external grate;
- 3 – the fan; 4 – ventilation unit; 5 – control unit;
- 6 – blinds; 7 – filters; 8 – ventilation duct;
- 9 – output terminal; 10 – input terminal;
- 11 – air humidity sensor; 12 – a light sensor;
- 13 – recuperator; 14 – base; 15 – control panel;
- 16 – casing

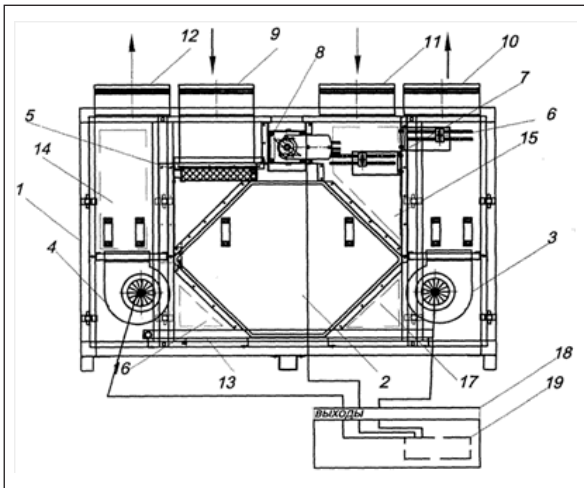


Fig. 3. Supply and exhaust unit (patent No. 134619)

A supply and exhaust system was designed (Fig. 4) [5] for ventilation and air conditioning, containing a housing installed in the through-hole of the external wall of the building, the inner surface of the housing covered with heat-insulating material, a stationary regenerative nozzle and a reversible axial fan, differing in the housing cavity the fact that the unit includes a mobile air conditioner, and the wall of the body is bifurcated along its length to form an annular channel between the parts of the wall having the outlet to the external air atmosphere at one end and the muffled end at the other end thereof, the annular channel being connected to the duct of the mobile air conditioner through a pipe mounted in the outer part of the housing wall and having a valve latch, the housing cavity associated with the outside air atmosphere and placing by nipples with valves, with an air heater installed in the cavity of the housing.

In this case, a filter is installed in the cavity of the housing for the air entering the room, and the ends of the housing are provided with protective gratings. In addition, the stationary regenerative packing is made of corrugated aluminum foil.

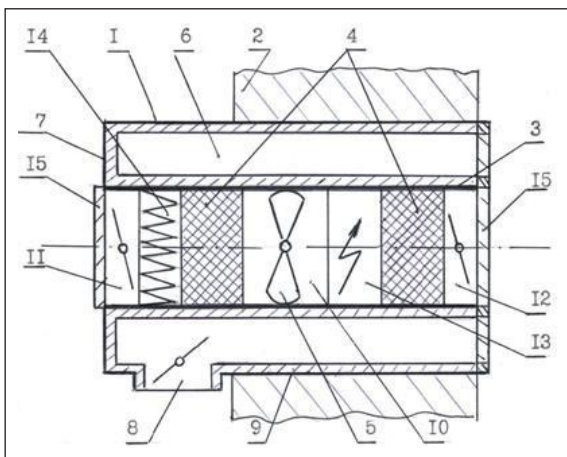


Fig. 4. Supply and exhaust unit (patent No. 127875)

A supply and exhaust device (Fig. 5) [6], comprising a fan unit supplying an air duct, one end of which is communicating with the atmosphere, and the other located in the lower part of the ventilated room and equipped with an air heater, and the exhaust duct is located in the upper part of the ventilated room, and its outlet end is provided with a vertical outlet branch, characterized in that the fan unit comprises a supply fan positioned at the receiving opening of the supply conduit at the supply pipe after the supply fan is divided into first and second channels so that the cross-section of the first does not exceed 0.15 of the cross section of the second one, the first channel through the exhaust ejector being connected to the vertical outlet of the exhaust duct, and the second channel through the supply ejector connected to the inlet the heat-receiving circuit of the heat exchanger whose outlet is communicating with the vertical downward channel of the supply duct, in addition, the exhaust duct in front of the heat exchanger is divided into a third and a fourth channel. That does not exceed the fourth section 0.15 of the third section, the third channel is connected to the input of the heat emitting coil circuit whose output communicates with an exhaust suction pipe of the ejector, wherein the fourth channel is connected to a suction pipe of the ejector feeder.

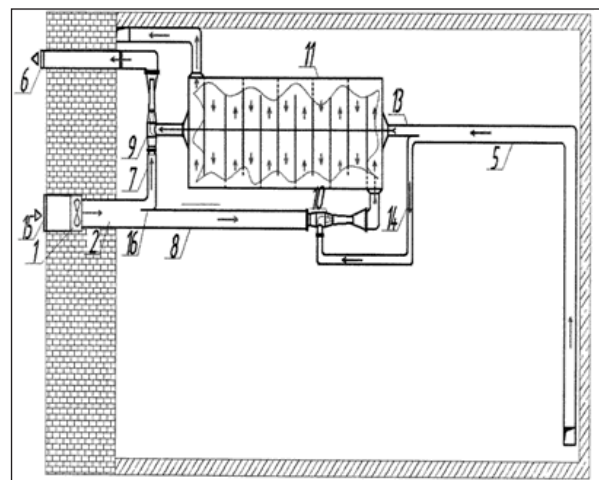


Fig. 5. Supply and exhaust unit (patent No. 102764)

The installation for heat supply, cooling and ventilation of premises, including a heat pump connected to a storage tank and heat supply pipelines, a ventilation system with supply and exhaust air ducts, is characterized by the fact that it contains a recuperator, a flat solar collector, external and internal temperature sensors premises and the device of the control and management of elements of installation according to indications of gauges.

A supply-and-exhaust device containing a fan unit, a vertical ventilation shaft, an exhaust air duct located

in the shaft, exhaust ducts communicating with the rooms, and an upper end with a discharge branch that allows the discharge of outgoing air into the atmosphere. Moreover, the device is equipped with a heater of air supplied to the premises.

Conclusions. Currently, the industry offers a wide range of supply and exhaust units, existing and patented for today. However, the most efficient are the units with a plate heat exchanger, since they do not

contain moving parts, are easy to maintain, do not mix incoming and outgoing air, and are energy efficient.

The analysis of the constructions of the units with a plate heat exchanger showed that, as a rule, they differ in the design of the heat exchanger, in the direction of the air flow, and in the list of additional equipment. Therefore, the improvement of the design with the change of these parameters creates a great potential for increasing the efficiency of the supply and exhaust systems.

References:

1. Ivanov O.P., Rymkevich A.A. A methodology for a comprehensive assessment of the efficiency of utilization of heat and cold utilization in air conditioning systems. Refrigerating machinery. 1980. № 3. P. 34–38.
2. Kolyunov O.A., Ivanov O.P. Energy saving in ventilation and air-conditioning systems due to utilization of heat of exhausted air. Refrigeration and cryogenic equipment. 2003. № 1. P. 16–19.
3. Patent for utility model No. 140092 of the Russian Federation. A supply and exhaust unit with a heat sink / A.S. Klapishevsky, A.M. Tsyomyk (RF). 1c: ill. Publ. 04/27/2014.
4. Patent for utility model No. 134619 of the Russian Federation. Supply and exhaust unit with a heat recovery aggregate / A.A. Kavygin, S.A. Kolyadyazhny (RF). 1c: ill. Publ. 11/20/2013.
5. Patent for utility Model No. 127875 RF. Supply-exhaust system for ventilation and air conditioning / V.A. Pronin, A. P. Verboloz, A.V. Tsygankov (RF). 1c: ill. Publ. 05/10/2013.
6. Patent for utility model No. 102764 RF. Prison-extractor device / G.A. Zakharov, O.L. Lazovskaya, K.V. Tsygankova, A.A. Zhurmilov (RF). 1c: ill. Publ. 10.03.2011.

АНАЛІЗ ПРИПЛИВНО-ВИТЯЖНИХ УСТАНОВОК З РЕКУПЕРАЦІЄЮ ТЕПЛА

Проблема енергозбереження стосується, зокрема, агропромислового комплексу, де значна частка енергоресурсів витрачається на силове живлення, підігрів теплоносіїв для різних технологічних потреб, освітлення майстерень, тому використання найбільш ефективних енергозберігаючих засобів і методів у цій галузі стає актуальним завданням. Однією з форм енергозбереження та створення оптимальних умов роботи обслуговуючого персоналу, а також ефективного зберігання техніки на підприємствах сервісу є підтримка комфортного температурно-вологісного мікроклімату. Для створення цих умов можуть бути використані припливно-витяжні установки з рекуператором тепла. Сучасні будівельні матеріали дають змогу зменшити тепловтрати будівлі і водночас роблять їх герметичними, порушуючи повітрообмін. Припливно-витяжні установки з рекуператором тепла відновлюють повітрообмін без зайвих витрат на підігрів свіжого повітря, своєю чергою, рекуператори дають змогу скоротити значну частку втрат на нагрівання повітря. У цій статті розглянуто пристрій промислових припливно-витяжних установок з рекуператором тепла для підігріву повітря в приміщеннях підприємств технічного сервісу.

Ключові слова: вентилятор, підігрівач повітря, потік повітря, рекуператор пластинчастий, технічний сервіс, установка припливно-витяжна, утилізація тепла, фільтр, енергозбереження.

АНАЛІЗ ПРИТОЧНО-ВИТЯЖНИХ УСТАНОВОК С РЕКУПЕРАЦІЄЮ ТЕПЛА

Проблема енергозбереження касається, в частности, агропромышленного комплекса, где значительная доля энергоресурсов расходуется на силовое питание, подогрев теплоносителей для различных технологических нужд, освещение мастерских, поэтому использование наиболее эффективных энергосберегающих средств и методов в данной области становится актуальной задачей. Одной из форм энергосбережения и создания оптимальных условий работы обслуживающего персонала, а также эффективного хранения техники на предприятиях сервиса является поддержание комфортного температурно-влажностного микроклимата. Для создания этих условий могут быть использованы приточно-вытяжные установки с рекуператором тепла. Современные строительные материалы позволяют уменьшить теплопотери здания и в тоже время делают их герметичными, нарушая воздухообмен. Приточно-вытяжные установки с рекуператором тепла восстанавливают воздухообмен без лишних затрат на подогрев свежего воздуха, в свою очередь, рекуператоры позволяют сократить значительную долю потерь на нагрев воздуха. В данной статье рассмотрено устройство промышленных приточно-вытяжных установок с рекуператором тепла для подогрева воздуха в помещениях предприятий технического сервиса.

Ключевые слова: вентилятор, подогреватель воздуха, поток воздуха, рекуператор пластинчатый, технический сервис, установка приточно-вытяжная, утилизация тепла, фильтр, энергосбережение.

Відомості про авторів

- Абакумова А.О.** – аспірант Національного авіаційного університету;
- Батурін А.П.** – студент-магістрант групи ПБ-72мп Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;
- Бардашевський С.В.** – магістрант Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;
- Бедратюк Г.І.** – старший викладач кафедри інженерії програмного забезпечення Хмельницького національного університету;
- Білецький І.А.** – аспірант відділу пристроїв, систем та технологій безконтактної діагностики Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова Національної академії наук України;
- Бойків Н.І.** – студент спеціальності «Комп'ютерна інженерія» Тернопільського національного економічного університету;
- Борисенко В.Д.** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерної інженерії Миколаївського національного університету імені В.О. Сухомлинського;
- Бородкін Г.О.** – старший викладач кафедри комп'ютерних наук Національного університету біоресурсів і природокористування України;
- Бородкіна І.Л.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних наук Київського національного університету культури і мистецтв;
- Брацький В.О.** – аспірант кафедри інформаційних систем Національного університету харчових технологій;
- Будник М.М.** – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, головний науковий співробітник відділу пристроїв, систем та технологій безконтактної діагностики Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова Національної академії наук України;
- Будник М.М.** – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, головний науковий співробітник відділу пристроїв, систем та технологій безконтактної діагностики Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова Національної академії наук України;
- Васильків Н.М.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційно-обчислювальних систем та управління Тернопільського національного економічного університету;
- Веретеннікова Н.В.** – кандидат наук із соціальних комунікацій, асистент кафедри інформаційних систем та мереж Національного університету «Львівська політехніка»;
- Витвицький В.М.** – аспірант Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;
- Гаврилов С.О.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;
- Гайтан О.М.** – старший викладач кафедри комп'ютерних та інформаційних технологій і систем Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка;
- Гончар С.Ф.** – кандидат технічних наук, учений секретар Інституту проблем моделювання в енергетиці імені Г.Є. Пухова НАН України;
- Горошко А.І.** – студент Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка;
- Дегтярук В.І.** – науковий співробітник відділу перетворювачів форми інформації Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова Національної академії наук України;
- Доценко Н.В.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри менеджменту Національного аерокосмічного університету імені М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»;
- Дробаха Д. А.** – бакалавр кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;
- Дубчак Л.О.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерної інженерії Тернопільського національного економічного університету;
- Желенко В.О.** – кафедра комп'ютерних технологій автоматизації, Одеський національний політехнічний університет;
- Жуковська Н.А.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри прикладної математики Національного університету водного господарства та природокористування;
- Жуковський В.В.** – старший викладач кафедри прикладної математики Національного університету водного господарства та природокористування;

Інь Ченлян – магістр з телекомунікацій, аспірант Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Кальченко Д.В. – аспірант кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування Чернігівського національного технологічного університету;

Кисіль Т.М. – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри вищої математики та комп'ютерних застосувань Хмельницького національного університету;

Кімстач О.Ю. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри суднових електроенергетичних систем Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;

Коваленко О.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри кібербезпеки та програмного забезпечення Центральноукраїнського національного технічного університету;

Кологойда А.В. – старший викладач кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування Чернігівського національного технологічного університету;

Комаров М.Ю. – аспірант Інституту проблем моделювання в енергетиці імені Г.Є. Пухова НАН України, науковий співробітник Державного науково-дослідного інституту спеціального зв'язку та захисту інформації;

Комлева Г.О. – кафедра системного програмного забезпечення, Одеський національний політехнічний університет;

Комлева Н.О. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри системного програмного забезпечення Одеського національного політехнічного університету;

Комлева О.О. – кафедра системного програмного забезпечення, Одеський національний політехнічний університет;

Корнага Я.І. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Красников С.О. – студент Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Кунанець Н.Е. – доктор наук із соціальних комунікацій, професор кафедри інформаційних систем та мереж Національного університету «Львівська політехніка»;

Лаба Р.Ю. – студент кафедри інформаційних систем та мереж Національного університету «Львівська політехніка»;

Лазебний В.С. – кандидат технічних наук, доцент Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Литвин О.О. – аспірант кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування Чернігівського національного технологічного університету;

Ложечникова Н.В. – аспірант кафедри теплових електричних станцій та енергозберігаючих технологій Одеського національного політехнічного університету;

Мельничук О.В. – аспірант кафедри технології машинобудування Національної металургійної академії України;

Мешков В.В. – технічний директор Науково-виробничого підприємства «Метекол»;

Мікульонюк І.О. – доктор технічних наук, професор, старший науковий співробітник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Мудренко М.І. – провідний інженер відділу пристроїв, систем та технологій безконтактної діагностики Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова Національної академії наук України;

Новогрецький С.М. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри суднових електроенергетичних систем Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;

Одарченко Р.С. – кандидат технічних наук, доцент Національного авіаційного університету;

Омельянець О.О. – магістр з телекомунікацій, аспірант Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Ониськова А.В. – молодший науковий співробітник Інституту проблем моделювання в енергетиці імені Г.Є. Пухова НАН України;

Плакса Д.В. – студент-магістрант групи ПБ-72мп Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Подимака В.І. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри суднових електроенергетичних систем Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;

Поліщук М.М. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Прудников А.О. – аспірант кафедри суднових електроенергетичних систем Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;

Ржеуський А.В. – кандидат наук із соціальних комунікацій, асистент кафедри інформаційних систем та мереж Національного університету «Львівська політехніка»;

Сіра Н.М. – доцент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування Чернігівського національного технологічного університету;

Скрипчук П.М. – доктор економічних наук, професор кафедри менеджменту Національного університету водного господарства та природокористування;

Сліпучіна О.О. – аспірант Національного авіаційного університету;

Сокольський О.Л. – докторант, кандидат технічних наук, доцент Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Терещенко М.Ф. – кандидат технічних наук, доцент кафедри виробництва приладів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Таранчук А.А. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри телекомунікацій та комп'ютерно-інтегрованих технологій Хмельницького національного університету;

Терещенко М.Ф. – кандидат технічних наук, доцент кафедри виробництва приладів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Устенко І.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;

Устенко С.А. – доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри комп'ютерної інженерії Миколаївського національного університету імені В.О. Сухомлинського;

Ходаковський М.І. – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник відділу пристроїв, систем та технологій безконтактної діагностики Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова Національної академії наук України;

Цапенко В.В. – аспірант Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Шутко В.М. – доктор технічних наук, професор Національного авіаційного університету;

Яновський Ф.Й. – доктор технічних наук, професор Національного авіаційного університету.

Науковий журнал

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

Серія: Технічні науки

Том 29 (68) № 5 2018

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. 14,38. Ум.-друк. арк. 20,23. Зам. № 1118/160

Підписано до друку 14.11.2018. Наклад 150 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»

73034, м. Херсон, вул. Паровозна, 46-а, офіс 105

Телефон +38 (0552) 39 95 80

E-mail: mailbox@helvetica.com.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 4392 від 20.08.2012 р.