

ISSN 2307-5732

DOI 10.31891/2307-5732

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

4.2021

ВІСНИК

**Хмельницького
національного
університету**

Технічні науки

Technical sciences

SCIENTIFIC JOURNAL

HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2021, Issue 4, Volume 299

Хмельницький

**ВІСНИК
ХМЕЛЬНИЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
серія: Технічні науки**

Затверджений як фахове видання категорії «Б»,
РІШЕННЯ АТЕСТАЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ № 1643 ВІД 28.12.2019 та №409 від 17.03.2020

Засновано в липні 1997 р.

Виходить 6 разів на рік

Хмельницький, 2021, № 4(299)

**Засновник і видавець: Хмельницький національний університет
(до 2005 р. – Технологічний університет Поділля, м. Хмельницький)**

Наукова бібліотека України ім. В.І. Вернадського http://nbuv.gov.ua/j-tit/Vchnu_tekh

Включено до науково-метричних баз:

Google Scholar	http://scholar.google.com.ua/citations?hl=uk&user=aIUP9OYAAAAAJ
Index Copernicus	http://jml2012.indexcopernicus.com/passport.php?id=4538&id_lang=3
Polish Scholarly Bibliography	https://pbn.nauka.gov.pl/journals/46221
CrossRef	http://doi.org/10.31891/2307-5732

Головний редактор **Скиба М. Є.**, д.т.н., професор, заслужений працівник народної освіти України, член-кореспондент Національної академії педагогічних наук України, професор кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем Хмельницького національного університету

Заступник головного редактора **Синюк О. М.**, д.т.н., професор кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем Хмельницького національного університету

Відповідальний секретар **Горященко С. Л.**, к.т.н., доцент кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем Хмельницького національного університету

Ч л е н и р е д к о л е г і ї

Технічні науки

Березненко С.М., д.т.н., Бойко Ю.М., д.т.н., Говорущенко Т.О., д.т.н., Гордєєв А.І., д.т.н., Грабко В.В., д.т.н., Диха О.В., д.т.н., Зацепкіна Н.М., д.т.н., Захаркевич О.В., д.т.н., Злотенко Б.М., д.т.н., Зубков А.М., д.т.н., Каплун П.В., д.т.н., Карташов В.М., д.т.н., Кичак В.М., д.т.н., Любош Хес, д.т.н., (Чехія), Мазур М.П., д.т.н., Мандзюк І.А., д.т.н., Мартинюк В.В., д.т.н., Мельничук П.П., д.т.н., Місяць В.П., д.т.н., Мясіщев О.А., д.т.н., Нелін Є.А., д.т.н., Павлов С.В., д.т.н., Параска О.А., к.т.н., Рогатинський Р.М., д.т.н., Горошко А.В., д.т.н., Сарібекова Д.Г., д.т.н., Семенко А.І., д.т.н., Славінська А.Л., д.т.н., Харжевський В.О., д.т.н., Шинкарук О.М., д.т.н., Шклярський В.І., д.т.н., Щербань Ю.Ю., д.т.н., Ясній П.В., д.т.н., професор, Бубулєс Альгімантас, доктор наук (Литва), Елсаєд Ахмед Ельнашар, доктор наук (Єгипет), Кальчинські Томаш, доктор наук (Польща), Коробко Євгенія Вікторівна, д.т.н. (Білорусія), Лунтовський Андрій Олегович, д.т.н. (Німеччина), Любош Хес, доктор наук (Польща), Матушевський Мацей, доктор наук (Польща), Мушлевський Лукаш, доктор наук (Польща), Мушял Януш, доктор наук (Польща), Натріашвілі Тамаз Мамієвич, д.т.н., (Грузія), Попов Валентин, доктор природничих наук (Німеччина)

Технічний редактор Горященко К. Л., к.т.н.
Редактор-коректор Броженко В. О.

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол № 1 від 26.08.2021 р.**

Адреса редакції: редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету"
Хмельницький національний університет
вул. Інститутська, 11, м. Хмельницький, Україна, 29016

т	(038-2) 67-51-08	web:	http://journals.khnu.km.ua/vestnik
e-mail:	visnyk.khnu@khmnu.edu.ua visnyk.khnu@gmail.com		http://lib.khnu.km.ua/visnyk_tup.htm

Зареєстровано Міністерством України у справах преси та інформації.
Свідцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
Серія КВ № 24922-14862ПР від 12 липня 2021 року

© Хмельницький національний університет, 2021
© Редакція журналу "Вісник Хмельницького
національного університету", 2021

ЗМІСТ

ЕКОЛОГІЯ

А.В. МОКІЄНКО, Л.М. СПАСЬОНОВА, О. Ю. БОНДАРЧУК АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ МОНІТОРИНГУ ВМІСТУ ХЛОРИТІВ ТА ХЛОРАТІВ У ПИТНІЙ ВОДІ ПІСЛЯ ЗНЕЗАРАЖУВАННЯ ОКИСНЮВАЧАМИ	7
--	---

КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ, ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІ, СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА КІБЕРБЕЗПЕКА

NAZAR MYKOLAYOVYCH TROSTYNSKYI, OLEKSANDR ANATOLIYOVYCH PASICHNYK, TETIANA KAZYMYRIVNA SKRYPNYK, EDUARD ANDRIYOVYCH MANZIUK INFORMATION TECHNOLOGY OF MAKING CONTROLLED CRITICALLY SAFE DECISIONS WHEN VIEWING POINT CLOUDS “WEB POINT CLOUD VIEWER”	11
А. БОЙЧУК, Р. КАМІНСЬКИЙ, Н. ШАХОВСЬКА, Б. ХУДОБА ВПЛИВ КОЛЬОРУ ТЛА ЗОБРАЖЕННЯ-ТЕСТУ НА ЧАС ВИЯВЛЕННЯ ЛЮДИНОЮ-ОПЕРАТОРОМ ОБ'ЄКТА, ЛОКАЛІЗОВАНОГО НА НЬОМУ, В СИСТЕМАХ КОМП'ЮТЕРНОГО ТРЕНІНГУ	18
Л.М. КУПЕРШТЕЙН, М.Д. КРЕНЦІН АНАЛІЗ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ ПІРИНГОВИХ МЕРЕЖ	26
С.С. ПЕТРОВСЬКИЙ, О.А. ПАСІЧНИК, Т.К. СРИПНИК ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ПРОЕКТІВ ПРИ ВИКЛАДАННІ ОСВІТНІХ КОМПОНЕНТ СПЕЦІАЛЬНОСТІ КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ	30
ROMAN RUSLANOVYCH HRYMAK, OLEKSANDR ANATOLIYOVYCH PASICHNYK, TETIANA KAZYMYRIVNA SKRYPNYK, EDUARD ANDRIYOVYCH MANZIUK INFORMATION TECHNOLOGY OF MAKING CONTROLLED CRITICALLY SAFE DECISIONS ABOUT MODEL PARAMETERS CONVERSION AT TRANSFER BETWEEN VISUALIZATION SYSTEMS	35
А.Ю. ШІЛІНГ, Н.В. ХОМИН ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ІНФОРМАЦІЙНОГО НАПОВНЕННЯ ВЕБ-РЕСУРСІВ ЗАКЛАДУ ВИЩОЇ ОСВІТИ З ВРАХУВАННЯМ ПАРАМЕТРІВ, ЩО ХАРАКТЕРИЗУЮТЬ ЕФЕКТИВНІСТЬ ЙОГО КОМУНІКАТИВНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ	43
О.В. ЦИРА, Н.О. ПУНЧЕНКО ВИКОРИСТАННЯ КОГНІТИВНИХ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ТЕХНІЧНИМИ СИСТЕМАМИ	50
Д.Ю. АНТІЧ, Г.І. РАДЕЛЬЧУК УДОСКОНАЛЕННЯ АЛГОРИТМІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІДМОВСТІЙКОСТІ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ	54
О.П. МИСОВ, І.Л. ЛЕВЧУК, , К.О. ФЕСЕНКО, М.О. САВЧЕНКО, О.М. ГНАТКО РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ РОЗЧИНУ МІДНОГО КУПОРОСУ, АДАПТОВАНОЇ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ УПРАВЛІННЯ	59
О.І. ХИЖАН, К.А. НЕСТЕРОВА, О.І. ХИЖАН ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОННОГО НАВЧАЛЬНОГО КУРСУ ПРИ ВИВЧЕННІ ХІМІЧНИХ ДИСЦИПЛІН	67

МАШИНОБУДУВАННЯ, МЕХАНІКА ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

А.Л. ГАНЗЮК, А.І. ГОРДЄЄВ, О.В. КРАВЧУК, А.С. ОЛІЙНИК ЗАСТОСУВАННЯ СПЕЦІАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ФОТОФІКСАЦІЇ СЛІДОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ ТРАСОЛОГІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ	72
--	----

А.Р. СТАРИЙ, А.І. ГОРДЄЄВ АНАЛІЗ АНАЛІТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ВІБРАЦІЙНОГО ПРИВОДУ МАШИНИ ДЛЯ МИЙКИ І ОЧИСТКИ ПУЛЬСУЮЧИМ СТРУМЕНЕМ РІДИНИ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ ЙОГО РОБОТИ	77
--	----

М.М. КОСНОК, А. М. КОСНОК, В. С. КРАВЧУК КОМБІНОВАНА СИЛОВА УСТАНОВКА АВТОМОБІЛЯ	84
--	----

А.В. ГОРОШКО, І.В. ДРАЧ, В.П. ТКАЧУК ВПЛИВ МОМЕНТНОЇ НЕЗРІВНОВАЖЕНОСТІ ТА ПОЛОЖЕННЯ ЦЕНТРУ ЖОРСТКОСТІ НА ВІБРОАКТИВНІСТЬ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ БАРАБАННИХ МАШИН	89
---	----

М. Г. ЗАЛЮБОВСЬКИЙ, І. В. ПАНАСЮК, В. В. МАЛИШЕВ АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОТУЖНОСТІ, ЯКА СПОЖИВАЄТЬСЯ НА ВЕДУЧОМУ ВАЛУ ГАЛТУВАЛЬНОЇ МАШИНИ ЗІ СКЛАДНИМ РУХОМ РОБОЧОЇ ЄМКОСТІ	95
--	----

ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕНЕРГЕТИКА

О.В. МОЙСЮК, А.П. САМІЛА ДОСЛІДЖЕННЯ ТОПОЛОГІЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ СПІРАЛЕПОДІБНОЇ КОТУШКИ ЯКР- ДЕТЕКТОРА ВИБУХОВИХ ТА НАРКОТИЧНИХ РЕЧОВИН	101
--	-----

В.О. БІЛИЙ, В.О. БІЛИЙ, В.М. БОНДАРЕНКО, Н.О. БОНДАРЕНКО ПРИСТРІЙ ДЛЯ ПРИШВИДШЕННЯ РЕАБІЛІТАЦІЇ ПІСЛЯ ТРАВМ НИЖНІХ КІНЦІВОК	108
---	-----

ТЕХНОЛОГІЇ ХІМІЧНОЇ, ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

А. О. БОНДАРЄВА, Е. Є. КАСЬЯН, О. Р. МОКРОУСОВА МОДЕЛЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ПОКРИТТЯ ШКІР	115
---	-----

Ю. А. КОВАЛЬОВ, С. А. ПЛЕШКО, Є. В. ЛОПУХОВ ДИНАМІКА КРУГЛОВ'ЯЗАЛЬНОЇ МАШИНИ З ПРИСТРОЄМ ЗНИЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ З ПРУЖИНАМИ КРУЧЕННЯ	123
--	-----

Л. М. БЕРЕЗІН ДО РОЗРАХУНКУ НАВАНТАЖЕНОСТІ В'ЯЗАЛЬНИХ ГОЛОК ШКАРПЕТКОВИХ АВТОМАТІВ	131
--	-----

ANDRIJ P. OLIJNYK, OLEKSANDRA Yu. MIRZOIEVA, OKSANA I. BELEI DEVELOPMENT OF THE INFORMATION SYSTEM FOR ANALYSIS THE PARAMETERS OF THE LOADING OF HYDRAULIC STRUCTURES	136
--	-----

Т. А. ПОПОВИЧ, Г. В. МІЩЕНКО, С. П. БЕСЧАСНИЙ АНТИМІКРОБНІ ВЛАСТИВОСТІ ЛІГНІНУ ЯК ПРИРОДНОГО БІОЦИДУ ДЛЯ ЗАХИСТУ ТЕКСТИЛЮ	142
--	-----

В. Ю. ЩЕРБАНЬ, Ю. В. МАКАРЕНКО, О. З. КОЛИСКО, Ю. Ю. ЩЕРБАНЬ, М. І. КОЛИСКО РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОГРАМНИХ МОДУЛІВ ПРОЦЕДУРИ РЕКУРСІЇ ПРИ КОМП'ЮТЕРНОМУ ВИЗНАЧЕННІ НАТЯГУ ОСНОВНИХ НИТОК БАГАТОШАРОВОЇ ТКАНИНИ ДЛЯ ВІЙСЬКОВОГО СПОРЯДЖЕННЯ	154
---	-----

ІННОВАЦІЙНІ СИСТЕМИ І ТЕХНОЛОГІЇ

О. Б. ВОВК, Н. Р. ГРАБОВСЬКА, В. В. ЛУЦКО, Р. О. ГОЛОЩУК РОЗРОБЛЕННЯ МАТРИЦІ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ НА ОСНОВІ ЗІСТАВЛЕННЯ РІВНІВ ПРОФЕСІОНАЛІЗМУ І СФОРМОВАНOSTІ ПРОФЕСІЙНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ	159
---	-----

С. А. БУРЛАКА, В. М. ЯРОПУД, Н. Г. ЗДИРКО РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ОЦІНКИ ТА ДІАГНОСТУВАННЯ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА ПРИ ВИКОРИСТАННІ БІОПАЛИВА	169
---	-----

А. О. БОЙКО, О. В. КУЗЬМЕНКО, В. В. КОЙБІЧУК, О. С. КУШНЕРЬОВ РОЛЬ ТА МІСЦЕ УКРАЇНСЬКИХ КІБЕРГРАВЦІВ У СВІТОВОМУ КІБЕРСПОРТІ	175
--	-----

J. POBEREZHETS, I. KUPCHUK, V. YAROPUD, S. BURLAKA**DIGESTIBILITY OF NUTRIENTS AND BROILER CHICKEN PRODUCTIVITY UNDER THE ACTION OF PROBIOTIC ENTERO-ACTIVE 182****Г. А. РІПКА, І. О. ЗАСОРНОВА****СПОСІБ ОЦІНКИ ВПЛИВУ КОНТУРІВ ВИШИТОГО ЕЛЕМЕНТА НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТКАНИНИ 187**

ЕКОЛОГІЯ

DOI 10.31891/2307-5732-2021-299-4-7-10

УДК 543.682:546.137]+[628.1:544.146.5

А.В. МОКІЄНКО

Одеський національний медичний університет

ORCID ID: 0000-0002-4491-001X

e-mail: mokienkoav56@gmail.com

Л.М. СПАСЬОНОВА

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

e-mail: lar_spas@yahoo.com

О. Ю. БОНДАРЧУК

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

e-mail: Bondarchukau@gmail.com

АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ МОНІТОРИНГУ ВМІСТУ ХЛОРИТІВ ТА ХЛОРАТІВ У ПИТНІЙ ВОДІ ПІСЛЯ ЗНЕЗАРАЖУВАННЯ ОКИСНЮВАЧАМИ

В роботі наведено результати узагальнення даних щодо утворення хлоритів та хлоратів у воді внаслідок знезаражування окиснювачами та представлено напрямки досліджень щодо розробки технологічних засад з мінімізації вмісту цих побічних продуктів у питній воді.

Ключові слова: питна вода, знезаражування, окиснювачі, хлорити, хлорати.

A.V. MOKIENKO

Odessa National Medical University

ORCID ID: 0000-0002-4491-001X

e-mail: mokienkoav56@gmail.com

L.M. SPASIONOVA

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

ORCID ID: 0000-0002-7562-7241

e-mail: lar_spas@yahoo.com

O. YU. BONDARCHUK

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

ORCID ID: -

e-mail: Bondarchukau@gmail.com

CURRENT ISSUES OF MONITORING THE CHLORITE AND CHLORATE CONTENT IN DRINKING WATER AFTER OXIDATION DISINFECTION

The use of oxidants (chlorine, chlorine dioxide and ozone) is a priority way of safe water supply. However, their use involves control of the formation, determination and normalization of chlorites and chlorates as by-products of disinfection. The aim of the work was to characterize the topical issues of monitoring the content of chlorites and chlorates in drinking water after disinfection with oxidants. Research methods included bibliometric and analytical. The results are as follows. The analysis of foreign and domestic normative documents testifies to the need to harmonize the current DSanPiN 2.2.4-171-10 "Hygienic requirements for drinking water suitable for human consumption" regarding the standardization of chlorites and chlorates in accordance with international requirements. It should be noted that these values, namely the normative values for chlorites and chlorates at the level of 0.7 and 0.7 mg / l, respectively, were included in the latest version of the above-mentioned normative document DSanPiN 2.2.4-171-20. An analysis of the experience gained in Europe (European federation of national associations of water services) shows that the main source of chlorite and chlorate formation is not chlorine dioxide, as previously thought, but sodium hypochlorite. According to the WHO, chlorate is a typical by-product of disinfection in the treatment of water with oxidants (sodium hypochlorite, chloramines, chlorine dioxide, ozone). Currently, research on the development of technological principles for minimizing the content of chlorites and chlorates as by-products of water disinfection by oxidants in Ukraine has not been conducted. The above necessitates the implementation of the following tasks: generalization of research results of chlorite content in drinking water from centralized drinking water supply systems, where chlorine dioxide is used; development, testing and implementation of the method of determination of chlorates in drinking water; determination of the content of chlorites and chlorates in the finished sodium hypochlorite, which is supplied to water utilities, depending on the shelf life; monitoring the content of chlorites and chlorates in drinking water of settlements where sodium hypochlorite is used in the process of water treatment; determination of chlorate content in chlorinated tap water after its treatment with ozone; substantiation of optimal modes of water treatment with oxidants to minimize the content of chlorites and chlorates in drinking water from the water distribution network; development of technological principles for minimizing the content of chlorites and chlorates in drinking water after disinfection with oxidants.

Key words: drinking water, disinfection, oxidizers, chlorites, chlorates.

Постановка проблеми

Загальноновизнаний факт взаємозв'язку здоров'я населення з якістю питної води є серйозним стимулом як для удосконалення технологій її очищення та знезаражування, так і для розробки гігієнічних критеріїв оцінки якості води та їх законодавчого оформлення. Пошук наукових обґрунтувань і рішень стосовно ефективних та економічних шляхів досягнення надійного та безпечного водопостачання населення є найважливішим розділом сучасної науки про питну воду [1].

Одним із провідних шляхів безпечного водопостачання є застосування окиснювачів у підготовці питної води. Порівняльна оцінка хлору, діоксиду хлору та озону заслуговує особливої уваги [2-5]. Це

стосується, зокрема, утворення, визначення та нормування хлоритів та хлоратів як побічних продуктів знезаражування.

Метою роботи є характеристика актуальних питань моніторингу вмісту хлоритів та хлоратів у питній воді після знезараження окиснювачами.

Методи досліджень: бібліометричні, аналітичні.

Аналіз останніх джерел

Тривалий час утворення хлоритів та хлоратів у питній воді пов'язували виключно із її знезараженням діоксидом хлору. Однак, і в таких випадках можна із деякою впевненістю говорити про безпечність концентрацій хлоритів, які утворюються. Так за даними водоканалу м. Горішні Плавні, вміст хлоритів перед поступленням води у водорозподільну мережу та у тупиковій її точці за 2020 рік (мін-макс-середні) складав 0,08; 0,54; 0,12 та 0,08; 0,48; 0,12 мг/л відповідно [6].

Аналіз нормативних документів свідчить, що чинні ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, придатної для споживання людиною» [7] нормують хлорити на рівні 0,2 мг/л (з часів колишнього СРСР), хлорати не нормуються. Тоді, як в останній редакції Рекомендацій ВООЗ щодо якості питної води (2017 р.) [8] нормативні значення для хлоритів та хлоратів складають 0,7 та 0,7 мг/л відповідно. В останній редакції Директиви (ЄС) 2020/2184 Європейського Парламенту і Ради щодо якості води, придатної для споживання людиною, від 16 грудня 2020 року [9] стосовно нормативів хлоритів і хлоратів є наступна примітка: «Параметричне значення 0,70 мг/л застосовується в тих випадках, коли для знезаражування води, призначеної для споживання людиною, використовується метод знезаражування, при якому утворюється хлорит (хлорат), зокрема діоксид хлору. Там, де це можливо, без шкоди для дезінфекції, держави-члени повинні прагнути до більш низького рівня. Цей параметр вимірюється тільки в тому випадку, якщо використовуються такі методи дезінфекції».

Необхідність цитування цієї примітки пояснюється акцентом на фразі «зокрема діоксид хлору». Тому, що ці побічні продукти знезараження води до останнього часу необґрунтовано пов'язують виключно із діоксидом хлору.

Як приклад можна привести результати ідентифікації хлорату в хлорованій воді після її обробки озоном [10], а також відомості про великі кількості хлорату в готовому (максимально 260 000 мг/л) гіпохлориті натрію [11]. За даними ВООЗ [12] хлорат є типовим побічним продуктом дезінфекції при обробці води окиснювачами (гіпохлорит натрію, хлораміни, діоксид хлору, озон).

У цьому сенсі є доцільним аналіз набутого досвіду європейських колег, які представляють EurEau (European federation of national associations of water services). На їх думку основним джерелом утворення хлоритів та хлоратів є гіпохлорит натрію.

Наприклад, згідно із французькою базою даних (2013-2015 pp.) [13] моніторингу якості води (SISE-eaux) в 20 - 30% зразків води після обробки діоксидом хлору виявлено перевищення нормативного значення хлориту 0,20 мг/л, в 20 % і вище - 0,25 мг/л, 0,7 мг/л – в 1 % випадків. Однак, деякі із цих результатів можуть бути завищені на 30-50% в залежності від зразків, оскільки використовуваний аналітичний стандарт (NF EN ISO 10304-426) не підходить для води, знезараженої діоксидом хлору. Для таких зразків є необхідною певна пробопідготовка, яка не передбачена в стандарті, щоб уникнути перевищення результатів (ANSES 2017c). Хлорати контролювали у воді, що поставляється приблизно 20% населення. Результати показали, що з 286 зразків проаналізованої очищеної води в 10 перевищений рівень 0,25 мг/л, з яких у двох понад 0,7 мг/л.

Окремо слід зазначити, що рівень хлоритів і хлоратів (0,25 мг/л) у Євродирективі [9] є, безсумнівно, надмірно агравованим. Про це висловлюють стурбованість європейські фахівці. Їх думка полягає у наступному [13].

EurEau звертається до членів Європарламенту з проханням підтвердити значення ВООЗ 0,7 мг/л для хлорату и хлориту. В багатьох державах-членах оператори води не в змозі виконати норматив 0,25 мг/л, не змінюючи повністю очистку води. В Іспанії, наприклад, водні ресурси (головним чином поверхневі води) вимагають обробку діоксидом хлору. Крім цього, в багатьох випадках дезінфекція хлором супроводжується озонуванням (внаслідок тих же якісних проблем вихідної води). Озон окислює весь хлорит в хлорат, тому для хлората норматив 0,25 мг/л також є нереальним. Якщо члени Європарламенту підтверджують норматив 0,25 мг/л, служби водопостачання повинні будуть змінити обробку води: це зумовить величезні інвестиції, на які необхідні десятиліття, і це однозначно обумовить підвищення тарифів на воду.

Тут саме доцільно поговорити стосовно доцільності настільки надмірно жорсткого нормування хлоритів і хлоратів.

У роботі [14] досліджено вплив діоксиду хлору і його похідних (хлоритів і хлоратів) в еквімолярних (0,02 mM) концентраціях 1,35; 1,35; 1,67 мг/л на організм лабораторних тварин (білі щури-самці лінії Вістар) при тривалому вживанні питної води впродовж 100 днів. Встановлено відсутність достовірних змін ($p > 0,05$) показників крові, перекисного гемолізу еритроцитів, балансу перекисного окислення ліпідів/антиоксидантної системи. Відсутність вірогідності досліджених параметрів у порівнянні з контролем у щурят-самців з першого потомства самок, що споживали воду з тим же ранжуванням питного режиму, дозволяє зробити припущення щодо відсутності ембріотоксичності і тератогенності діоксиду хлору, хлоритів і хлоратів у вивчених концентраціях. Показано, що при заданих умовах експерименту

вивчені сполуки не спричиняють у шлунково - кишковому тракті та органах репродукції патологічних змін. Разом з тим, встановлено збільшення щільності розподілу сперматогоніїв у каналцях яєчок під впливом діоксиду хлору (констатовано деяке підвищення плідності у групі самців і самок, що споживали воду із діоксидом хлору, у порівнянні з контрольною та іншими дослідними групами) і деяке зростання активності NO-S у тканині селезінки у всіх дослідних групах, що, вірогідно, пояснюється ефектом гормезису, а також наявність діapedезних виходів еритроцитів у тканинах печінки і кишечника під впливом хлоратів. Отримані дані свідчать щодо необхідності подальшого вивчення цих аспектів впливу діоксиду хлору, хлоритів і хлоратів на організм.

Слід зазначити, що вивчена концентрація хлоритів майже у 2 рази перевищує рівень, рекомендований ВООЗ і майже у 7 разів – вітчизняний норматив. Разом із тим необхідно враховувати, що при концентрації діоксиду хлору 1,35 мг/л кількість хлоритів, що утворюються, буде складати максимально 70 % від введеного вихідного реагенту [6], тобто 0,945 мг/л, що дещо нижче нормативу ЕРА (1,0 мг/л) [15], перевищує рівень, рекомендований ВООЗ (0,7 мг/л) [8] і значно нижче встановленого безпечного рівня 1,7 мг/л [16]. Враховуючи, що залишкова концентрація хлоратів не перевищує 1 % від введеного діоксиду хлору [17], можна судити про безпечність діоксиду хлору при знезараженні води в концентраціях, які не перевищують 1,35 мг/л.

Аналіз вітчизняної наукової літератури та нормативно-методичної документації свідчить про нагальну потребу реалізацію наступних задач.

1. Узагальнення результатів досліджень вмісту хлоритів у питній воді із систем централізованого господарсько-питного водопостачання, де застосовують діоксид хлору.
2. Розробка, апробація та впровадження в практику роботи водоканалів методу визначення хлоратів у питній воді.
3. Визначення вмісту хлоритів і хлоратів в готовому гіпохлориті натрію, який поставляється у водоканали, в залежності від термінів їх зберігання.
4. Проведення моніторингу вмісту хлоритів і хлоратів у питній воді населених пунктів, де в процесі водопідготовки застосовують гіпохлорит натрію.
5. Визначення вмісту хлоратів у хлорованій водопровідній воді після її обробки озоном.
6. Обґрунтування оптимальних режимів обробки води окиснювачами для мінімізації вмісту хлоритів та хлоратів у питній воді із водорозподільної мережі.
7. Розроблення алгоритму мінімізації вмісту хлоритів та хлоратів як побічних продуктів знезараження води окиснювачами.

Висновок

Дослідження з розроблення технологічних засад мінімізації вмісту хлоритів та хлоратів як побічних продуктів знезараження води окиснювачами в Україні не проводились, що свідчить про неабияку актуальність та гостру необхідність такої науково-дослідницької роботи.

Література

1. Прокопов В. О. Питна вода України: медико-екологічні та санітарно-гігієнічні аспекти / за ред. А. М. Сердюка. Київ : ВСВ «Медицина» 2016. 400 с.
2. Мокиєнко А.В., Петренко Н.Ф., Гоженко А.И. Обеззараживание воды. Гигиенические и медико-экологические аспекты. Т. 1. Хлор и его соединения. Одесса. ТЭС, 2011. 484 с.
3. Мокиєнко А.В., Петренко Н.Ф., Гоженко А.И. Обеззараживание воды. Гигиенические и медико-экологические аспекты. Т. 2. Диоксид хлора. Одесса. ТЭС, 2012. 604 с.
4. Мокиєнко А.В., Петренко Н.Ф., Гоженко А.И. Обеззараживание воды. Гигиенические и медико-экологические аспекты. Т. 3. Озон. Одесса. Фенікс. 2017. 322 с.
5. Мокиєнко А.В. Обеззараживание воды. Гигиенические и медико - экологические аспекты. Том 4. Ультрафиолетовое облучение и комбинированные методы. Одесса. Фенікс. 2020. 378 с.
6. Мокиєнко А.В. Диоксид хлора: применение в технологиях водоподготовки 2-е изд. перераб и доп. Одесса : «Фенікс», 2021. 336 с.
7. Про затвердження Державних санітарних норм та правил "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною" 2.2.4-171-10. Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 12 травня 2010 року N 400. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 1 липня 2010 р. за N 452/17747. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text>
8. Guidelines for drinking water quality: fourth edition incorporating the first addendum. World Health Organisation. Licence CC BY-NC-SA 3.0 IGO 2017. 631 p.
9. Directive (EU) 2020/2184 of the European parliament and of the council of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption (recast). Режим доступу: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020L2184&from=ES>.
10. Siddiqui M. S. Chlorine-ozone interactions: Formation of chlorate M. S. Siddiqui // Water Research. – 1996. – V. 30, N 9. – P. 2160 – 2170.
11. Asami M. Bromate, chlorate, chlorite and perchlorate in sodium hypochlorite solution used in water supply / M. Asami, K. Kosaka, S. Kunikane // Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA. – 2009.

– V. 58, N 2. – P. 107 – 115

12. WHO Chlorite and chlorate in drinking-water. Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality. Geneva, World Health Organization (WHO/SDE/WSH/03.04/86). – 2003.

13. EurEau (European federation of national associations of water services). 2018. Режим доступу: <https://www.eureau.org/resources/position-papers/3012-drinking-water-directive-plenary-vote-eureau-explanatory-memorandum-1/file>

14. Мокиенко А. В. Эколого-гигиенические основы безопасности воды, обеззараженной диоксидом хлора. Дис. ... д. мед. н.: 14.02.01 ГУ «Институт гигиены и медицинской экологии им. А.Н. Марзеева АМН Украины». К.. 2009. 348 с.

15. Фомин Г.С., Фомина О.Н. Питьевая и минеральная вода. Требования мировых и европейских стандартов к качеству и безопасности. Москва: «Протектор». 2010. 320 с.

16. Subchronic toxicity of sodium chlorite in the rat. R.M. Harrington et al. *Jour. Amer. Coll. Toxicol.* 1995. V 14, N 1. P. 21 – 28.

17. Aieta E.M., Roberts P.V., Hernandez M. Determination of Chlorine Dioxide, Chlorine, Chlorite and Chlorate in Water. *J.AWWA*. 1984. V.76, № 7. P. 64 – 74.

References

1. Prokopov V. O. Pitna voda Ukraïni: mediko-ekologichni ta sanitarno-gigienichni aspekti / za red. A. M. Serdjuka. Kiïv : VSV «Medicina» 2016. 400 s.

2. Mokienko A.V., Petrenko N.F., Gozhenko A.I. Obezrazhivanie vody. Gigienicheskie i mediko-jekologicheskie aspekti. T. 1. Hlor i ego soedinenija. Odessa. TJeS, 2011. 484 s.

3. Mokienko A.V., Petrenko N.F., Gozhenko A.I. Obezrazhivanie vody. Gigienicheskie i mediko-jekologicheskie aspekti. T. 2. Dioksid hlora. Odessa. TJeS, 2012. 604 s.

4. Mokienko A.V., Petrenko N.F., Gozhenko A.I. Obezrazhivanie vody. Gigienicheskie i mediko-jekologicheskie aspekti. T. 3. Ozon. Odessa. Feniks. 2017. 322 s.

5. Mokienko A.V. Obezrazhivanie vody. Gigienicheskie i mediko - jekologicheskie aspekti. Tom 4. Ul'traioletovoe obluchenie i kombinirovannye metody. Odessa. Feniks. 2020. 378 s.

6. Mokienko A.V. Dioksid hlora: primenenie v tehnologijah vodopodgotovki 2-e izd. pererab i dop. Odessa : «Feniks», 2021. 336 s.

7. 7. Pro zatverdzhennja Derzhavnih sanitarnih norm ta pravil "Gigienichni vimogi do vodi pitnoi, priznachenoi dlja spozhivannja ljudinoju" 2.2.4-171-10. Nakaz Ministerstva ohoroni zdorov'ja Ukraïni vid 12 travnja 2010 roku N 400. Zareestrovano v Ministerstvi justicii Ukraïni 1 lipnja 2010 r. za N 452/17747. Rezhim dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text>

8. Guidelines for drinking water quality: fourth edition incorporating the first addendum. World Health Organisation. Licence CC BY-NC-SA 3.0 IGO 2017. 631 p.

9. Directive (EU) 2020/2184 of the European parliament and of the council of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption (recast). Rezhim dostupu: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020L2184&from=ES>.

10. Siddiqui M. S. Chlorine-ozone interactions: Formation of chlorate M. S. Siddiqui // *Water Research*. – 1996. – V. 30, N 9. – P. 2160 – 2170.

11. Asami M. Bromate, chlorate, chlorite and perchlorate in sodium hypochlorite solution used in water supply / M. Asami, K. Kosaka, S. Kunikane // *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*. – 2009. – V. 58, N 2. – P. 107 – 115

12. WHO Chlorite and chlorate in drinking-water. Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality. Geneva, World Health Organization (WHO/SDE/WSH/03.04/86). – 2003.

13. EurEau (European federation of national associations of water services). 2018. Rezhim dostupu: <https://www.eureau.org/resources/position-papers/3012-drinking-water-directive-plenary-vote-eureau-explanatory-memorandum-1/file>

14. Mokienko A. V. Jekologo-gigienicheskie osnovy bezopasnosti vody, obezrazhennoj dioksidom hlora. Dis. ... d. med. n.: 14.02.01 GU «Institut gigieny i medicinskoj jekologii im. A.N. Marzeeva AMN Ukrainy». K.. 2009. 348 s.

15. Fomin G.S., Fomina O.N. Pit'evaja i mineral'naja voda. Trebovanija mirovyh i evropejskih standartov k kachestvu i bezopasnosti. Moskva: «Protektor». 2010. 320 s.

16. Subchronic toxicity of sodium chlorite in the rat. R.M. Harrington et al. *Jour. Amer. Coll. Toxicol.* 1995. V 14, N 1. P. 21 – 28.

17. Aieta E.M., Roberts P.V., Hernandez M. Determination of Chlorine Dioxide, Chlorine, Chlorite and Chlorate in Water. *J.AWWA*. 1984. V.76, № 7. P. 64 – 74.

**КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ, ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІ,
СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА КІБЕРБЕЗПЕКА**

DOI 10.31891/2307-5732-2021-299-4-11-17
УДК 004.5.02

NAZAR MYKOLAYOVYCH TROSTYNSKYI

Khmelnytskyi National University

ORCID ID: 0000-0002-2271-7526

e-mail: trost1999@ukr.net

OLEKSANDR ANATOLIIOVYCH PASICHNYK

Khmelnytskyi National University

ORCID ID: 0000-0002-8760-4688

e-mail: o.a.pasichnyk@gmail.com

TETIANA KAZYMYRIVNA SKRYPNYK

Khmelnytskyi National University

ORCID ID: 0000-0002-8531-5348

e-mail: marine_1996@ukr.net

EDUARD ANDRIIOVYCH MANZIUK

Khmelnytskyi National University

ORCID ID: 0000-0002-7310-2126

e-mail: eduard.em.km@gmail.com

**INFORMATION TECHNOLOGY OF MAKING CONTROLLED CRITICALLY SAFE
DECISIONS WHEN VIEWING POINT CLOUDS “WEB POINT CLOUD VIEWER”**

The developed software product performs the following functions: work with cloud storage, work with camera, work with stage, work with model measurement, work with models and work with point clouds. The application of such a system is designed to automate and improve the end user's work with point clouds, namely their storage in the Autodesk cloud storage, display and manipulation. Interaction with such a system does not require high system requirements of hardware and software. From the obtained results it is possible to draw a constructive conclusion that the functional direction of the complex algorithmic model fully meets the requirements of the task.

Keywords: point clouds, visualization systems, laser scanner, photogrammetry, 3D coordinate systems, Autodesk, Autodesk ReCap.

Н.М. ТРОСТИНСЬКИЙ, О.А. ПАСІЧНИК, Т.К. СКРИПНИК, Е.А. МАНЗЮК

Хмельницький національний університет

**ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ОПТИМІЗАЦІЇ КОНТРОЛЬОВАНИХ ЛЮДИНОЮ КРИТИЧНО-
БЕЗПЕКОВИХ РІШЕНЬ ПРИ ПЕРЕГЛЯДІ ХМАР ТОЧОК “WEB POINT CLOUD VIEWER”**

Розроблений програмний продукт виконує такі функції: робота з хмарним сховищем, робота з камерою, робота зі сценою, робота з вимірюванням моделей, робота з моделями та робота з хмарами точок. Застосування такої системи призначене для автоматизації та покращення роботи кінцевого користувача з хмарами точок, а саме їх зберігання у хмарному сховищі, відображенні та маніпулюванні Autodesk. Взаємодія з такою системою не вимагає високих системних вимог до апаратного та програмного забезпечення. З отриманих результатів можна зробити конструктивний висновок, що функціональний напрямок складної алгоритмічної моделі повністю відповідає вимогам завдання.

Ключові слова: точкові хмари, системи візуалізації, лазерний сканер, фотограмметрія, 3D системи координат, Autodesk, Autodesk ReCap.

FORMULATION OF THE PROBLEM

The cloud of points obtained as a result of laser scanning is the primary result that requires high-quality processing. Further work consists in solving two main and sometimes mutually exclusive problems - increasing the accuracy of surface reproduction, which is solved by increasing the points in the cloud, and providing the necessary speed, with a diametrically opposite solution.

The development and implementation of appropriate efficient information technologies using appropriate modern development tools allow the implementation of systems that simultaneously provide high scanning accuracy combined with acceptable speed, allow you to operate large clouds of points with acceptable lead times.

ANALYSIS OF RECENT RESEARCH

Currently, there are quite a few desktop applications for working with point clouds, first of all, it's Autodesk ReCap (Figure 1). This application allows you to create 3D models from photos or laser scanning with excellent accuracy and efficiency, as well as accurately create 3D clouds or grids for further design in Autodesk tools [2], such as Revit, Civil 3D, AutoCAD, Navisworks and more. Recap provides an opportunity before indexing the project and its completion in a single cloud of points, to apply various settings using a set of filters.

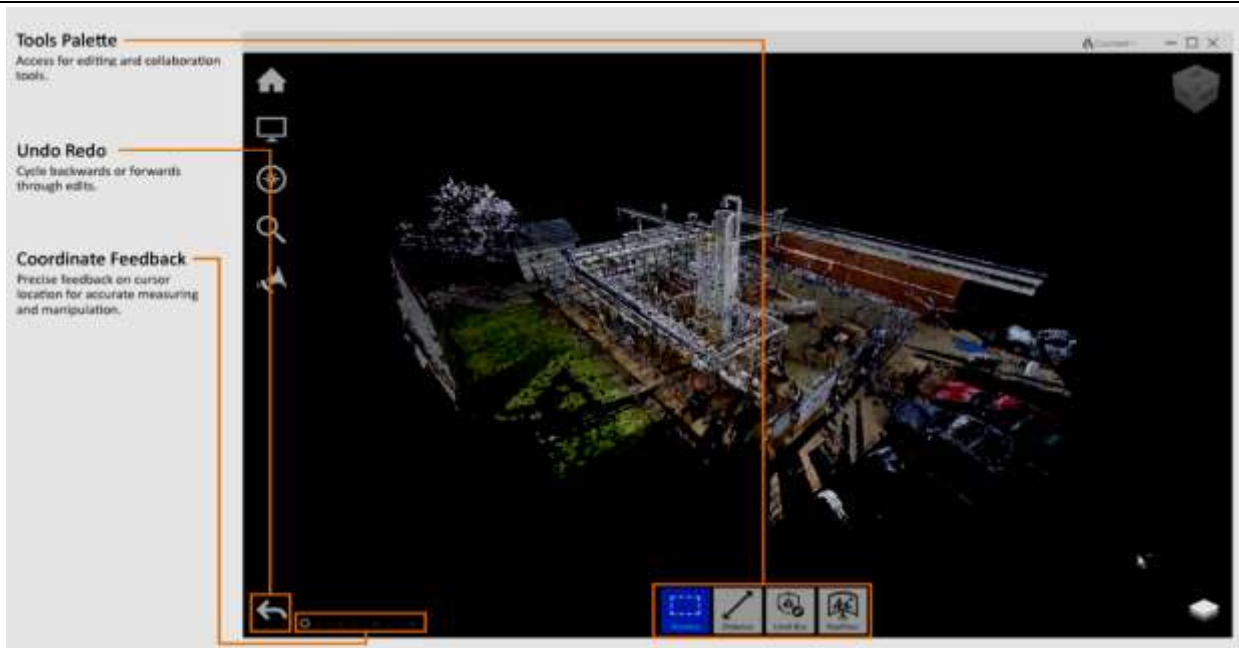


Figure 1. Autodesk ReCap

ReCap determines how to exclude aggressively rejected points from an imported scan file, that is, points that do not belong directly to the object. The ReCap toolkit allows you to measure, mark point clouds and share them with collaborators.

In addition, because points are generated by your own Autodesk product, points can be imported into all other Autodesk products. You can use the ReCap dot file to clean up a scan of an existing building and then import it into Revit to start the exact 3D BIM design [3]. You can also import a cleaned ReCap cloud in Civil 3D [4].

The main disadvantage of ReCap is its desktop and paid implementation.

The current global trend in the development of modern information technology is their Internet orientation, which consists in the implementation of software in the form of web applications with obvious conveniences and benefits.

The Potree web application [4] is a free open source cloud point rendering created at the Institute of Computer Graphics and Algorithms, TU Wien [6] (Figure 2).

This technology is easily integrated into the mechanical engineering and manufacturing industries. It is possible to capture the reality of any existing part, such as a pipe flange, to which you want to connect, but has no design parameters. With this technology, you can impose a new part according to the size, placement of holes in the bolts with tolerances.

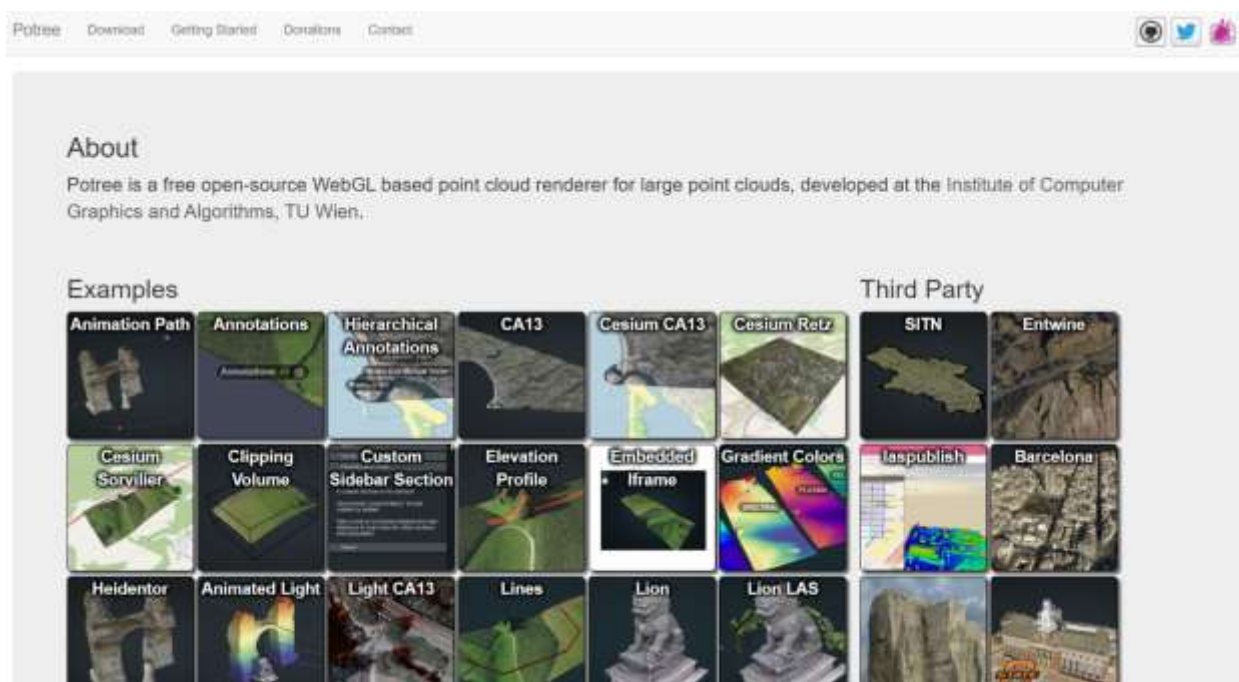


Figure 2. Potree

This web application provides opportunities directly for point cloud rendering, as well as additional features for measuring geometric parameters.

The main advantage of this web application is its open source.

Another example of specialized sites for viewing point clouds is the site Online LIDAR point cloud viewer [7] (Figure 3). This site also provides the ability to render a cloud of points with a set of additional features.

The main disadvantage of this site is the support of only two data formats LAS 1.2 [8] and XYZ [9].



Figure 3. Online Lidar point cloud viewer

The analysis of literature sources shows a significant and growing need for means of identification of remote users. This is due to the rapid development and widespread introduction of information technology in various spheres of human life. The process of informatization and digitalization of society creates opportunities for raising the standard of living of people to a qualitatively new level, and creates a whole range of challenges and threats associated with various types of misuse of data. A prerequisite for abuses in the information sphere is the acquisition of unauthorized access by attackers, which determines the issue of identification of remote users as a priority.

In modern systems, various access control systems are implemented from hardware, hardware-software, software-hardware to purely software that implement various technical solutions and software algorithms.

In the case of information systems and information technologies, the basic tools of these issues are the use of appropriate algorithms for identifying remote users. These algorithms should provide reliable protection against malicious intrusion, and on the other - to provide comfortable access to appropriate users. One of the most effective are technologies that implement the concept of "zero knowledge". However, the application of this technology requires a solution to the question of the level of computing power.

The purpose of the research: as a result of the analysis of existing approaches the following tasks of research which purpose is realization of the viewer of clouds of points "Web Point Cloud Viewer" with a sufficient level of accuracy and speed of computing ability and availability are formulated:

1. To analyze the existing methods, technologies and solutions of methods of information system of visualization of objects as clouds of points;
2. Improving existing methods of visualization of objects as a cloud of points in the direction of improving accuracy and speed;
3. To develop information system for visualization of objects as a cloud of user identification points using the obtained models and methods;
4. Perform an experimental test of the information system for visualization of objects as a cloud of points.

PRESENTATION OF THE MAIN MATERIAL

In modern production, the wide expansion contains models that are stored in the form of a cloud point. A point cloud is a set of data about points in a real coordinate system [10].

In a three-dimensional coordinate system, points define the coordinates X, Y, and Z, and are most often defined to represent the outer zone of an object.

The point cloud can be created by a 3D scanner [11]. Such devices form a large number of points in the objects with the subsequent presentation of information about the cloud of points in the data files.

Capturing individual unrelated points is the key to using a cloud point. Recovered point clouds are easy to edit, display and filter. The computer should not worry about the scale or ask for points, limit the position and capabilities, color. This makes them a convenient way to store large amounts of detailed data.

Although point clouds can be used for rendering and validation, they do not need to be supplemented for

use in the context of 3D applications. Therefore, they are usually retold in models with a polygonal or triangular grid, in the NURBS model or CAD model through the process of so-called system reconstruction. It is not uncommon for a scan of a single area, such as a city block or airfield, to contain billions of data points.

There are many methods of converting a cloud of points into a 3D surface. In particular, in [12] a comparative table with 35 methods of converting information from a cloud of points is given. Some approximations, such as the Delaunay triangulation, the Alpha form, and the rotary crop method, will construct a triangular or polygonal grid for already existing vertices of the point cloud, while other approximations will construct long-range volumetric tables or reconstruct uncertain confidentiality using a cropping algorithm.

One of the industries where point clouds are used is industrial metrology and quality control using industrial computed tomography. The cloud of points obtained as a result of three-dimensional scanning of the finished industrial production is compared with the corresponding CAD-model of this production or other (reference) chromatography, which provides a difference between the projects and the actual parameters. These differences can be reflected in the form of color maps, in those places and areas that deviate between the actual surface and the formal model can be automatically highlighted by certain indicators. Geometric dimensions and additional dimensions can also be used using a point cloud.

Dot clouds can be used to represent and visualize volumetric data, for example, in the field of medical imaging. Due to the use of cloud points in such tasks, data animation and stimulation are achieved.

In geographic information systems, point clouds are one of the sources used to create a digital terrain model. Point clouds are also used to create digital models of urban areas.

To design the structure of the web application "Web Point Cloud Viewer" provides analysis and automation of information flow processing. Specialized software is developed for users of the system; its functionality must meet all the necessary conditions for processing account data. Business processes in the work of the user of the system can be divided into the following groups:

1. Business process "Using cloud storage" (Figure 4):

- creating a new user;
- user login;
- user logout;
- creation of new folders;
- loading point clouds into the storage;
- loading point clouds from storage.

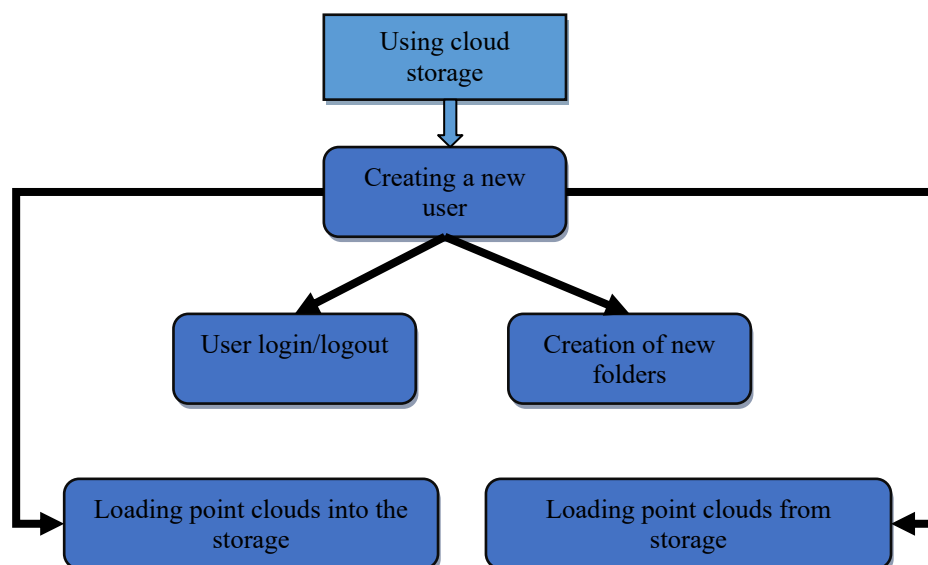


Figure 4. Business process for working with cloud storage

2. Business process "Working with the camera" (Figure 5):

- change of the camera inspection sector;
- change the type of camera;
- change the position of the camera;
- return the camera to its original position.

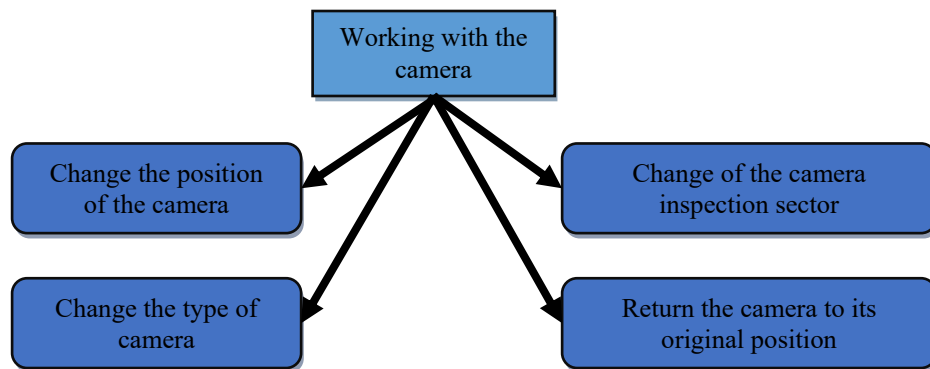


Figure 5. Business process for working with the camera

3. Business process "Working with the scene" (Figure 6):

- showing the model from different angles;
- taking a picture of the scene;
- change the color background of the scene;
- support for the list of keyboard shortcuts;
- display of the global coordinate system of the model.

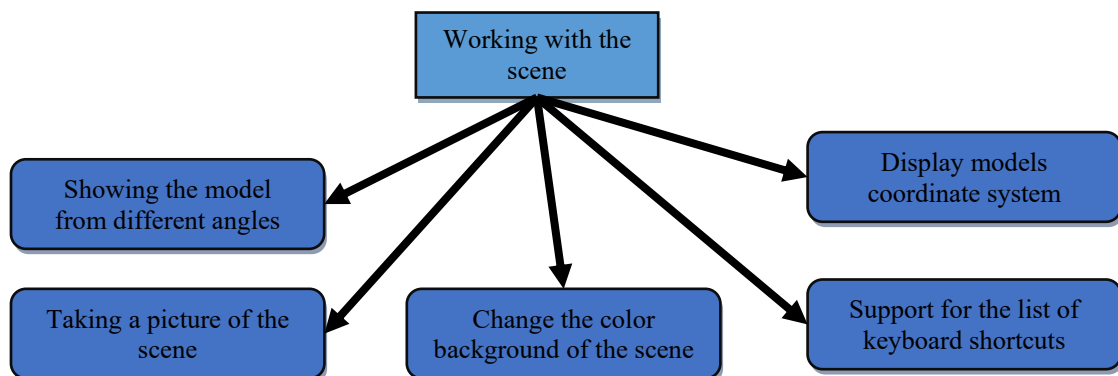


Figure 6. Business process for working with the scene

4. Business process "Working with the model" (Figure 7):

- modification of the size of points;
- color change of model points;
- return to the original color.

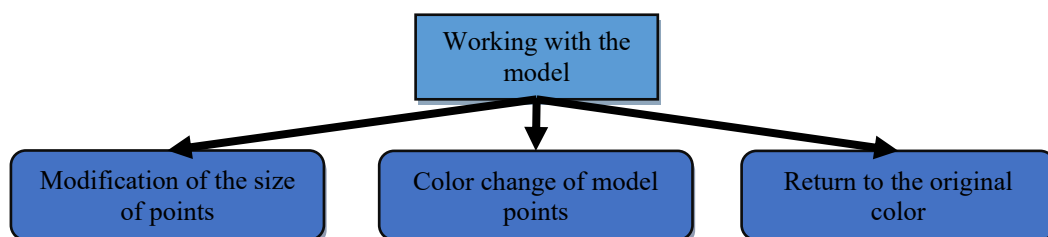


Figure 7. Business process for working with the model

5. Business process "Working with model measurement" (Figure 8):

- measuring the position of the point;
- measuring the distance between two points;
- measuring the distance between many points;
- measuring the angle between points;
- area measurement.

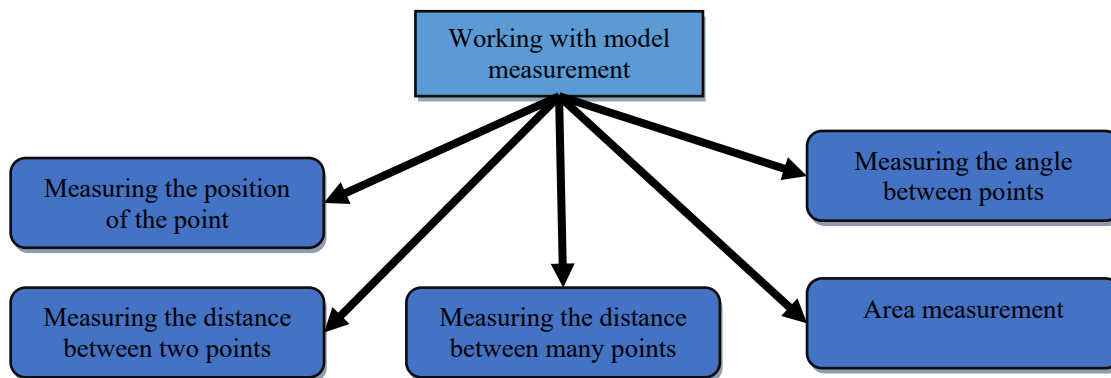


Figure 8. Business process for working with model measurement

6. Business process "Working with point clouds" (Figure 9):

- file extension recognition;
- processing and reading binary files;
- processing and reading files in ASCII format;
- model preview.

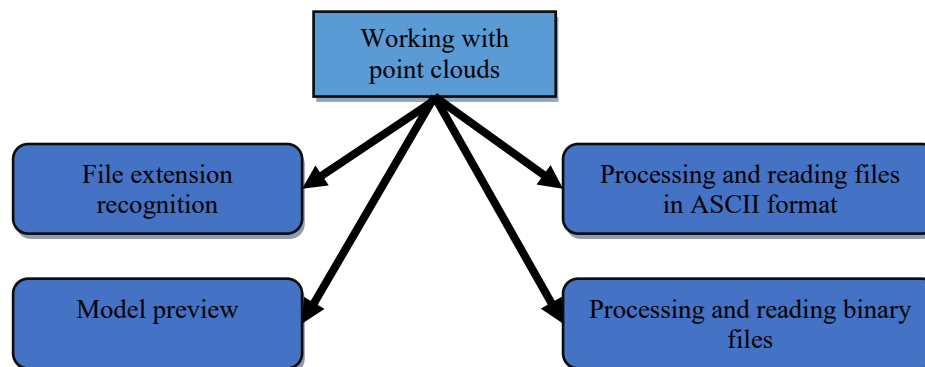


Figure 9. Business process for working with point clouds

Business process for user work with cloud storage. This business process provides the user with the ability to create an account, log in to an account, log out of a personal account, upload point clouds to the repository, and upload point clouds to a local computer.

Business process for working with the camera. This business process provides the user of the IP with the ability to change the viewing sector of the camera, change the position of the camera, change the type of camera (perspective orthogonal) and return the camera to its original position.

Business process for the user's work with the scene. This business process allows the user of the IP to change the side from which the model is displayed, take and load a scene image, change the background color of the scene, dynamically show the direction of the model using a global coordinate system. In addition, this business process provides the ability to support the execution of commands using hotkeys, as well as displays a list of them.

Business process for user work with the model. This business process allows the user of the IP to modify the colors and sizes of the model points and return the sizes and colors of the points to the default state.

Business process for user work with model measurement. This business process allows the user of the IP to determine the position of the point, measure the distance and angle between the points, as well as measure the area.

Business process for user work with point clouds. This business process provides the user of the IP the ability to process and retrieve data from binary files as well as files in ASCII format. This business process also determines the file extension and allows you to view a preview of the model.

In order for a web application user to be able to work with personal account data, he must perform the required set of operations for authorization.

To start working with the connected cloud storage, the user must log in to the personal account of Autodesk. If an error message was received while trying to log in to your account, it means that the IP user entered incorrect data. If the login and password were entered correctly, the software application will have to grant permission to access user data from Autodesk servers.

On its account page, the user deals with the following functionality: working with the cloud storage (creating a new user, user login, user login, creating new folders, loading point clouds into the repository, loading point clouds from the repository), working with the camera, change camera view, change camera position, return camera to starting position), work with scene (show model from different sides, create scene snapshot, change scene background color, display global model coordinate system, work with hot keys), work with model (modification of point size, coloring of model points, return of original color), work with model measurement (measuring point

position, measuring distance between two points, measuring distance between many points, measuring angle between points, measuring area) and working directly with point cloud (file extension recognition, processing and reading binaries and files in for mother ASCII, model preview).

Thus, after analyzing the processing of information flows, for the web application "Web Point Cloud Viewer" was defined a complete list of business processes that are subject to automation algorithms. With an organized functional diagram of the end user and object-oriented feature groups, you can develop an information system structure that will be designed to view, manipulate, and modify point clouds, as well as to store documents from an Autodesk account.

CONCLUSION

The developed software product performs the following functions: work with cloud storage, work with camera, work with stage, work with model measurement, work with models and work with point clouds.

The application of such a system is designed to automate and improve the end user's work with point clouds, namely their storage in the Autodesk cloud storage, display and manipulation. Interaction with such a system does not require high system requirements of hardware and software.

From the obtained results it is possible to draw a constructive conclusion that the functional direction of the complex algorithmic model fully meets the requirements of the task.

References

1. Everything you need to know about point clouds. URL: <https://www.navvis.com/blog/everything-you-need-to-know-about-point-clouds-navvis>
2. Autodesk. URL: <https://www.autodesk.com/>
3. Autodesk BIM. URL: <https://www.autodesk.com/solutions/bim>
4. Autodesk Civil 3D. URL: <https://www.autodesk.ru/products/civil-3d/overview>
5. Potree. URL: <http://potree.org/>
6. Tuwien. URL: <https://www.tuwien.at/>
7. Lidarview. URL: <http://lidarview.com/>
8. LAS specification The American Society for Photogrammetry & Remote Sensing. 2013. P. 10–13. URL: https://www.asprs.org/wp-content/uploads/2010/12/LAS_1_4_r13.pdf
9. XYZ specification. URL: <https://www.adoclib.com/blog/point-cloud-xyz-format-specification.html>
10. Point clouds. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Хмара_точок
11. 3D laser scanner. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/3D-сканер>
12. Marcel Berger articles. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Marcel_Berger

А. БОЙЧУК

Національний університет «Львівська політехніка»

ORCID: 0000-0002-0563-5748

e-mail: andrii.r.boichuk@lpnu.ua

Р. КАМІНСЬКИЙ

ORCID: 0000-0002-8083-4288

Національний університет «Львівська політехніка»

e-mail: kaminsky.roman@gmail.com

Н. ШАХОВСЬКА

Національний університет «Львівська політехніка»

ORCID: 0000-0002-6875-8534

e-mail: nataliya.b.shakhovska@lpnu.ua

Б. ХУДОБА

Національний університет «Львівська політехніка»

e-mail: Bohdan.p.khudoba@lpnu.ua

ВПЛИВ КОЛЬОРУ ТЛА ЗОБРАЖЕННЯ-ТЕСТУ НА ЧАС ВИЯВЛЕННЯ ЛЮДИНОЮ-ОПЕРАТОРОМ ОБ'ЄКТА, ЛОКАЛІЗОВАНОГО НА НЬОМУ, В СИСТЕМАХ КОМП'ЮТЕРНОГО ТРЕНІНГУ

В роботі представлені результати експериментального дослідження впливу на час розпізнавання об'єкта уваги заданого кольору, від кольору тла, на якому цей об'єкт випадковим чином локалізований. До уваги були взяті такі фактори: орієнтація тла, сектор локалізації об'єкта, площа ділянки з об'єктом, колір цієї ділянки та складність самого розпізнавання. Аналіз результатів показав, що не дивлячись на відмінності у психофізичних індивідуальних характеристиках, існує вплив кольору тла на час розпізнавання об'єкта уваги.

Ключові слова: співвідношення кольорів об'єкт-тло, комп'ютерний тренажер, зображення-тест, час розпізнавання, діаграма розмаху.

A. BOICHUK, R. KAMINSKY, N. SHAKHOVSKA, B. KHUDOBA

Lviv Polytechnic National University

INFLUENCE OF COLOR OF THE IMAGE-TEST BACKGROUND ON THE TIME OF DETECTION BY THE HUMAN-OPERATOR OF THE OBJECT LOCATED ON IT, IN COMPUTER TRAINING SYSTEMS

The paper presents the results of an experimental study regarding the influence on the recognition time of an object of a given color, from the background color on which this object is randomly localized. The following factors were taken into account: background orientation, object localization sector, area of the site with the object, color of this area, and the complexity of the recognition itself. Eight young students agreed to take part in the experiment. The working hypothesis was whether the recognition time depends on the color of the background area on which the object of attention is located. The object of attention was a light gray image of the plane. The research results are presented in the tables of values of expert estimates of factors and diagrams of the scope - box plot diagrams. The homogeneity of the psychophysical characteristics of the recipients is represented by the result of cluster analysis using as signs of indicators of individual time series, multiple regression equations. The organization of the experiment was to provide the recipient on the monitor of a computer simulator sequence of test images with the appropriate characteristics. The analysis of the results showed that despite the differences in individual psychophysical characteristics, background-color influences the time of recognition of the object of attention. In general, the study showed that, despite some simplicity and primitiveness of the test image, we could confidently accept the assumption of the influence of background color on the time of search and detection of objects of attention. As the sets of scale diagrams show, each recipient perceives the color differently, and in this case, for some background colors, the difference between the recipients is quite small.

Keywords: Color ratio object-background, computer simulator, image-test, recognition time, scope diagram.

Постановка проблеми

Одним із видів операторської діяльності є пошук і виявлення на зображенні, приведеному на моніторі, об'єктів заданого класу. Наприклад, пошук дефектів в матеріалі, помилок в текстах, об'єктів інтересу на аерокосмічних знімках тощо. Саме на подібні до останніх зображень є орієнтована дана робота в сенсі підготовки операторського персоналу з допомогою комп'ютерних тренажерів. В якості тестового матеріалу тут використано спеціально розроблений набір зображень, які фактично є моделями реальних ситуацій, проте ці зображення мають метрологічні параметри: колір, орієнтацію, розміри секторів та ділянок локалізації об'єктів пошуку. Такий набір подається реципієнту у вигляді послідовності зображень-тестів на моніторі комп'ютерного тренажера і як результат його (набору) є послідовність значень втраченого на пошук заданого об'єкта. Для кожного наданого час виявлення вимірюється з моменту появи зображення на моніторі до моменту сигналу про його виявлення. Не виявлення об'єкта означає, що час його пошуку на даному зображенні-тесті рівний часу експозиції цього зображення. В дослідженні об'єкт уваги був один і той самий – літак світло-сірого кольору, а кольори ділянок тла утворювали палітру: темно-сірий, темно-синій, світло-синій, блакитний, темно-зелений, світло-зелений, жовтий. В загальному, базове зображення представляло кольорове стилізоване зображення гіпотетичного фрагменту з випадковими за формою водними поверхнями та суходолом. Об'єкт пошуку на кожному зображенні був локалізований випадковим чином на різних за кольором і розмірами ділянках. Розташування об'єкта на різних ділянках створювало

певну складність його виявлення, тому робочою гіпотезою в даному дослідженні є H_0 : «колір тла впливає на час виявлення об'єкта». Отже, виявлення впливу на оперативність людини-оператора пари «колір об'єкта – колір тла», на якому цей об'єкт локалізований має важливе значення для побудови відповідних реальним робочим ситуаціям тестувальних засобів, а в даному випадку специфічних зображень-тестів. Тому дане науково-прикладне дослідження є орієнтоване на для підвищення ефективності розробки зображень-тестів в системах професійного відбору, навчання та атестації операторського персоналу з використанням комп'ютерних тренажерів.

Метою даного дослідження є виявлення впливу конкретного кольору тла на час пошуку об'єкта уваги заданого класу, який локалізований на цьому тлі.

Огляд літератури

В [1] мова йде про побудову гармонійних кольірних сполучень, використання кольірних моделей, налаштування системи керування кольором, застосування кольірних профілів, виконання кольорокорекції та кольороподілу тощо. Наведено приклади, спрямовані на підвищення ефективності процесу здійснення комп'ютерного та друкарського кольоровідтворення. У [2] вказується на те, що хоча більшість наукових застосувань аналізують і пояснюють дані, використовуючи середнє значення, в той час як Boxplots відображає інформацію навколо середнього значення – медіани.

Стосовно дослідження впливу кольору на розпізнавання об'єктів локалізованих на текстурованому тлі різного кольору загальну картину зорового сприйняття надає діагностичний тест Ішихари [3]. У монографії [4] висвітлюються різні аспекти взаємозв'язку кольору і психіки людини. Описується психофізіологічний і психологічний вплив кольору на людину. Аналізуються фактори і механізми кольірних переваг. Обговорюються актуальні питання кольірної психодіагностики. У роботі [5] запропоновано подати короткий опис отриманих даних у вигляді діаграми розмаху, названою в оригіналі «ящик з вусами». У роботі [6] досліджується вплив вибору кольору тла на виявлення та розрізнення кольорових об'єктів за різних умов. Проведене вимірюємо придатності кольору тла з двох різних точок зору: виявлення та розрізнення різних кольірних груп об'єктів. Завдяки експериментальній оцінці виявлено, що немає єдиного оптимального кольору тла, придатного для всіх груп кольорів. В [7] описаний експеримент, метою якого було вивчити вплив поєднання тексту веб-сторінки і кольору фону на читабельність, збереження, естетику та поведінкові наміри. Як показали результати дослідження: кольори з більшим коефіцієнтом контрастності, як правило, призводять до більшої читабельності; поєднання кольорів не суттєво вплинуло на збереження образу; бажаними кольорами (сині та хроматичні) призвели до вищих оцінок естетичної якості.

Систематичний огляд наукової літератури про вплив кольору на розпізнавання об'єктів приведено в [8]. Автори цього дослідження виявили, що колір важливий для здатності розпізнавати артефакти та природні об'єкти, розпізнавати об'єкти, представлені у вигляді типів (лінії-малюнки) або як жетони (фотографії) та розпізнавати об'єкти, представлені без деталей поверхні, таких як текстура чи тінь. У сукупності результати мета-аналізу підтверджують те, що колір відіграє важливу роль у розпізнаванні об'єктів, а це означає, що роль кольору слід враховувати у моделях розпізнавання візуальних об'єктів. В [9] докладно розглянуто метод обчислення багатовимірної середньої.

Виклад матеріалу

Залежність часу розпізнавання об'єктів одного кольору на тлі ділянок інших кольорів суттєво залежить від поєднання цих кольорів в сенсі індивідуальних психофізичних властивостей. Для виявлення залежності часу знайдення конкретного об'єкта уваги на тому чи іншому кольоровому тлі запропонована методика розробки набору спеціалізованих зображень-тестів. В якості зображення такого тла використано стилізоване зображення вододілу і суходолу деякої гіпотетичної місцевості. Об'єктом уваги в даному дослідженні є світло-сіре зображення літального апарату, за яким ведеться спостереження за допомогою супутника, розміщеного над територією даної місцевості.

Побудова базового зображення

Зображенням тла є стилізованим зображенням ділянки гіпотетичного водорозділу. Використання прямокутних різнокольорових елементів дає можливість отримати однорідні за кольором ділянки локалізації об'єкта уваги як це показано на рис. 1.

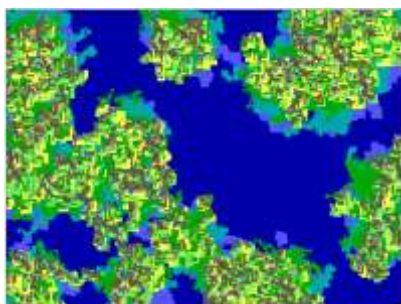


Рис. 1. Вигляд базового тестового зображення (об'єкти уваги відсутні)

зображення суходолу.

Алгоритм створення зображення тла можна подати в такий спосіб. Структура зображення водорозділу виконана шляхом вибору координат центрів розвитку текстури утворюваної випадковою локалізацією твірних елементів – випадкових за формою, величиною та кольором прямокутників. Суть алгоритму полягає в наступному.

1. Вибирають розмір зображення тла і його колір; в даному випадку це синій колір. Випадковим чином в межах заданого поля уваги (за розміром зображення тла) вибираються декілька пар координат, які задають центри утворення областей випадкової форми, що відтворюють

2. Координати визначають центри базових точок. В околі кожної базової точки генерується група

пар координат нових точок. Основною вимогою тут є те, що відстань між точкою, яка є центром і заданою ним новою точкою не може перевищувати деякого, заданого значення. В даному випадку, відстань є лише у 2 – 2.5 рази є більша за розмір об'єкта.

3. В кожній новій точці даної групи точок генерується одна нова пара координат, яка, у свою чергу використовується для генерування наступної пари координат, причому вимога щодо відстані між ними залишається такою ж, а кількість таких ітерацій є обмеженою кількома десятками. Розподіл точок в цьому алгоритмі нагадує броунівський рух.

4. Утворена в такий спосіб послідовність точок використовується в якості центрів локалізації елементів текстури областей, які імітують суходіл. Іншими словами, як тільки визначені координати такої точки, в неї поміщають елемент текстури з випадковим значенням кольору та розмірів. Для даних тестів використано таку палітру кольорів: для вододілу – синій, яскраво-синій, блакитний; для суходолу – темно-сірий, коричневий, зелений, світло-зелений, жовтий.

Оскільки координати точок є випадковими, то і траєкторії їх послідовностей будуть лежати в межах деякої області переважно неправильної форми. Для визначення впливу кольору тла на час знаходження локалізованого на цьому тлі об'єкта уваги заданого класу необхідно використовувати швидкозмінну послідовність зображень. Кількість зображень-тестів в наданій послідовності становить 180. З огляду на таке число зображень і вимогу що одне і те саме зображення має декілька раз бути експоноване вирішено обмежитися послідовністю в 60 зображень, але експонувати її три рази поспіль.

Метрологічні характеристики зображень-тестів.

В якості сценарію використано деякий гіпотетичний процес знаходження на зображенні-тесту об'єктів заданого класу. Такі зображення-тести, подаються у вигляді послідовності, чим імітують реальні сцени і ситуації в даного типу операторської діяльності. Кожне зображення-тест моделює випадковою кольоровою текстурою гіпотетичне аерокосмічне зображення земної поверхні, а об'єктом уваги є малорозмірне зображення літака. Для кількісного оцінювання кожного зображення використано таку систему оцінок:

- орієнтація прямого та дзеркального зображення тла відносно горизонтальної та вертикальної осей;
- розбиття зображення тла на сектори ймовірної локалізації об'єкта пошуку;
- визначення методом експертного оцінювання площі ділянки локалізації об'єкта;
- вибір кольору ділянки локалізації об'єкта;
- суб'єктивної складності виявлення даного зображення об'єкта пошуку.

Орієнтація зображення. В даному наборі зображень-тестів використовується лише одне зображення в чотирьох афінних поданнях: оригінал, поворот зліва направо на 180° , поворот зверху вниз на 180° і поворот зліва направо і зверху вниз, кожен на 180° . Таким чином, сама текстура базового зображення залишається незмінною. Отже, використано лише ці чотири градації поворотів. З точки зору кількісного представлення ці повороти відповідають конкретним числовим значенням, а саме: 1, 2, 3 і 4. Базові зображення-тести відрізняються між собою лише положеннями відносно спостерігача – поворотами на π . В табл. 1 наведені числа типу орієнтації для кожного з зображень короткої послідовності. Ці числа не є номінальними ознаками повороту, а є, скоріше, кількісною оцінкою даної орієнтації за 4-бальною системою. Така інтерпретація необхідна для побудови моделі впливу конкретного зображення на час його зорового опрацювання в процесі пошуку.

Таблиця 1

№ зоб- раження	Орієнтація зображення	№ зоб- раження	Орієнтація зображення	№ зоб- раження	Орієнтація зображення	№ зоб- раження	Орієнтація зображення
1	2	16	2	31	4	46	3
2	3	17	1	32	2	47	4
3	4	18	3	33	1	48	2
4	2	19	4	34	3	49	1
5	1	20	2	35	4	50	3
6	2	21	1	36	2	51	4
7	4	22	3	37	1	52	2
8	2	23	4	38	3	53	1
9	1	24	2	39	4	54	3
10	3	25	1	40	2	55	4
11	4	26	3	41	1	56	2
12	2	27	4	42	3	57	1
13	1	28	2	43	4	58	3
14	3	29	1	44	2	59	4
15	4	30	3	45	1	60	2

Складність ділянок поля уваги. Зображення суходолу і вододілу є нерегулярними і з точки зору пошуку включають ділянки з різною текстурою. Наприклад, для вододілу характерні великі ділянки одного кольору, а для суходолу невеликі та навіть досить малі. Оскільки локалізація зображення об'єкта охоплює

усю площу зображення поля уваги, для визначення впливу кольору ділянки на час пошуку об'єкта усю площу було розбито на 20 однакових за величиною секторів – прямокутних областей. Для кожного з зображень-тестів об'єкт уваги був локалізований лише в одному випадковому секторі. Локалізація об'єктів уваги здійснювалась за умови – як найкраще «заховати» об'єкт. Виходили з таких міркувань: сектор має бути достатньо великим, але таким, що співвідношення площ вододілу і суходолу відповідали деякій шкалі його градацій. Іншими словами, сектор, який практично охоплює тільки вододіл має найменшу складність, а сектор, що охоплює лише суходіл – найвищу. Проміжні градації визначені експертним методом.

Номинація секторів відповідала їх номерам в порядку зліва направо і зверху вниз як для звичайної таблиці 5×4 , тобто 1, 2, ..., 20. Сектори занумеровані як показано на рис. 2. Оцінювання складності чи насиченості проведено за 4-бальною шкалою. Розподіл секторів за балами є такий:

- 1 бал – найлегше виділити об'єкт в секторах 8 і 14;
- 2 бали – більш складно в секторах 2, 3, 7, 9, 10, 13, 16, 20;
- 3 бали – досить складно в секторах 1, 4, 6, 11, 15, 17, 18, 19;
- 4 бали – дуже складно в секторах 5, 12.

Кожен з цих секторів подано як характеристику умовної складності пошуку та виявлення об'єкта уваги або як ступінь насиченості дрібними різноколірними елементами. Таке оцінювання проведено експертним методом.

Оцінювання площі ділянок з об'єктами.

Враховуючи психофізичні особливості процесів пошуку можна припустити, що чим більшою є площа з локалізованим на ній зображенням, тим менші витрати часу на пошук і розпізнання об'єкта уваги. Оцінку такої площі тут здійснено експертним методом також за 4-х бальною системою. Критерії оцінювання в цьому випадку такі:

- 1 бал – площа достатня для розміщення кількох таких об'єктів без їх перекриття (> 3);
- 2 бали – площа допускає розміщення лише трьох таких об'єктів);
- 3 бали – можна розмістити лише два об'єкти;
- 4 бали – може бути локалізованим лише один об'єкт.

Палітра кольорів. Кольорова палітра ділянок тла з шуканим об'єктом складалася з семи кольорів: темно сірого, синього, світло-синього, блакитного, зеленого, світло-зеленого і жовтого. Ділянки мали різну форму і площу.

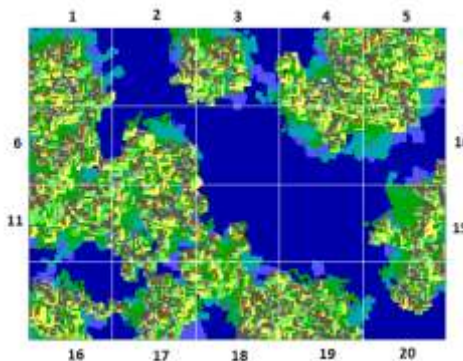


Рис. 2. Поділ поля уваги – тестового зображення на сектори

Таблиця 2

Номер	Колір		Номер	Колір	
1	Синій	Вододіл неглибокий	9	Світло-синій	Вододіл глибокий
2	Зелений	Суходіл ліси	10	Світло-зелений	Суходіл луки
3	Блакитний	Вододіл мілини	14	Жовтий	Суходіл піщаний
8	Темно-сірий	Суходіл кам'янистий	7	Світло-сірий	Об'єкт уваги

З метою отримання якомога більшого обсягу вибірок коротка послідовність була розбита на три частини, а саме: $28 + 28 + 4$ зображення. Перша і друга підпослідовності включали по чотири зображення різного кольору тла, але відрізнялися локалізацією самих об'єктів. Останні чотири зображення відповідали найлегшому розпізнаванню об'єктів. Таким чином, коротка послідовність дає 8 зображень-тестів з заданим кольором тла і для деяких кольорів ще по одному. В результаті, для повної послідовності маємо по три вибірки з різним кольором тла обсягом 24 зображення-тестів і по чотири вибірки обсягом 27 зображень-тестів.

Локалізація об'єктів уваги. В процесі розробки зображень-тестів вибір ділянок для локалізації об'єктів уваги є суб'єктивно-випадковим, тобто здійснений одним із організаторів дослідження. Іншими словами, відшукувались ділянки, в які міг бути поміщений об'єкт. На базовому зображенні тла будь-яка ділянка є випадковою. З другого боку, відшукати потрібну кількість ділянок кожного кольору складно – бо їх може і не бути. Тому, в цьому плані говорити про однорідність локалізації об'єктів не можна оскільки і форма і розміри їх є різні. На рис. 3 приведені фрагменти зображень-тестів з локалізованими на них об'єктами. Зображені фрагменти відображають ситуації, на яких реципієнтам найчастіше не вдалось виявити ці об'єкти.

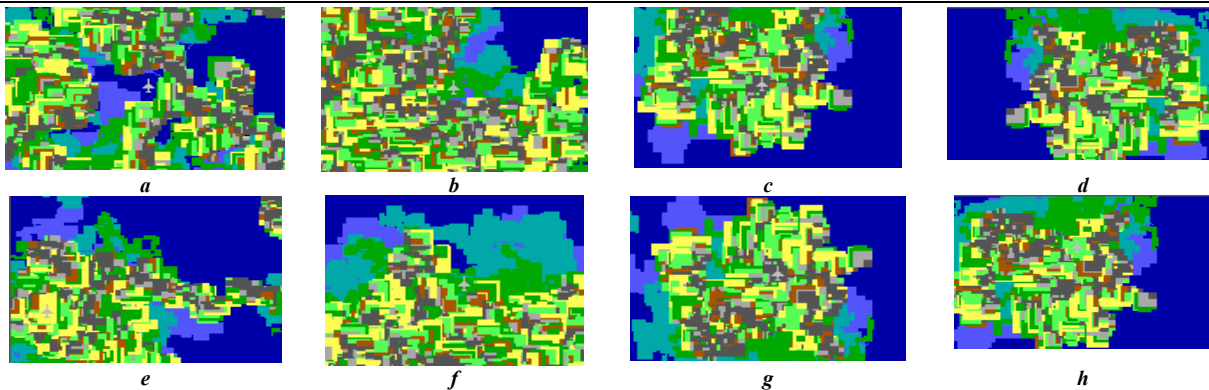


Рис. 3. Фрагменти з найскладнішим виявленням об'єктів на кольоровій ділянці тла:
a – темно-синього; *b i f* – темно-зеленого; *c i g* – темно-сірого;
d i h – світло-зеленого; *e* – жовтого кольорів

Підготовка і проведення експериментального дослідження

Таким чином, визначення характеристик набору зображень-тестів та локалізації на них об'єктів уваги заданого класу, дало можливість в результаті трикратного об'єднання утворити одну послідовність з тестових зображень. Ця послідовність включає 180 зображень-тестів, які мають бути пред'явлені кожному реципієнтові. Робота полягає у тому, щоб як найшвидше виявити об'єкт уваги і прийняти рішення про його присутність на даному зображенні-тесті шляхом наведенням на виявлений об'єкт і натисканням на відповідну клавішу.

Зміст процесу дослідження можна подати такими кроками.

1. Реципієнт запускає програму експозиції зображень тестів. В момент появи зображення-тесту включається комп'ютерний секундомір з кроком вимірювання 1 ms. У процесі пошуку реципієнт в момент виявлення об'єкта уваги наводить на об'єкт візир і клацає мишкою, чим зупиняє секундомір. В результаті у файл даних даного реципієнта буде записано номер зображення тесту (1, ..., 180) та час пошуку та виявлення об'єкта.

2. Після знаходження об'єкта разом з клацанням мишки зображення-тест змінюється на наступне. У випадку, коли об'єкт не виявлено, дане зображення через 30 секунд замінюється на наступне.

3. В кожен момент початку експозиції зображення-тесту включається секундомір, який в момент клацання мишки, що відповідає накладанню візира на виявлений об'єкт або в момент завершення експозиції, якщо об'єкт не виявлено, секундомір зупиняється.

4. Дата проведення експериментального дослідження, загальні дані реципієнта, результати часу розпізнавання – пошуку і виявлення, дані про послідовність зображень-тестів, кількість виявлених об'єктів та тривалість експерименту.

Опрацювання результатів.

Дослідження впливу кольору тла на час пошуку і виявлення об'єкта заданого класу фактично є взаємодією між суб'єктом (реципієнтом) і об'єктом (зображенням-тестом). Результатом кожного експерименту є часовий ряд значень часу знайдення об'єктів на зображеннях-тестах. Ці ряди є рядами з пропусками, оскільки жоден з реципієнтів не зміг знайти об'єкти на усіх зображеннях послідовності. Для подання та інтерпретації результатів дослідження використано 2 методи: метод діаграм розмаху і метод множинної регресії.

Для встановлення впливу кольору тла на час пошуку об'єкта залучена група реципієнтів практично одного віку, а їхня функція полягає у виявленні деякого об'єкта. Цю функцію можна подати як вимірювання складності пари кольорів для пошуку об'єкта в одиницях часу. Тому практичний інтерес представляє ідентичність їхніх психофізичних характеристик. Для цього було використано відношення кожного реципієнта до кожного зображення-тесту у формі рівняння множинної регресії. В якості чинників, що характеризують зображення-тест, використано: орієнтація зображення, сектор локалізації об'єкта, площа ділянки локалізації об'єкта, колір ділянки локалізації цього об'єкта та складність виявлення. За складність виявлення використано середній час, витрачений реципієнтами на кожне зображення-тест. Оскільки за результатами кореляційного аналізу зв'язок цих чинників між собою виявився слабким, тому усі вони були включені в модель множинної регресії.

Для цієї моделі визначено коефіцієнти впливу чинників визначено для усіх реципієнтів. Конкретні значення коефіцієнтів моделі мають такий вигляд

$$Y_3 = -3107 + 875x_1 + 46x_2 + 304x_3 + 94x_4 + 3223x_5;$$

$$Y_4 = -1712 - 563x_1 - 24x_2 + 378x_3 - 288x_4 + 5129x_5;$$

$$Y_5 = 368 - 256x_1 - 58x_2 + 312x_3 + 4x_4 + 3731x_5;$$

$$Y_6 = -7105 + 1100x_1 + 74x_2 + 1787x_3 - 2x_4 + 3037x_5;$$

$$Y_7 = 182 - 466x_1 - 96x_2 - 27x_3 - 87x_4 + 4598x_5;$$

$$Y_8 = -2777 + 35x_1 + 111x_2 + 512x_3 + 50x_4 + 3255x_5;$$

$$Y_9 = -3130 + 265x_1 + 152x_2 - 968x_3 - 10x_4 + 4967x_5;$$

$$Y_{10} = 1023 - 251x_1 - 59x_2 - 720x_3 + 12x_4 + 4754x_5.$$

Тут коефіцієнти при змінній x_1 відповідають орієнтації зображення-тесту, при x_2 – сектору локалізації об'єкта, при x_3 – площі ділянки локалізації цього об'єкта, при x_4 – кольору ділянки локалізації об'єкта, x_5 – складності виявлення об'єкта на даному зображенні-тесті.

З рис. 4 видно, що найбільш близькими між собою є реципієнти 2, 5, 7 та 3 і 8, проте реципієнти 1, 4 і 6 є «самі по собі», тобто суттєво різняться між собою, відносно опрацювання таких зображень-тестів. Загалом, можна припустити, оскільки подібність між 2, 5, 7 та 3 і 8 реципієнтами є не дуже високою, що реципієнти є окремими індивідуумами, і різняться психофізичними характеристиками. Для встановлення відмінностей між кольорами стосовно їх впливу на час розпізнавання об'єкта уваги використано усі п'ять показників діаграми розмаху поданих табл. 3.

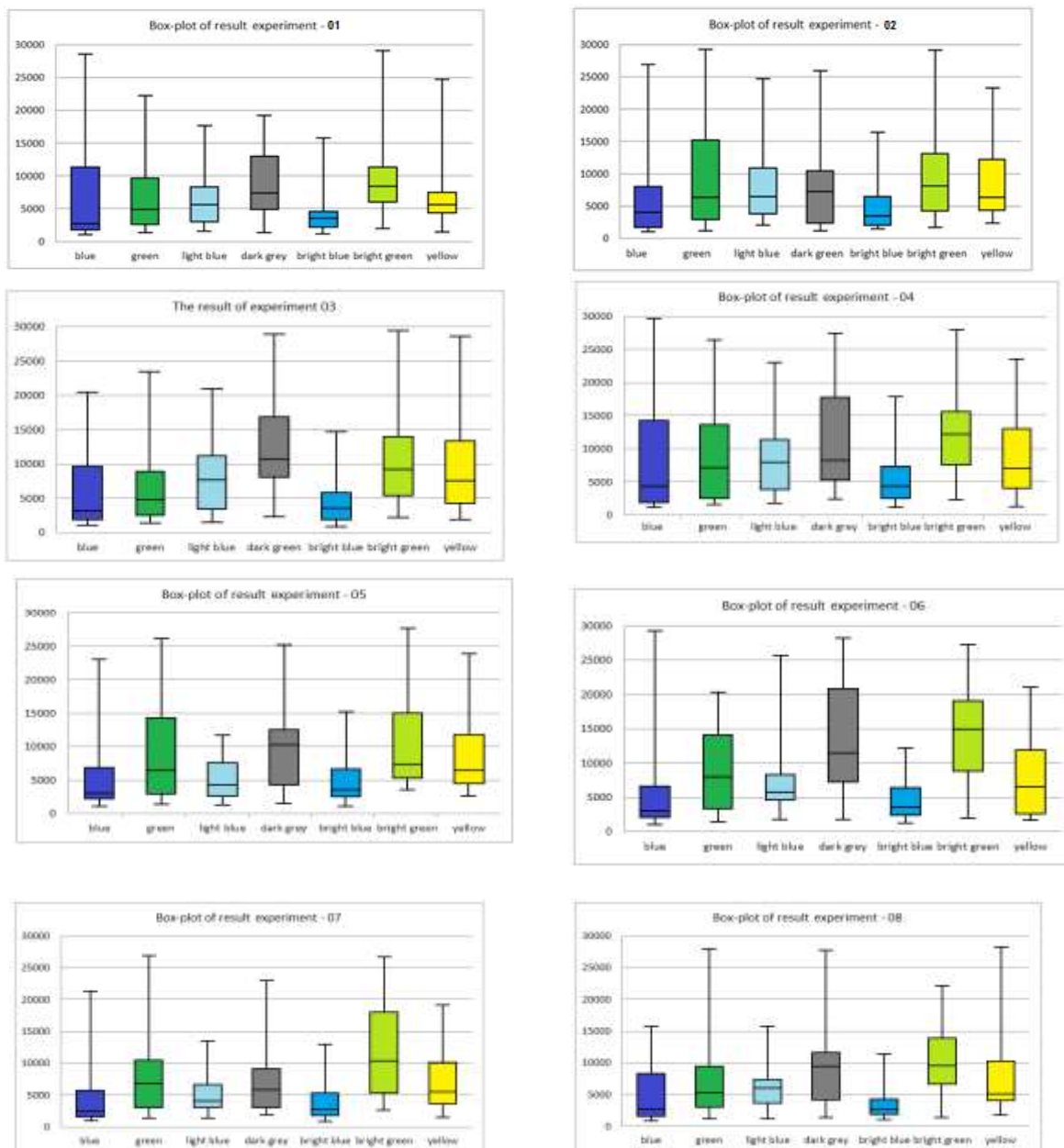


Рис. 4. Діаграми розмаху восьми реципієнтів

Найскладнішою для розпізнавання об'єкта є пара – світло-зелене тло і світло-сірий об'єкт, в той час як пари – блакитне тло і світло-сірий об'єкт або світло-синє тло і світло-сірий об'єкт є найбільш сприятливими для людини. Іншими словами, при побудові тестових зображень, пов'язаних з розпізнаванням об'єктів варта використовувати приведену методику для виявлення і оцінювання впливу тла.

Таблиця 3

	minimum	quartil 1	median	quartil 3	maximum
blue	1029	1497	2701	7719	22449
bright blue	1389	2485	5539	10673	21830
green	1593	3506	5982	8942	19144
light blue	1726	4566	7971	13613	23836
yellow	1205	2350	3703	6460	17648
dark grey	2220	5792	9573	14114	26664
bright green	1846	3981	6802	11103	24031

Висновки

В результаті проведеного дослідження стосовно впливу пари кольорів тла і об'єкта пошуку час знаходження цього об'єкта уваги залежить від співвідношення цих кольорів. В загальному, аналіз поведеного дослідження показав, що по-перше, вплив поєднання кольорів на час пошуку об'єкта залежить від психофізичних характеристик зорового аналізатора людини, і по-друге, в подібних експериментальних дослідженнях, а фактично в будь-яких, де людина, приймаючи рішення за допомогою, принаймні зору, необхідно в'ясувати ідентичність реципієнтів стосовно поставленої задачі.

Література

1. Бондар І. О. Теорія кольору / І. О. Бондар. – Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2016. – 164 с. – ISBN 978-966-676-630-7
2. Marmolejo-Ramos, F., Tian, T. S. The shifting boxplot. A boxplot based on essential summary statistics around the mean. *International Journal of Psychological Research*, (2010). 3 (1), 37-45.
3. Shinobu Ishihara. The Series of Plates Designed as a Test for Colour-Blindness. Kanehara Shuppan Co., Ltd., 2017. 31-14, 2-chome Yushima, Bunkyo, Tokyo, Japan. 33 p.
4. Базыма Б. А. Психология цвета: теория и практика : [монография] / Б. А. Базыма. – СПб : Речь, 2007. – 204 с. – (Психологический практикум). – ISBN 5-9268-0363-2.
5. Tummers, J., Catal, C., Tobi, H., Tekinerdogan, B., & Leusink, G. (2020). Coronaviruses and people with intellectual disability: an exploratory data analysis. *Journal of Intellectual Disability Research*, 64(7), 475-481.
6. Edwards, T. G., Özgün-Koca, A., & Barr, J. (2017). Interpretations of boxplots: Helping middle school students to think outside the box. *Journal of Statistics Education*, 25(1), 21-28.
7. Rasouli Amir, K. Tsotsos John. The Effect of Color Space Selection on Detectability and Discriminability of Colored Objects. Feb. 14, 2017, Computer Vision and Pattern Recognition Robotics. Cite as: arXiv:1702.05421 [cs.CV]
8. Hall Richard H., Hanna Patrick. The impact of web page text-background colour combinations on readability, retention, aesthetics and behavioural intention. *BEHAVIOUR & INFORMATION TECHNOLOGY*, MAY-JUNE 2004, VOL. 23, NO. 3, 183-195.
9. Bramão I., Reis A., Petersson K.M., Faisca L. The role of color information on object recognition: a review and meta-analysis. *Acta Psychol (Amst)*. 2020 Sep; 138(1): 244 - 53. doi: 10.1016/j.actpsy. 2011.06.010.
10. Рахманкулов И.Ш. Метод многомерных группировок для исследования сложных экономических структур / И.Ш. Рахманкулов, Р.Ф. Габитов // Вестник Казанского государственного финансово-экономического института. – 2009. – № 4(17). – С. 54-62.

References

1. Bondar I. O. Teoriia koloru / I. O. Bondar. – Kharkiv : KhNEU im. S. Kuznetsia, 2016. – 164 s. ISBN 978-966-676-630-7
2. Marmolejo-Ramos, F., Tian, T. S. The shifting boxplot. A boxplot based on essential summary statistics around the mean. *International Journal of Psychological Research*, (2010). 3 (1), 37-45.
3. Shinobu Ishihara. The Series of Plates Designed as a Test for Colour-Blindness / Kanehara Shuppan Co., Ltd., 2017. 31-14, 2-chome Yushima, Bunkyo, Tokyo, Japan. – 33 p.
4. Bazyma, B. A. Psihologiya cveta: teoriya i praktika [: monografiya] / B. A. Bazyma. - Spb. : Rech, 2007. - 204 s. - (Psihologicheskij praktikum). - Bibliogr.: s. 194-204. - ISBN 5-9268-0363-2
5. Tummers, J., Catal, C., Tobi, H., Tekinerdogan, B., & Leusink, G. (2020). Coronaviruses and people with intellectual disability: an exploratory data analysis. *Journal of Intellectual Disability Research*, 64(7), 475-481.
6. Edwards, T. G., Özgün-Koca, A., & Barr, J. (2017). Interpretations of boxplots: Helping middle school students to think outside the box. *Journal of Statistics Education*, 25(1), 21-28.
7. Rasouli Amir, K. Tsotsos John. The Effect of Color Space Selection on Detectability and Discriminability of Colored Objects. Feb. 14, 2017, Computer Vision and Pattern Recognition Robotics. Cite as: arXiv:1702.05421 [cs.CV]
8. Hall Richard H., Hanna Patrick. The impact of web page text-background colour combinations on readability, retention, aesthetics and behavioural intention. *BEHAVIOUR & INFORMATION TECHNOLOGY*, MAY-JUNE 2004, VOL. 23, NO. 3, 183-195.
9. Bramão I., Reis A., Petersson K.M., Faisca L. The role of color information on object recognition: a review and meta-analysis. *Acta Psychol (Amst)*. 2020 Sep; 138(1): 244 - 53. doi: 10.1016/j.actpsy. 2011.06.010.
10. Rahmankulov I.Sh., Gabitov R.F. Metod mnogomernykh gruppировок dlya issledovaniya slozhnykh ekonomicheskikh struktur. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo finansovo-ekonomicheskogo instituta*. – 2009. №4(17). – S. 54 – 62.

Л.М. КУПЕРШТЕЙН

Вінницький національний технічний університет

ORCID ID: 0000-0001-6737-7134

e-mail: kupershtein.lm@gmail.com

М.Д. КРЕНЦІН

Вінницький національний технічний університет

ORCID ID: 0000-0002-1792-9401

e-mail: mishatron98@gmail.com

АНАЛІЗ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ ПІРИНГОВИХ МЕРЕЖ

Проаналізовано поняття та природу пірингових мереж, досліджено та представлено коротку історію їх розвитку. Розглянуто покоління пірингових мереж та їх архітектурні особливості. Досліджено основні переваги та недоліки однорангових мереж. Виконано порівняльний аналіз однорангових та багаторангових мереж. Досліджено найбільш відомі на сьогодні практики використання пірингових мереж. Визначено перспективні напрямки досліджень та розвитку пірингової технології обміну інформацією.

Ключові слова: пірингова мережа; децентралізована архітектура; однорангова мережа; розподілені обчислення.

LEONID M. KUPERSHTEIN

Vinnytsia National Technical University

MYKHAILO D. KRENTSIN

Vinnytsia National Technical University

ANALYSIS OF PEER-TO-PEER NETWORKS TRENDS

The concept and nature of peer-to-peer networks are analyzed, a short history of their development is researched and presented. The first network of this type (Usenet), its features and prerequisites are described. Three types of peer-to-peer network architectures are considered - pure, federal and hybrid; advantages and disadvantages of each. The hybrid architecture is the most widely used today, as using a central server to connect nodes is a promising approach. Three generations of peer-to-peer networks are considered and their architectural features are presented. The first generation involved only file sharing, its feature was the use of a central server, which had information about which node contains which file. The second generation was characterized by the absence of a central server, but there was no indexing of nodes and data, which caused long delays in finding a node to connect. The third generation is more advanced, because it provides storage in each node of hash tables with information about other network members. The main advantages and disadvantages of peer-to-peer network architectures are investigated. A comparative analysis of peer-to-peer and multi-peer networks is performed. It is determined that it is more expedient to use decentralized networks in comparison with centralized ones, especially in cases where anonymity, confidentiality, fault tolerance and scalability are a priority. The most known directions of practical use of peer-to-peer networks are investigated. Today they are used in chat systems, banks, cryptocurrency systems, video communication systems. Decentralized systems are also used when working with digital wallets, because it makes online payments more effective.

Keywords: peer-to-peer network; decentralized architecture; distributed computing.

Вступ

Використання комп'ютерної техніки почалося із ЕОМ, що були розміром з будівлю. Вони були призначені лише для швидкої обробки даних. Згодом обчислювальна техніка почала широко використовуватися у наукових дослідженнях, виробництві, освіті [1]. У користувачів віддалених один від одного комп'ютерів з'явилася потреба у швидкому обміні даних. Для цього було запропоновано об'єднати комп'ютери у єдину систему (мережу) і таким чином передавати дані від одного комп'ютера до іншого. Комп'ютерні мережі (КМ) – це поширена техніка застосування інформаційно-комунікаційних технологій, що зараз використовуються для різних цілей [2]. Використання мереж допомагає використовувати зменшену кількість апаратного забезпечення, такого як принтери, сканери, камери, жорсткі диски тощо за рахунок однієї із основних передумов створення КМ – сумісне використання ресурсів. Крім того, ресурсами мереж можуть бути не тільки обладнання, а й нематеріальне, наприклад, Інтернет-з'єднання, база даних, web-додаток. При цьому КМ допомагають створювати та обробляти дані на пристроях окремих осіб, зберігати та захищати ці дані в унікальній системі.

Із плином часу люди створювали різноманітні програми обміну даними, що були необхідні користувачам по усьому світу. Проте зберігання їх на центральному сервері дуже обмежувало можливості їх передачі, адже пропускна здатність одного сервера була невелика. Це призвело до появи пірингових (peer-to-peer, P2P) мереж [3], суть яких полягає у рівноправності учасників. У таких мережах відсутній виділений сервер і кожен вузол (peer) являється як клієнтом, так і сервером. Отже, навіть якщо деякі комп'ютери/вузли вийдуть з ладу, мережа та зв'язок все одно працюватимуть. Також обчислювальні ресурси є збалансованими між учасниками мережі [4].

Станом на 2009 рік відео-трафік через пірингові мережі складав одну третю всього трафіку на той час. За останні роки кількість P2P трафіку значно зросла – 60–80% усього Інтернет-трафіку [5]. Така популярність забезпечена рядом переваг P2P мереж. Але разом з тим необхідно чітко розуміти перспективність напрямів використання цієї технології, складності в організації та розгортанні, можливі загрози та атаки. Розуміння основних особливостей та принципи функціонування однорангових (пірингових) мереж дозволить усвідомити доцільність їх ефективно використовувати для розв'язання прикладних задач.

Метою роботи є аналіз розвитку та сучасного стану пірингових мереж та перспективних напрямків їх використання.

Виклад основного матеріалу

Поняття пірингової (P2P) мережі вперше було використано в 1969 році. P2P – це мережевий протокол, що забезпечує можливість створення та функціонування мережі рівноправних вузлів, їх взаємодії [6]. У багатьох випадках P2P є накладеними мережами, що використовують існуючі транспортні протоколи (TCP або UDP) стека TCP/IP. Проте першою справжньою реалізацією мережі P2P стала «Usenet», розроблена в 1979 р [7]. У Usenet, в той час як клієнти – кінцеві користувачі – все ще отримують доступ до ресурсів через сервери, самі сервери взаємодіють між собою як P2P-мережа, комунікуючи між собою без центрального органу. Тобто суть однорангової мережі полягає у тому, що мережа не має центрального вузла управління, а всі її учасники є рівноправними між собою (рис. 1,а) [8]. Хоча статус кожного вузла є однаковим, але можливості їх можуть істотно відрізнятися. Однорангова мережа, де кожен вузол є в дійсності рівноправним, називається чистою мережею. Але такий підхід має недоліки, пов'язані з пошуком інших вузлів та встановленням з'єднання між ними, адже необхідно отримати інформацію про самі вузли.

Оскільки учасники P2P мережі повинні певним чином отримувати інформацію про наявність інших вузлів цієї ж мережі та спосіб зв'язку з ними, з'явилися модифіковані пірингові мережі, які прийнято називати гібридними. У цьому випадку присутній центральний сервер, який просто містить інформацію про усіх учасників мережі та дозволяє здійснити пошук необхідного вузла [9]. Наступним кроком клієнти встановлюють зв'язок безпосередньо один з одним (рис. 1,б). Централізована система також дозволяє отримати найновіші відомості про те, які ресурси можна використовувати в даний момент. Гібридна архітектура P2P мереж є найбільш вживаною на сьогоднішній день, адже використання сервера для допомоги з'єднання вузлів є досить зручним.

Ще одним способом знаходження нових вузлів у мережі є використання трансляції дейтаграм «в нікуди». Інші вузли можуть прослухати ці дейтаграми та обробити. Проте цей метод працює в невеликій мережі, де учасникам не заважають інші потоки даних.

Існують також федеративні P2P системи, суть яких полягає в тому, що взаємодія між вузлами відбувається всередині попередньо визначених доменів, таких як організація (рис. 1,в).

Після створення «Usenet» однорангові мережі почали стрімко розвиватися. Змінилось кілька поколінь мереж, поки вони не набули поточного стану. Перше покоління передбачало лише звичайний обмін файлами. У 1999р. з'явилася мережа «Napster», яка перетворювала комп'ютер користувача у вузол обміну файлами [10]. Ця мережа передбачала наявність центрального сервера, що зберігав дані про те, які файли є в учасників мережі та як їм з'єднатись один з одним. «Napster» припинив своє існування в 2001 році через юридичні проблеми.

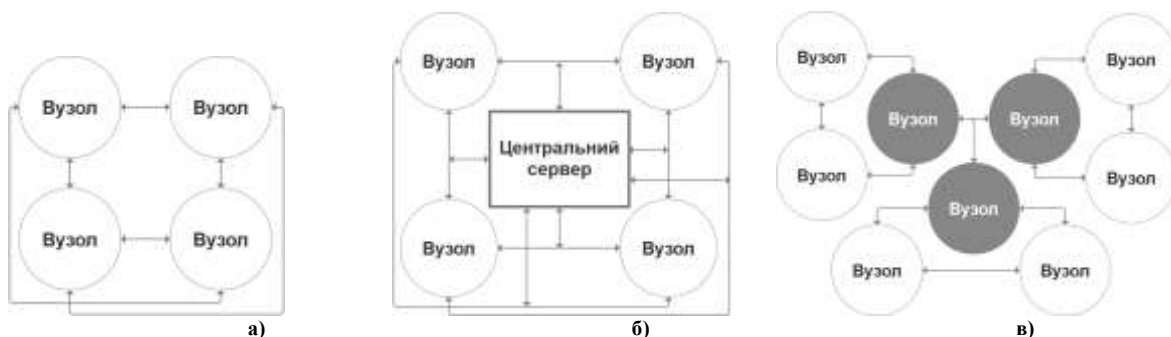


Рис. 1. Структура пірингової мережі: а) чиста; б) гібридна; в) федеративна

Головною рисою другого покоління P2P-мереж є відсутність центральних серверів та «хвильовий» алгоритм пошуку інших учасників мережі. Прикладом такої мережі була Gnutella [11]. Проте розроблений алгоритм пошуку був досить неефективним при зростанні кількості учасників мережі, адже він працював доволі повільно. Причиною цього було те, що мережа була неструктурованою, тобто без індексації вузлів. А це в свою чергу визначало часову складність пошуку вузла як $O(n)$. Перевагою цієї мережі було те, що знищити її можливо лише вивівши з ладу кожен вузол. Але недоліком є те, що для того, щоб під'єднатись до існуючої мережі, необхідно один раз знати IP-адресу будь-якого працюючого вузла.

Відмінною рисою третього покоління пірингових мереж було те, що тут не використовувався центральний сервер, але при цьому алгоритм пошуку був більш досконалий. Він базувався на використанні розподілених хеш-таблиць, що підтримуються кожним учасником мережі. Такі мережі є структурованими, адже використовують індексацію даних. Клієнтом, що використовував таку мережу був Edonkey2000 [12]. Файли з однаковими іменами, але різним вмістом розглядаються, як різні файли, а файли з різними іменами та однаковим вмістом – як однакові. Edonkey2000 також дозволяв здійснювати пошук за складними логічними формулюваннями. Проте ця мережа мала великий недолік – малу пропускну здатність. А також була припинена її робота через юридичні проблеми. На основі Edonkey2000 було створено ряд нових вдосконалених однорангових мереж.

Оскільки пірингові (однорангові) мережі є досить перспективною технологією сьогодення, доцільно дослідити їх переваги та недоліки у порівнянні з клієнт-серверними (багаторанговими). Багаторангова

мережа – це мережа на основі виділеного сервера. В мережу підключається виділений комп'ютер, який працює як сервер, а інші вузли є клієнтами і звертаються до сервера [13]. Такі мережі створюються тоді, коли однорангові мережі є недостатньо продуктивними. Така продуктивність забезпечується за рахунок використання потужніших компонентів комп'ютера та спеціального програмного забезпечення [14]. В P2P мережі кожен вузол може працювати як сервер, так і як клієнт. Переваги такого підходу досягаються за рахунок відсутності сервера, що відповідає за адміністрування всієї мережі. У таблиці 1 наведено результати порівняльного аналізу вищеприказаних типів мереж у бальній шкалі:

- 1 бал – характеристика присутня;
- 0,5 балів – характеристика присутня за деяких умов
- 0 балів – характеристика відсутня.

В результаті аналізу було виділено 18 характеристик для порівняння. Із даних таблиці 1 можна зробити висновок, що використання пірингових мереж є більш доцільним, адже вони мають більше переваг, ніж багаторангові (13>8). Проте використання централізованих мереж є доцільним тоді, коли не вистачає обчислювальних потужностей P2P, а також організації контролю доступу до даних (коли треба обмежувати доступ до даних окремим вузлам, доступ до певних даних, а також їх фільтрація та резервне копіювання в єдиному місці).

Таблиця 1

Порівняльна характеристика типів мереж

№	Характеристика	Пірингова	Багаторангова
1	Відсутність витрат на зберігання даних та пропускну здатність	1	0
2	Відсутність системного адміністрування	1	0
3	Користувачський контроль ресурсів	1	0
4	Можливість отримати доступ до будь-якого файлу в бідь-який момент часу	0,5	0
5	Немає необхідності в спеціально навченому персоналі	0,5	0
6	Відмовостійкість	1	0,5
7	Незалежність вузлів	1	0
8	Організація контролю доступу	0,5	1
9	Стабільність швидкості обміну даними	0,5	1
10	Контроль над розповсюдженням захищеного авторським правом контенту	0	1
11	Простота створення	0	1
12	Анонімність та конфіденційність	1	0,5
13	Балансування навантаження	0,5	1
14	Легка масштабованість	1	0,5
15	Простота конфігурації	1	0,5
16	Резервне копіювання даних	0,5	1
17	Високий ступінь доступності інформації	1	0
18	Відсутність спеціального обладнання	1	0
Разом		13	8

Мережі типу P2P розвиваються і до сьогодні. Їх використання необмежене лише обміном файлів, як це було раніше. Найбільшого поширення такі мережі набули в сферах, де важливий конфіденційний обмін даними між людьми. Це є системи відеозв'язку, трансляції відео (P2PTV), IP-телефонії, системи інтернет-телебачення тощо [15]. В P2PTV системі кожен користувач, завантажуючи відео потік одночасно вивантажує його для інших користувачів. Це дозволяє постачальникам послуг витратити менше коштів на підтримку всього технічного обладнання, необхідного для традиційного підходу. А це, в свою чергу, робить вище вказані послуги більш доступними для кінцевого користувача.

Пірингові мережі знайшли своє використання також у технології Blockchain [16]. Однорангова архітектура Blockchain надає користувачам безліч переваг. На відміну від стандартних банківських рахунків, криптовалютні гаманці не можуть бути заморожені або анульовані урядом. Також розподіл даних в Blockchain серед великої кількості вузлів робить мережу практично несприйнятливою до атак типу «відмова в обслуговуванні» (DoS/DDoS), від яких страждає велика частина систем [17]. В результаті, розподілена мережа, в поєднанні з обов'язковим погодженням більшості учасників забезпечує Blockchain системам відносно високу ступінь стійкості до зловмисної активності. Найпершою криптовалютою, що була побудована на технології Blockchain був Bitcoin. Транзакції з цифровим підписом між двома адресами передаються до всіх вузлів P2P мережі, а самі дані про переміщення Bitcoin зберігаються у дубльованій базі даних. Для запобігання можливості втрати чужих Bitcoin або подвійного використання своїх власних використовуються криптографічні методи.

Ще однією областю застосування децентралізованих мереж є системи, що працюють зі звичайними грошима [18]. Вони використовуються в таких операціях, як виконання грошових транзакцій, відправка рахунків, безпечного адміністрування даних тощо. P2P мережі використовуються ще й при роботі з цифровими гаманцями, не пов'язаними з банками (PayPal, Venmo) та в додатках, що призначені для

безконтактної оплати (ApplePay, GooglePay) [19].

Незважаючи на швидкість, конфіденційність, відмовостійкість та інші переваги пірингових мереж, вони також піддаються атакам. Децентралізовану мережу захистити набагато складніше, ніж централізовану. Деяка частина інформації може передаватися в незашифрованому вигляді (для збільшення швидкості), існує проблема підробки IP-адреси вузла (можлива фальсифікація даних). До P2P мережі можуть підключатись неавторизовані клієнти і створювати навантаження, що не несе ніякої корисної інформації. Для вирішення вище описаних проблем безпеки створюють різноманітні методи, що базуються на періодичній зміні ключів, списку контролю доступу, шифруванні даних тощо [20, 21].

За даними досліджень на сьогоднішній день спостерігаються такі тенденції в розвитку пірингових мереж [22, 23]:

- Еволюція існуючих концепцій. Відбувається вдосконалення алгоритмів пошуку контенту, застосування нових методів забезпечення безпеки, вдосконалення методів взаємодії вузлів мережі.

- Ажіотаж – переконання в тому, що пірингові мережі є кращими за централізовані. Хоча такі мережі мають велику кількість переваг, але вони часто використовуються без оцінки доцільності їх використання для вирішення конкретної задачі.

- Створення нових та вдосконалення існуючих протоколів обміну даними.

Технологія P2P мереж стає все більш популярною, але сьогоднішні P2P – це не те саме, що було на початку їх розробки. Однорангові мережі неодноразово мали технологічні прориви та можуть знайти своє застосування у таких сферах:

- Мультимедіа P2P. Відбуватиметься покращення протоколів обміну даними для збільшення пропускну здатності та швидкості передачі без втрати якості контенту.

- Хмара P2P. Технологія децентралізованих мереж зробить хмару більш надійним середовищем обміну даними за рахунок гібридної інфраструктури.

- Пошукові системи на основі P2P. Кожен вузол здійснюватиме пошук окремо, тим самим пришвидшуючи цей процес.

- Вдосконалення програм для обміну миттєвими повідомленнями. Поєднання сучасних криптографічних протоколів обміну даними із технологією P2P мереж дозволить вивести обмін повідомленнями на новий рівень.

- Машинне навчання. P2P мережі дозволять нейронним мережам швидше навчатись та покращувати бажаний результат.

- Більш ефективне використання глобальних обчислювальних ресурсів. Комп'ютери, що не виконують ніяких задач, у певний момент часу зможуть брати участь у розв'язанні задач, які потребують значних обчислювальних потужностей.

- Створення автономних систем, які зможуть вирішувати певні задачі без втручання користувача, а також адаптуватись до змін.

Висновки

Проаналізовано базові поняття та особливості пірингових мереж, досліджено основні етапи їх розвитку та покоління. Виконано багатокритеріальне порівняння однорангових та багаторангових мереж. Визначено, що децентралізовані мережі більш доцільно використовувати у порівнянні з централізованими особливо у тих випадках, де пріоритетною є анонімність, конфіденційність, відмовостійкість та масштабованість.

Найбільшого поширення однорангові мереж набули в системах, що обробляють великі обсяги даних і забезпечують індивідуальний обмін інформацією між користувачами. Пірингові мережі почали свій розвиток із звичайного обміну файлами, а на сьогоднішній день вони використовуються у чат-системах, банках, криптовалютних системах, системах відеозв'язку тощо. Динамічне зростання обсягу Інтернет-трафіку, що охоплює пірингова технологія із року в рік підтверджує її актуальність та перспективність. Це пояснюється меншими витратами на трафік, зменшенням затримок при передачі даних, підвищенням якості трафіку та кіберзахистеності в цілому. Пірингові мережі можуть знайти своє застосування у машинному навчанні, пошукових системах, хмарних обчисленнях. Крім того, відбуватиметься покращення існуючих та створення нових захищених високопродуктивних протоколів обміну даними для охоплення більшої кількості сфер застосування децентралізованих мереж.

Література

1. Мартинюк Т. Б. Аналіз тенденцій розвитку сучасних комп'ютерних систем / Т. Б. Мартинюк, А. В. Кожем'яко, Л. М. Куперштейн // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2016. – № 2. – С. 5–13.
2. Скачиваем фильмы, музыку и программы из интернета. пиринговые сети: eDONKEY BitTorrent, KaZaA, DirectConnect / под ред. М. В. Финкова ; пер. с чеш. – СПб : Наука и Техника, 2006. – 272 с. – (Серия «Просто о сложном»).
3. Гуркин Ю.Н. Файлообменные сети P2P: основные принципы, протоколы, безопасность / Ю.Н. Гуркин, Ю.А. Семенов // Сети и системы связи, – 2006. – № 11. – С. 62.
4. Secure Peer-to-peer Networks for Trusted Collaboration [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://core.ac.uk/download/pdf/192229218.pdf>.
5. Cisco Systems, “Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2009-2014” White Paper.

2010. P. 17.

6. Ландэ Д.В. Интернетика: Навигация в сложных сетях: модели и алгоритмы / Ландэ Д.В., Снарский А.А., Безсуднов И.А. – М. : Либроком, 2009. – 264 с.
7. Michael Hauben, Ronda Hauben, Thomas Truscott. Netizens: On the History and Impact of Usenet and the Internet (Perspectives). Wiley-IEEE Computer Society P. ISBN 978-0-8186-7706-9
8. P2P Networking. URL: <https://nakamoto.com/p2p-networking/>
9. Zhang, H. Architecture of Network and Client-Server model. arXiv:1307.6665
10. Giesler, Marku., Consumer Gift Systems. Consumer Research. 2006. P. 283–290.
11. Gnutella Protocol Development. URL: http://rfc-gnutella.sourceforge.net/src/rfc-0_6-draft.html.
12. Saddi W., Guillemin F. Measurement based modeling of edonkey peer-to-peer file sharing system. International Teletraffic Congress. 2007. P. 974–985.
13. Таненбаум Э. Компьютерные сети / Таненбаум Э., Уэзеролл Д. – СПб : Питер, 2020. – 960 с.
14. Datar, M. Butterflies and peer-to-peer networks. ESA 2002, 10th Annual European Symposium. 2002, P. 310–320.
15. Peer-To-Peer VOiP. URL: <https://www.tmcnet.com/voip/0907/feature-articles-peer-to-peer-voip.htm>.
16. Satoshi Nakamoto. Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. 2009. P. 9.
17. Voytovych O.P. Investigation of denial-of-service attacks / O.P. Voytovych, L.M. Kupershtein, E.I. Kolibabchuk // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2016. – № 3. – С. 129–133.
18. King S. and S. Nadal, Ppcoin. Peer-to-peer crypto-currency with proof-of-stake. 2019. P. 6.
19. PayPal vs. Google Pay vs. Venmo vs. Cash App vs. Apple Pay Cash | Digital Trends. URL: <https://www.digitaltrends.com/mobile/paypal-vs-google-wallet-vs-venmo-vs-square-cash/>
20. Ruffo G., Schifanella R. A peer-to-peer recommender system based on spontaneous affinities. ACM Trans. Internet Technol, 2009. P. 1–34.
21. Balfe S., Lakhani A. D. and Paterson K. G. Trusted computing: providing security for peer-to-peer networks. Fifth IEEE International Conference on Peer-to-Peer Computing (P2P'05). 2005. P. 117–124, DOI: 10.1109/P2P.2005.40.
22. Trends in P2P Networks and Computing. Wittenburg. URL: <http://page.mi.fuberlin.de/wittenbu/studies/p2ptrends.pdf>
23. Shah M., M. Shaikh, V. Mishra and G. Tusciano. Decentralized Cloud Storage Using Blockchain. 2020 4th International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI) (48184). 2020, P. 384–389.

References

1. Martyniuk T. B. Analiz tendentsii rozvytku suchasnykh kompiuternykh system / T. B. Martyniuk, A. V. Kozhemiako, L. M. Kupershtein // Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnolohii. – 2016. – № 2. – С. 5–13.
2. Skachivaem filmy, muzyku i programy iz interneta. pirigovye seti: eDONKEY BitTorrent, KaZaA, DirectConnect / pod red. M. V. Finkova ; per. s chesh. – SPb : Nauka i Tehnika, 2006. – 272 s. – (Seriya «Prosto o slozhnom»).
3. Gurkin Yu.N. Fajloobmennye seti R2R: osnovnye principy, protokoly, bezopasnost / Yu.N. Gurkin, Yu.A. Semenov // Seti i sistemy svyazi, – 2006. – № 11. – С. 62.
4. Secure Peer-to-peer Networks for Trusted Collaboration [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu : <https://core.ac.uk/download/pdf/192229218.pdf>.
5. Cisco Systems, “Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2009-2014” White Paper. 2010. R. 17.
6. Lande D.V. Internetika: Navigaciya v slozhnyh setyah: modeli i algoritmy / Lande D.V., Snarskij A.A., Bezsudnov I.A. – М. : Librokom, 2009. – 264 с.
7. Michael Hauben, Ronda Hauben, Thomas Truscott. Netizens: On the History and Impact of Usenet and the Internet (Perspectives). Wiley-IEEE Computer Society P. ISBN 978-0-8186-7706-9
8. P2P Networking. URL: <https://nakamoto.com/p2p-networking/>
9. Zhang, H. Architecture of Network and Client-Server model. arXiv:1307.6665
10. Giesler, Marku., Consumer Gift Systems. Consumer Research. 2006. P. 283–290.
11. Gnutella Protocol Development. URL: http://rfc-gnutella.sourceforge.net/src/rfc-0_6-draft.html.
12. Saddi W., Guillemin F. Measurement based modeling of edonkey peer-to-peer file sharing system. International Teletraffic Congress. 2007. P. 974–985.
13. Tanenbaum E. Kompyuternye seti / Tanenbaum E., Uezeroll D. – SPb : Piter, 2020. – 960 s.
14. Datar, M. Butterflies and peer-to-peer networks. ESA 2002, 10th Annual European Symposium. 2002, P. 310–320.
15. Peer-To-Peer VOiP. URL: <https://www.tmcnet.com/voip/0907/feature-articles-peer-to-peer-voip.htm>.
16. Satoshi Nakamoto. Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. 2009. P. 9.
17. Voytovych O.P. Investigation of denial-of-service attacks / O.P. Voytovych, L.M. Kupershtein, E.I. Kolibabchuk // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2016. – № 3. – P. 129–133.
18. King S. and S. Nadal, Ppcoin. Peer-to-peer crypto-currency with proof-of-stake. 2019. P. 6.
19. PayPal vs. Google Pay vs. Venmo vs. Cash App vs. Apple Pay Cash | Digital Trends. URL: <https://www.digitaltrends.com/mobile/paypal-vs-google-wallet-vs-venmo-vs-square-cash/>
20. Ruffo G., Schifanella R. A peer-to-peer recommender system based on spontaneous affinities. ACM Trans. Internet Technol, 2009. P. 1–34.
21. Balfe S., Lakhani A. D. and Paterson K. G. Trusted computing: providing security for peer-to-peer networks. Fifth IEEE International Conference on Peer-to-Peer Computing (P2P'05). 2005. P. 117–124, DOI: 10.1109/P2P.2005.40.
22. Trends in P2P Networks and Computing. Wittenburg. URL: <http://page.mi.fuberlin.de/wittenbu/studies/p2ptrends.pdf>
23. Shah M., M. Shaikh, V. Mishra and G. Tusciano. Decentralized Cloud Storage Using Blockchain. 2020 4th International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI) (48184). 2020, P. 384–389.

С.С. ПЕТРОВСЬКИЙХмельницький національний університет
e-mail: petrovskijs69@gmail.com**О.А. ПАСІЧНИК**Хмельницький національний університет
o.a.pasichnyk@gmail.com**Т.К. СРІПНИК**Хмельницький національний університет
tskripnik1970@gmail.com

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ПРОЕКТІВ ПРИ ВИКЛАДАННІ ОСВІТНІХ КОМПОНЕНТ СПЕЦІАЛЬНОСТІ КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ

Упровадження в освітній процес моделі навчання, що поєднує переваги аудиторної організаційної форми навчання і проектних методик та відрізняється від існуючих використанням навчальних задач (проектів), досить тривалих у часі та цілеспрямованих на всебічний розвиток особистості в інформаційному суспільстві, є перспективним напрямом наукових пошуків і загальною потребою практики. Наведено обґрунтовану методiku застосування методу проектів при викладанні навчальних дисциплін спеціальності «Комп'ютерні науки», що базується на інтеграції наукових підходів до змісту навчання та на пріоритетності вивчення програмування, проблемності змісту проектних завдань на види діяльності, партнерській взаємодії учасників проекту на основі діалогового спілкування. Доведено, що використання методики надає змогу здійснювати компетентісно орієнтоване навчання на інтеграційній основі наукових підходів. Виявлено експериментально підтверджену тенденцію до підвищення рівня сформованості інформаційно-комунікаційної компетентності експериментальних груп за рахунок підвищення мінімального рівня знань, умінь, навичок, їх ставлення до опанування змістом інформаційної освітньої складової навчання, їх мотиваційної та рефлексивної готовності до застосування цифрових технологій і програмного середовища для самостійної роботи та спілкування.

Ключові слова: комп'ютерні науки, метод проектів, освіта, програмування, методика навчання.

SERHII S. PETROVSKYI, OLEKSANDR A. PASICHNYK, TETIANA K. SKRYPNYK
Khmelnitskyi National University

PECULIARITIES OF USING THE PROJECT METHOD IN TEACHING EDUCATIONAL COMPONENTS OF THE COMPETENCE OF COMPUTER SCIENCE

The introduction of a learning model into the educational process, which combines the advantages of classroom organizational form of learning and project methods and differs from existing ones by using educational tasks (projects), quite long in time and aimed at comprehensive personal development in the information society, is a promising area of research practices. The substantiated technique of application of a method of projects at teaching of disciplines of a specialty "Computer sciences" based on integration of scientific approaches to the maintenance of training and on priority of studying of programming, problems of the maintenance of project tasks on kinds of activity, partnership interaction of project participants) logical communication. It is proved that the use of the methodology allows to carry out competency-based learning on the basis of integration of scientific approaches. The experimentally confirmed tendency to increase the level of formation of information and communication competence of experimental groups by increasing the minimum level of knowledge, skills, their attitude to mastering the content of informational educational component of learning, their motivational and reflexive readiness to use digital technologies and software environment for independent work and communication.

Keywords: computer science, project method, education, programming, teaching methodology.

Постановка проблеми

Для України характерним є багатовекторний розвиток сучасного інформаційного суспільства, що розвивається як відкрите, громадянське, ринкове, «активне» [1], і потребує нових відкритих освітніх моделей та демократичного управління ними, механізмів розподілу коштів і розвитку партнерства з громадськими інститутами задля забезпечення всебічного розвитку компетентної особистості, здатної до активної та успішної життєдіяльності в суспільстві, рівного доступу до якісної освіти. Всі ці завдання мають стратегічне значення для реформування сфери освіти, а якість освіти пов'язується з реалізацією компетентісного, особистісно орієнтованого, інформаційного, технологічного та проектного підходів. Якість освіти не завжди досягається за класичної аудиторно-лекційної системи навчання.

Аналіз останніх джерел

Результати вивчення освітньої практики свідчать, що в організації процесу навчання превалює аудиторно-лекційна система навчання, яка включає класичні лекції, лабораторні роботи, практичні та семінарські заняття тощо. Ствердну відповідь на це питання надали 94,0% керівників закладів освіти від загального обсягу вибірки, що становила 1266 респондентів і складає приблизно 7,32 % від «17, 3 тис. їх загальної кількості в Україні» та відповідає індустріальній, а не інформаційній епосі [2, с.51]. Для повноцінної реалізації наукових підходів у їх синкретизмі слід констатувати про їх лише часткове відображення в науково-методичному супроводі компетентісно орієнтованого навчання, навчально-пізнавальної та проектної видах діяльності. Одним із дієвих засобів розвитку особистості та здобуття ключових і предметних компетентностей при здобутті освіти є метод проектів. Проект є ефективним

засобом всебічного розвитку особистості у різних видах діяльності зі спеціальності «Комп'ютерні науки». Це також дидактичний засіб активізації та індивідуалізації навчальної пізнавальної діяльності, засіб розвитку креативного інноватора та відповідальності за результати діяльності свідомого громадянина країни.

Формулювання цілей

У роботі пропонується *модель навчання, яка має переваги аудиторно-лекційної організаційної форми навчання і проектних методик та відрізняється від існуючої використанням навчальних задач (проектів)*. Для досягнення мети дослідження перед авторами постає виконання таких завдань:

- 1) розробка моделі навчання з застосуванням методу проектів для вивчення інформаційних технологій;
- 2) порівняння отриманих результатів впровадження методу проектів при викладанні предметів спеціальності комп'ютерні науки.

Виклад основного матеріалу

Сучасна система навчання має забезпечити умови для оволодіння технологіями опанування знаннями, розвитку навичок постановки мети, завдань, вибору і опанування інструментами пізнання, моделювання, прийняття рішень в умовах невизначеності, набуття умінь самостійно здобувати знання, систематизації і узагальнення власних знань.

Процес навчання на даний час відбувається за принципом нагромадження знань. Кожна процедура, функція вивчається окремо. Знання отримані на попередніх заняттях не завжди потрібні під час вивчення наступної теми, порушується цілісність системи знання.

Крім того, недоліки аудиторно-лекційної системи навчання зумовлюють зміну ролі сучасного викладача, який має стати організатором навчально-проектної та проектно-технологічної діяльності студентів і виникає необхідність застосування нелінійних технологій навчання, цифрових технологій, онлайн сервісів, можливостей середовища розробки програмного забезпечення. У зв'язку з цим нагальною потребою практики є розробка методики застосування методу проектів у навчанні студентів з напрямку комп'ютерні науки. Метод проектів базується на діяльнісному, компетентнісному та особистісно зорієнтованому підходах до навчання студентів.

Розглянемо *технологію проведення проекту* від його започаткування до логічного завершення:

1. На першому етапі відбувається планування проектної діяльності здобувачів освіти, аргументовано обговорюється тематика та значущість майбутнього проекту для його всебічного розвитку та прогнозування очікуваних результатів проектної діяльності, план управління проектом. План управління проектом – це детальний, чітко структурований, підготовлений і узгоджений документ, який описує цілі й завдання, що необхідно вирішити учню, способи і результати досягнення цілей.

2. На другому етапі виконання проекту викладачем видається студенту завдання у вигляді специфікації завдання проекту, причому не одному, а двом. Навчальний проект має велику складність у вигляді реального завдання, і тому студенти отримають конкретне особисте завдання для його виконання. На цьому етапі переслідується наступна мета – навчити студента досягати мети та набути навички роботи в команді та колективі над одним проектом.

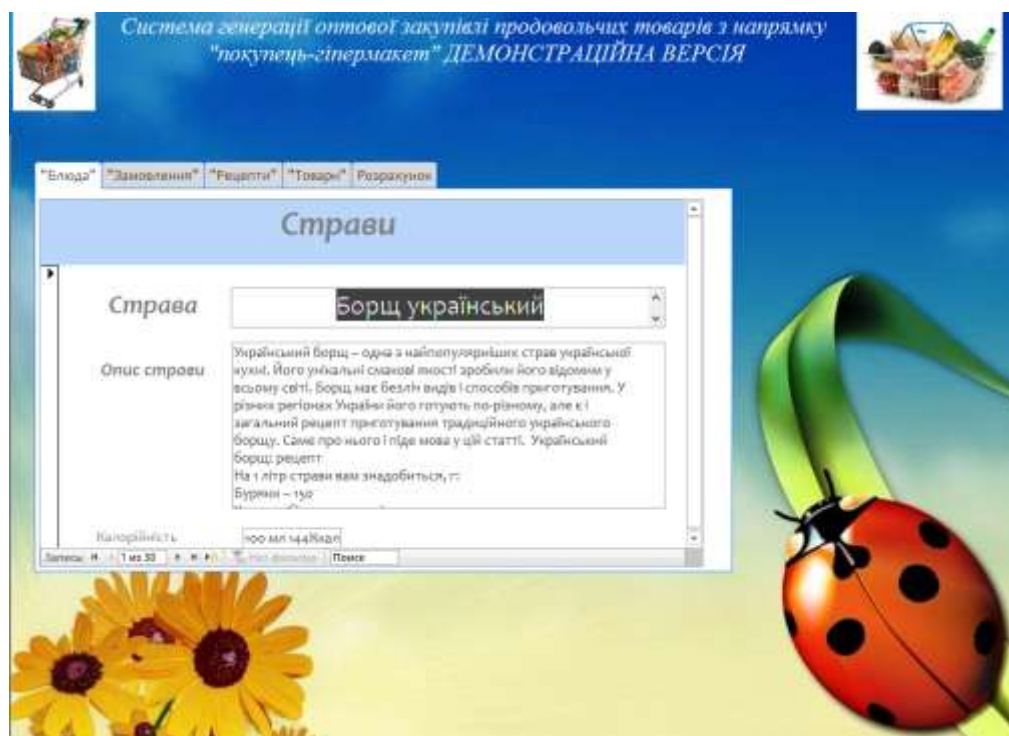


Рис. 1. Система генерації оптової закупівлі продовольчих товарів з напрямку "покупець-гіпермаркет"

3. На третьому етапі виконання проекту розпочинається власне розробка студентом/ми проекту. Цей етап виконання проекту має характерну відмінність, що вирізняє від стандартної аудиторно-лекційної системи навчання. Для того, щоб написати комп'ютерну програму студент повинен мати цілісну систему знань, що включає необхідне знання усього вивченого навчального матеріалу, а не лише вибіркового окремих тем. При цьому напрацьовується навичка уміння діяти – в даному випадку розробляти готову комп'ютерну програму, а знання функціональних можливостей середовища розробки проекту виступає інструментом досягнення визначеної мети проекту. Слід відмітити, що для написання програмного продукту в межах проекту необхідно знання, що перевищують рівень викладання освітньої складової. Це спонукає студента до одержання нових знань з різних освітніх галузей та саморозвитку в різних видах діяльності, включаючи проектну.

4. На четвертому етапі після закінчення навчального проекту студент захищає його на семінарському занятті.

Приклади виконання навчального проекту: результат виконання проекту «Кухня» (рис. 1).

Узагальнена модель діяльності суб'єктів освітнього процесу в процесі застосування запропонованої методики при викладанні навчальних дисциплін спеціальності «Комп'ютерні науки» зображена на рис. 2.

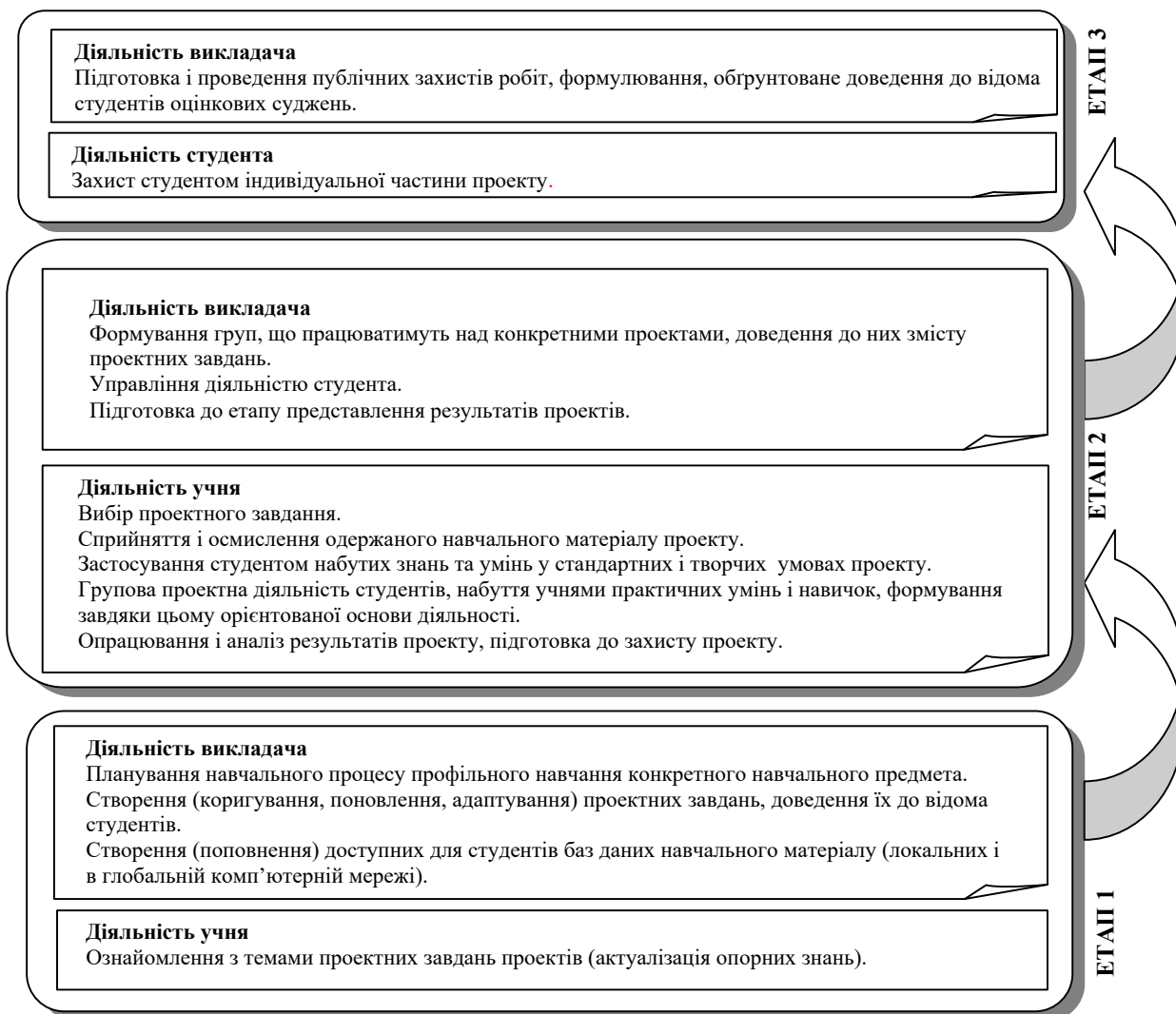


Рис. 2. Узагальнена модель діяльності суб'єктів освітнього процесу в процесі застосування запропонованої методики при викладанні спеціальності комп'ютерні науки

Середні значення та математичних сподівань оцінок студентів із навчальних дисциплін у контрольних та експериментальних групах зображено на рис. 3.

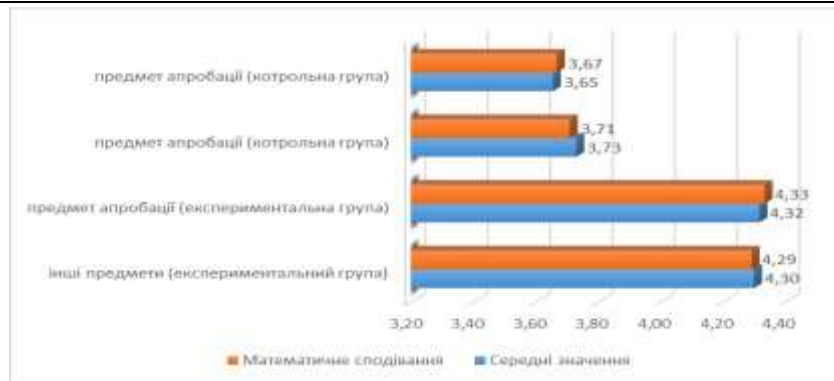


Рис. 3. Середні значення та математичних сподівань оцінок студентів із навчальних предметів у контрольних та експериментальних групах

Висновки

Отже, результати експерименту дозволяють зробити висновки про те, що використання запропонованої експериментальної методики при викладанні навчальних дисциплін спеціальності «Комп'ютерні науки» та методу проектів у процесі вивчення освітніх компонентів з програмування, якими передбачена самостійна, наближена до науково-пошукової, діяльність студентів, забезпечує суттєво, статистично значущі кращі результати, ніж традиційне навчання.

Експериментально підтверджено, що впровадження авторської методики та методу проектів у процес викладання спеціальності комп'ютерні науки, адекватне сучасному етапу розвитку інформаційного суспільства в країні та забезпечує:

- покращення показників навчання;
- здатність студентів до використання інформаційно-комунікаційних і цифрових технологій;
- мотиваційну готовність студентів до застосування зазначених технологій для самоосвіти, спілкування, навчання упродовж життєдіяльності;
- рефлексивну готовність до використання інформаційних і комунікаційних технологій для самоосвіти і продуктивної діяльності, до вибору засобів діяльності, адекватних цілям діяльності й власним можливостям;
- здійснення підготовки студентів до участі в предметних олімпіадах.

Література

1. Daron Acemoglu and James A. Robinson: Why nations fail: the origins of power, prosperity, and poverty. CROWN BUSINESS – NEW YORK, pp. 7–42 (2012).
2. Калинина Л.М. АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОЦЕССЕ УПРАВЛЕНИЯ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМИ УЧЕБНЫМИ ЗАВЕДЕНИЯМИ / Л.М. Калинина, С.С. Петровский // Український педагогічний журнал. – 2015. – № 2. – С. 44–64.
3. Natsionalna dopovid pro stan i perspektvy rozvytku osvity v Ukraini / Nats. akad. ped. nauk Ukrainy ; [redkol. : V. H. Kremen (holova), V. I. Luhovyi (zast. holovy), A. M. Hurzhii (zast. holovy), O. Ya. Savchenko (zast. holovy)] ; za zah. red. V. H. Kremenia. – Kyiv : Pedahohichna dumka, 2016. – p. 51.
4. ПРОЄКТ ДЕРЖАВНОГО СТАНДАРТУ БАЗОВОЇ СЕРЕДНЬОЇ ОСВІТИ (2020) – URL : <https://mon.gov.ua/ua/news/mon-proponuye-dlya-gromadskogo-obgovorennya-proyekt-derzhavnogo-standartu-bazovoyi-serednoyi-osviti>
5. Методика развивающего обучения математике : учеб. пособие для СПО / [В. А. Далингер, Н. Д. Шатова, Е. А. Кальт, Л. А. Филоненко] ; под общ. ред. В. А. Далингера. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Издательство Юрайт, 2018. – 297 с.
6. Exploring Microsoft Office 2013. Mary Anne Poatsy, Keith Mulbery, Lynn Hogan, Amy Rutledge; Publisher: Prentice Hall, 1136 p. (2013).
7. Shvardak, M. Problem-Based Learning In Today School. In:Physical and Mathematical Education : scientific journal, Issue 1(11), pp. 124–127 (2017).
8. Vuorikari, R., Punie, Y., Carretero Gomez S., Vanden Brande, G. DigComp 2.0: The Digital Competence Framework for Citizens. Update Phase 1: The Conceptual Reference Model. Luxembourg Publication Office of the European Union. EUR 27948 EN. doi: 10.2791/11517/ pp. 9–11 (2016).
9. Learning and Skills for the Digital Era. Elektronnyi resurs. <https://ec.europa.eu/jrc/en/research-topic/learning-and-skills>
10. Kalinina, L., Noskova, M. Curriculum for the course "Using google services in teachers' work» for full-time and distance learning. In: Electronic Journal "The Theory and Methods of Educational Management", Vol. 11. (2013). <https://lib.iitta.gov.ua/2031/1/256.pdf>
11. Інформаційно-цифровий освітній простір України: [В.Г. Кременя, О.І. Ляшенка] ; укл. А.В. Яцишин, О.М. Соколюк. – Київ : НАПН України, 2019. – С. 251–262.

12. Кухарчук К. Використання емоджі підвищує ефективність командної роботи – науковці. – 2019.
– URL : <https://inspired.com.ua/practice/vykorystannya-emodzhi-pidvyshhuye-efektyvnist-komandnoyi-roboty-naukovtsi/>

References

1. Daron Acemoglu and James A. Robinson: Why nations fail: the origins of power, prosperity, and poverty./ CROWN BUSINESS-NEW YORK, pp. 7-42 (2012).
2. Kalinina, L.N., Petrovskij, S.S. In: Analiz i perspektivy ispolzovaniya oblachnyh tehnologij v processe upravleniya obsheobrazovatelnyimi uchebnymi zavedeniyami. Ukrayinskij pedagogichnij zhurnal, Vol. 2, p. 45 (2015).
3. Natsionalna dopovid pro stan i perspektivy rozvytku osvity v Ukraini / Nats. akad. ped. nauk Ukrainy ; [redkol. : V. H. Kremen (holova), V. I. Luhovy (zast. holovy), A. M. Hurzhii (zast. holovy), O. Ya. Savchenko (zast. holovy)] ; za zah. red. V. H. Kremen. – Kyiv : Pedahohichna dumka, 2016. – p. 51.
4. Draft State Standard of Basic Secondary Education (2020). <https://mon.gov.ua/ua/news/mon-proponuye-dlya-gromadskogo-obgovorennya-proyekt-derzhavnogo-standartu-bazovoyi-serednoyi-osviti>
5. Metodika razvivayushogo obucheniya matematike: ucheb. Posobie dlya SPO / V.A. Dalinger, N.D. Shatova, E.A. Kalt, L.A. Filonenko; pod obsh. red. V.A. Dalinger. – 2-e izd., ispr. i dop. M.: Izdatelstvo Yurajt. – 297 c. (2018).
6. Exploring Microsoft Office 2013. Mary Anne Poatsy, Keith Mulbery, Lynn Hogan, Amy Rutledge; Publisher: Prentice Hall, 1136 p. (2013).
7. Shvardak, M. Problem-Based Learning In Today School. In:Physical and Mathematical Education : scientific journal, Issue 1(11), pp. 124–127 (2017).
8. Vuorikari, R., Punie, Y., Carretero Gomez S., Vanden Brande, G. DigComp 2.0: The Digital Competence Framework for Citizens. Update Phase 1: The Conceptual Reference Model. Luxembourg Publication Office of the European Union. EUR 27948 EN. doi: 10.2791/11517/ pp. 9–11 (2016).
9. Learning and Skills for the Digital Era. Elektronnyi resurs. <https://ec.europa.eu/jrc/en/research-topic/learning-and-skills>
10. Kalinina, L., Noskova, M. Curriculum for the course "Using google services in teachers' work» for full-time and distance learning. In: Electronic Journal "The Theory and Methods of Educational Management", Vol. 11. (2013). <https://lib.iitta.gov.ua/2031/1/256.pdf>
11. Informatsiino-tsyfrovyi osvittii prostir Ukrainy: transformatsiini protsesy i perspektivy rozvytku. Materialy metodolohichnoho seminaru NAPN Ukrainy. 4 kvitnia 2019 r. Za red. V.H. Kremen, O.I. Liashenka; ukl. A.V. Yatsyshyn, O.M. Sokoliuk. Kyiv. pp. 30-37, pp. 52-57, pp. 269-275 (2019).
12. Kukharchuk, K. Using Emoji Enhances Teamwork Effectiveness – Scientists. In: Inspired (2019) <https://inspired.com.ua/practice/vykorystannya-emodzhi-pidvyshhuye-efektyvnist-komandnoyi-roboty-naukovtsi/>

ROMAN RUSLANOVYCH HRYMAK

Khmelnitskyi National University
ORCID ID: 0000-0001-6021-4324
e-mail: roman.gr.1998@gmail.com

OLEKSANDR ANATOLIIOVYCH PASICHNYK

Khmelnitskyi National University
ORCID ID: 0000-0002-8760-4688
e-mail: o.a.pasichnyk@gmail.com

TETIANA KAZYMYRIVNA SKRYPNYK

Khmelnitskyi National University
ORCID ID: 0000-0002-8531-5348
e-mail: marine_1996@ukr.net

EDUARD ANDRIIOVYCH MANZIUK

Khmelnitskyi National University
ORCID ID: 0000-0002-7310-2126
e-mail: eduard.em.km@gmail.com

INFORMATION TECHNOLOGY OF MAKING CONTROLLED CRITICALLY SAFE DECISIONS ABOUT MODEL PARAMETERS CONVERSION AT TRANSFER BETWEEN VISUALIZATION SYSTEMS

In modern production, computer-aided design systems have become widespread, which provide the opportunity to create technological processes with less time and engineering. Automated design system is a system capable of automated level to implement information technology to perform design functions, is an organizational and technical set of software tools designed to automate the design process, consisting of staff and a group of technical, software and other means of automating its activities.

Computer-aided design systems are an important link in industrial design, widely used in many industries, including the automotive, shipbuilding and aerospace industries, industrial and architectural design, prosthetics and many others. CAD is also widely used in computer animation for special effects in movies, commercials, and technical materials, often referred to as digital content. Due to its economic importance, the computer-aided design system has become the main driving force of research in the field of computational geometry, computer graphics (both hardware and software) and discrete differential geometry.

In today's automated manufacturing market, most constructors use additional engineering software. As a rule, such add-ins are used in the functional infrastructure of a specialized set of solutions that implement the principle of building information modeling (BIM). The most common system of this type is Autodesk Revit, a platform that provides three-dimensional modeling of building elements and flat drawing of design elements, designed for architects, designers and design engineers.

This research presents the results of information technology for Autodesk Revit computer-aided design system based on 2019-2021 packages, which will allow users of the architectural visualization platform to use the functions of viewing, processing, mathematical transformation and serialization on elements of 3D building models.

Keywords: coordinate systems, visualization systems, Autodesk, Autodesk Revit, Building Information Modeling.

РОМАН РУСЛАНОВИЧ ГРИМАК

Хмельницький національний університет

ОЛЕКСАНДР АНАТОЛІЙОВИЧ ПАСІЧНИК

Хмельницький національний університет

ТЕТЯНА КАЗИМИРІВНА СКРИПНИК

Хмельницький національний університет

ЕДУАРД АНДРІЙОВИЧ МАНЗЮК

Хмельницький національний університет

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПРИЙНЯТТЯ КОНТРОЛЬОВАНИХ КРИТИЧНО-БЕЗПЕКОВИХ РІШЕНЬ ПЕРЕТВОРЕННЯ ПАРАМЕТРІВ МОДЕЛЕЙ ПРИ ТРАНСФЕРІ МІЖ СИСТЕМАМИ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ

На сучасному ринку автоматизованого виробництва більшість інженерів-конструкторів мають потребу в застосуванні додаткового програмного забезпечення. Як правило, такі надбудови використовуються у функціональній інфраструктурі спеціалізованого комплексу рішень, що реалізують принцип інформаційного моделювання будівель. Найпоширенішою системою такого типу є Autodesk Revit, тобто платформа, яка надає можливості тривимірного моделювання елементів будівлі і плоского креслення елементів оформлення, призначеного для архітекторів, конструкторів і інженерів-проектувальників.

Ключові слова: системи координат, системи візуалізації, Autodesk, Autodesk Revit, Building Information Modeling.

FORMULATION OF THE PROBLEM

Computer-aided design system has a set of functional tasks that allow engineer to basically proceed the information modeling of architectural and construction 3D models. However, like any system of geometric visualization, these platforms are limited in the implementation of specialized processes, for example, in the calculations of local coordinates related to the view elements on the engineering sheets. Therefore, by the infrastructure of Autodesk platform and its application programming interface developers obtain the ability to

organize an unlimited number of engineering add-ins which will be used to solve a specified collection of tasks.

ANALYSIS OF RECENT RESEARCH

Autodesk Inc. is the world's largest provider of software for industrial and civil construction, mechanical engineering, media and entertainment markets. The company has developed a wide range of replicated software products for architects, engineers and designers. There are currently more than 9 million Autodesk users worldwide [1].

In total, Autodesk currently produces about a hundred software products. Four systematized divisions are engaged in development:

1. Solutions for industrial production and mechanical engineering is a comprehensive set for design and engineering, which is used in various industries, including mechanical engineering, electromechanical, automotive production of industrial equipment and consumer goods. Many products are based on digital prototype technology. The solutions of this segment include: Autodesk Inventor, AutoCAD Mechanical and AutoCAD Electrical, Autodesk Simulation.

2. Solutions for the architectural and construction industry [2]. The programs of this group are used mainly by various architectural and design workshops, as well as other construction companies for the design of various buildings and structures, modeling and analysis of their structures and subsystems. These solutions include parametric design systems based on building information modeling technology Autodesk Revit Architecture and Autodesk Revit Structure, applications for the design of building subsystems AutoCAD Architecture, AutoCAD Civil 3D and AutoCAD MEP, as well as analytical systems for solving problems of environmentally friendly design. The solutions of this segment include: Autodesk Revit, AutoCAD Civil 3D, AutoCAD Map 3D.

3. Solutions for working with animation, graphics and creating virtual reality. Tools for creating multimedia materials in all areas of the entertainment industry, from visual effects in film and television, and color correction to animation, rendering, and computer game development. Major developments include 3D graphics editors Autodesk Maya, Autodesk 3ds Max and Autodesk Softimage, Motionbuilder animation solutions, Mudbox digital image sculpting, Burn, Inferno, Flame, Flint, Luster and Smoke special video effects processors.

Information technology about parametric transformation based on the system of building information modeling belongs to the category of solutions for the architectural and construction industry, so at the stage of analysis of existing software in the subject area were selected the following computer-aided design systems: Autodesk Revit and AutoCAD Civil 3D.

Autodesk Revit or simply Revit is a software package for computer-aided design, which implements the principle of information modeling of buildings (figure 1).

The computer-aided design system is designed for architects, designers and design engineers [3]. The platform provides the opportunities for three-dimensional modeling of building elements and flat drawings of design elements, creation of custom objects, organization of joint work on the project, starting from the concept and ending with the release of working drawings and specifications.



Figure 1. Autodesk Revit

AutoCAD Civil 3D is a software product for professionals in the field of land management, surveying, master plan design and infrastructure [4]. It is based on the use of BIM-technologies and three-dimensional mathematical model of objects. AutoCAD Civil 3D allows you to fully automate the design of infrastructure objects, the creation and release of working documentation, ranging from the collection and processing of field data, geodetic surveys and ending with 3D-visualization of the design concept and the construction of the objects themselves.

In the market of automated products for solutions of the architectural and construction industry, there are a large number of software products for the development of BIM-model and subsequent design of working documentation. If you consider modeling tools, the Revit package has everything you need to quickly and accurately build a 3D model.

With proper preparation of the template, all the information part will already be embedded in the BIM-model. As part of the template preparation, BIM coordinators configure all the necessary specifications. As the BIM model is built, these specifications are automatically populated and, in the event of any changes, are automatically updated. These settings can also be made with dynamic blocks in Autocad, but in some technical scenarios they may not look very stable.

In the Revit computer-aided design system, the model and the specifications are interrelated [5]. That is, you can select any element in the specification and show it in any form where this element/elements are present. This allows you to: eliminate unnecessary elements, quickly fill in the specifications and coordinate the project.

When Revit lacks standard tools, there is a large database of plug-ins that allow you to perform various actions. From the simplest, such as alignment of elements according to the given law or the expanded choice of elements of model on parameters, to more difficult - for example, automatic construction of finishing of rooms.

Therefore, after analyzing the existing software of the subject area and determining all the necessary conditions for creating information technology for model parameters conversion, we can conclude that the software add-in will be implemented for the automated design system Autodesk Revit.

The purpose of the research: thus, having analyzed the characteristics of the subject area, a set of definitions for working with the position of mathematical objects and architectural and construction visualization system, for information technology about conversion of BIM 3D model parameters there is an implementation of the following functional stages:

1. Development and organization of technical means for creating a tool add-in in the computer-aided design system Autodesk Revit.

2. Definition of the basic parameters for work with components of building 3D models. Systematization of data on the elements of the room, obtaining standard information through the Revit API.

3. Formation of a mathematical model in order to convert the coordinates between the elements of the architectural and construction model and engineering sheets.

4. Organization of the results related to mathematical processing in the text format of data exchange. Generation of built-in elements of architectural and construction visualization.

5. Development of an auxiliary module for working with software resources of the Azure cloud service. Create and configure a storage account with a 5GB quota. Sending the resulting data with subsequent synchronization within the cloud service. Transfer of engineering specification between architectural visualization systems.

PRESENTATION OF THE MAIN MATERIAL

Coordinate transformation is the replacement of a coordinate system on a plane, in space, or, in the most general case, on a given n -dimensional variety [6].

All rectangular coordinate systems in the study space are equal, ie the choice of one of them is not worse or better than the choice of another. These or those preferences are given based on the specifics of a particular task. The use of different coordinate systems poses the problem of converting the coordinates of a point, ie the problem of calculating its coordinates in one coordinate system by its coordinates in another system.

The Revit computer-aided design system, designed to work with architectural solutions, uses two coordinate systems: the survey coordinate system and the project coordinate system [7].

The survey coordinate system is the real context for the building model. It is designed to describe the location on the earth's surface. The survey coordinate system is used to identify a specific location on the ground where the Revit model is located. This coordinate system is created outside the context of the project.

A large number of shooting coordinate systems are standardized. Some systems use latitude and longitude, while others use the coordinates of points on the X, Y, and Z axes. Surveying coordinate systems use much larger scales than project coordinate systems, and take into account details such as land and terrain curvature that are insignificant for coordinate systems of project systems.

The coordinate system of the project describes the location relative to the building model. It uses the selected point within the plot as a reference point to measure the distances and locations of objects relative to the model.

The project coordinate system is used to determine the location of objects relative to a given point next to the model. This coordinate system is unique to the current project. The beginning of the internal coordinate system is the basis for the survey coordinate system and the project coordinate system.

Information technology for converting the parameters of geometric objects involves the generation of a single digital model in the context of architectural components. To implement this idea there is a need in systematization of mathematical algorithms to convert the coordinates between the elements of the BIM model and engineering sheets.

The essence of the View is the basic view for all types of View in Autodesk Revit. The view can display an image created with the Revit model. Displays can be graphical, such as plans, heights, or 3D views, or textual, such as graphics (figure 2).

Autodesk Revit's suite of application programming interface allows you to operate architectural objects at

the Active View level. As a rule, the array of geometric primitives is organized under the coordinate system of the project, that is, the center of mathematical calculations is a point set by the author of the document.



Figure 2. Floor Plan in Autodesk Revit

Engineering sheet or Sheet/ViewSheet entity is a type of architectural mapping consisting of a model view and a header. Each sheet has a unique sheet number in a complete set of drawings. The number is displayed before the sheet name in the project browser (figure 3).

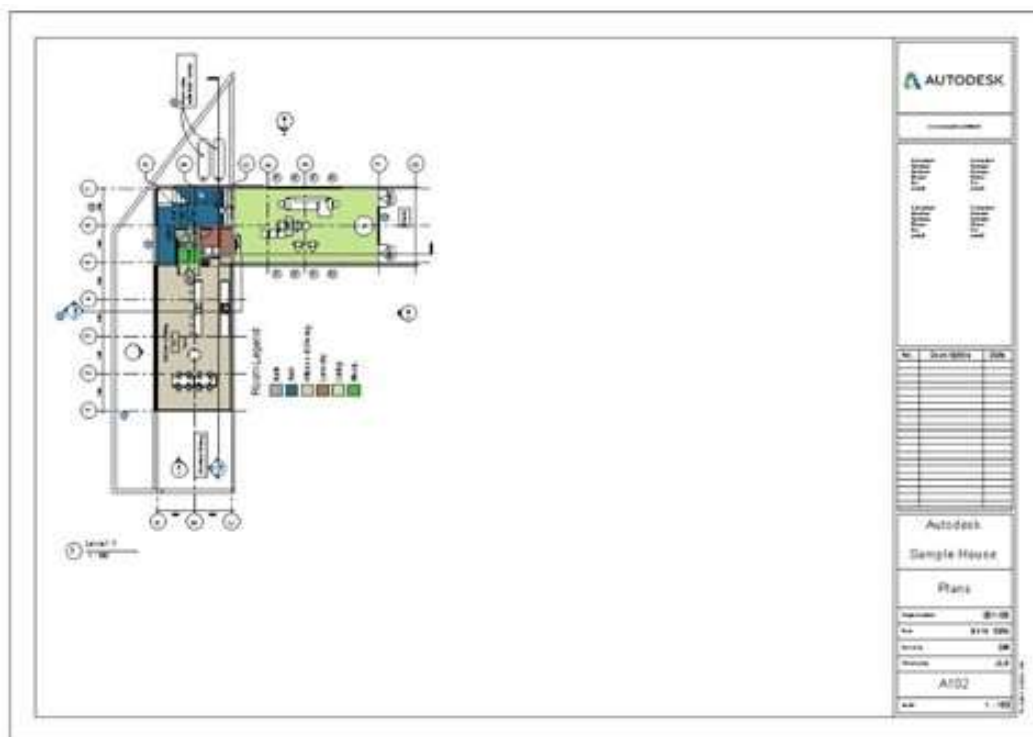


Figure 3. ViewSheet in Autodesk Revit

The main structural element for the ViewSheet entity is an object called Viewport, which acts as an information intermediary between the specific mapping of the floors and the engineering sheets on which these mappings are placed. The ViewSheet coordinate system is a two-dimensional paper space, where the center of coordinates by default is the lower left corner of the active sheet. In case the user of the platform for architectural solutions tries to remove the header from the ViewSheet view, Autodesk Revit will automatically set the center of

the paper coordinate system depending on the location of the Viewport components.

For design of structure and systematization of information technology regarding the parameters transformation of architectural and construction 3D models there is a need in the analysis and automation of information flows processing. The functionality of the engineering add-in must match all the necessary conditions for data processing from the Revit API. The business processes in Autodesk Revit can be divided into the following groups:

1. Business process for working with views of the active document (figure 4):

- display a list of document views;
- view data of the active view;
- interactions through Revit: connection and scaling functions for the relatively active view;
- search for objects from the list of available views.

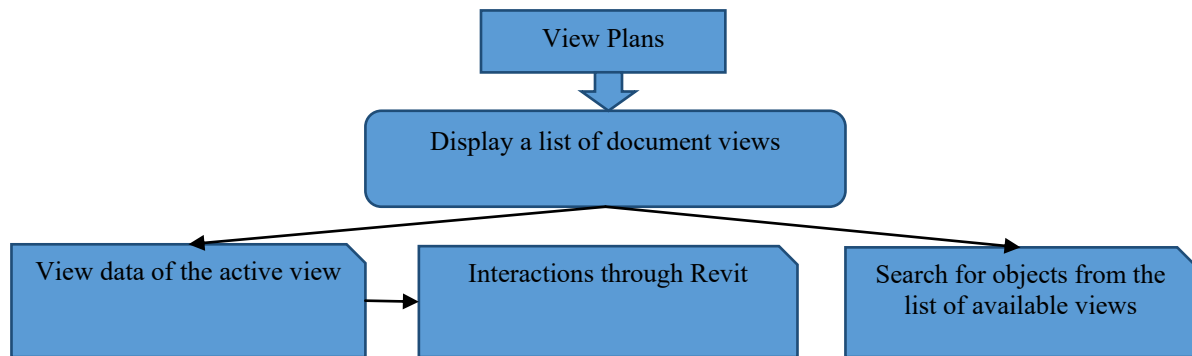


Figure 4. Business process for working with views of the active document

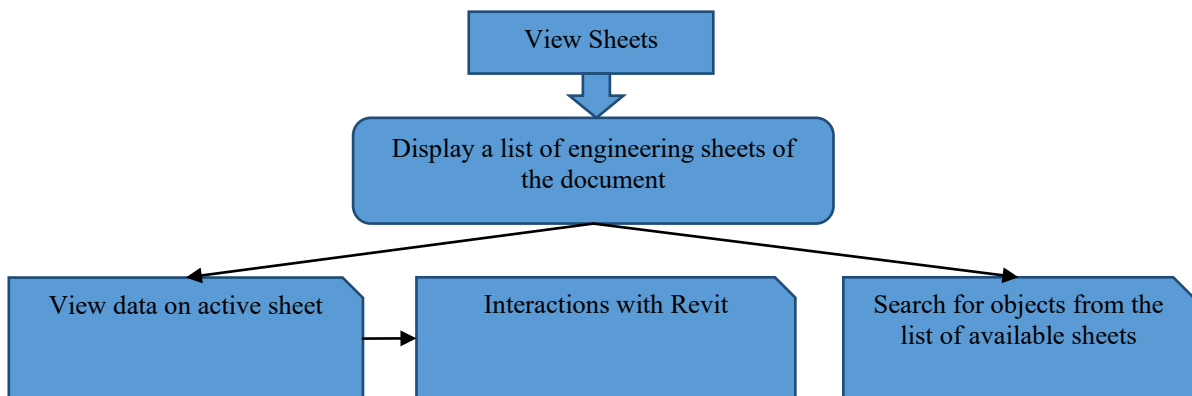


Figure 5. Business process for working with a sheet of an active document

2. Business process for working with a sheet of an active document (figure 5):

- display a list of engineering sheets of the document;
- view data on active sheet;
- interactions with Revit: function of connection of the active engineering sheet;
- search for objects from the list of available engineering sheets.

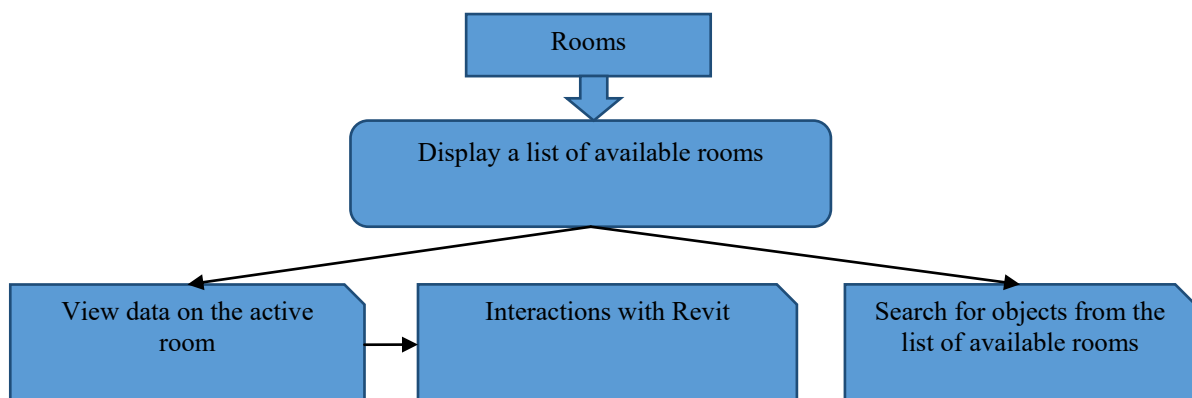


Figure 6. Business process for working with rooms at the level of active view

3. Business process for working with rooms at the level of active view (figure 6):

- display a list of available rooms;

- view data on the active room;
- interactions with Revit: zoom function to the active room;
- search for objects from the list of available rooms.

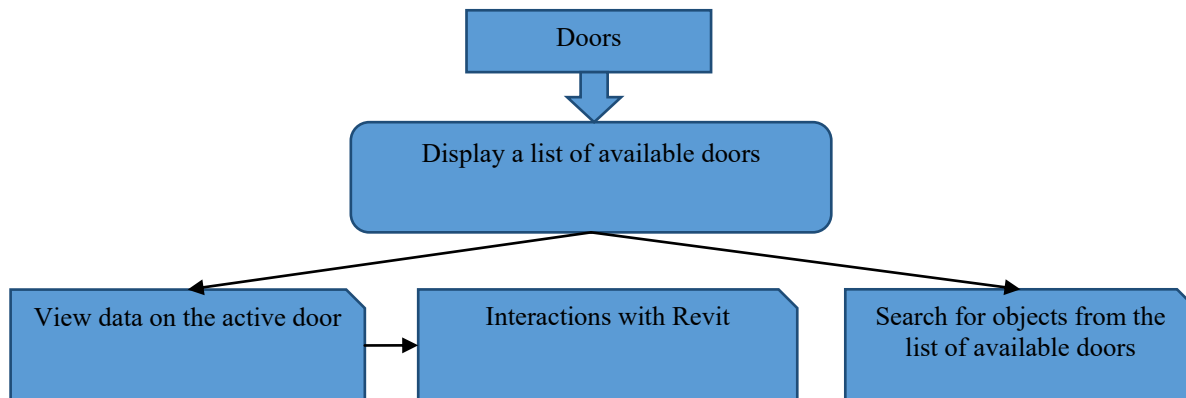


Figure 7. Business process for working with doors at the level of active view

4. Business process for working with doors at the level of active view (figure 7):

- display a list of available doors;
- view data on the active door;
- interactions with Revit: zoom function to the active door;
- search for objects from the list of available doors.

5. Business process for working with linked documents (figure 8):

- display a decision tree for linked documents;
- display rooms and doors for each linked document;

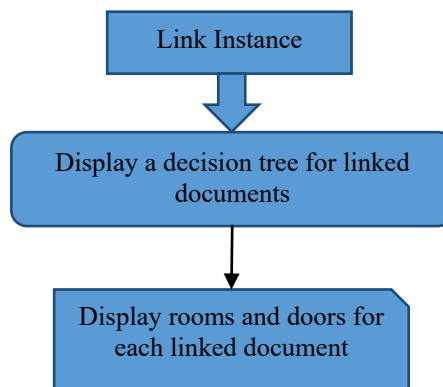


Figure 8. Business process for working with linked documents

6. Business process for working with metadata generation (figure 9):

display a list of engineering sheets at the level of the active document;
 give the user the opportunity to select sheets before sending to the resources of the Azure cloud service;
 review of current information on the created data;
 generate metadata and their images based on selected engineering sheets.

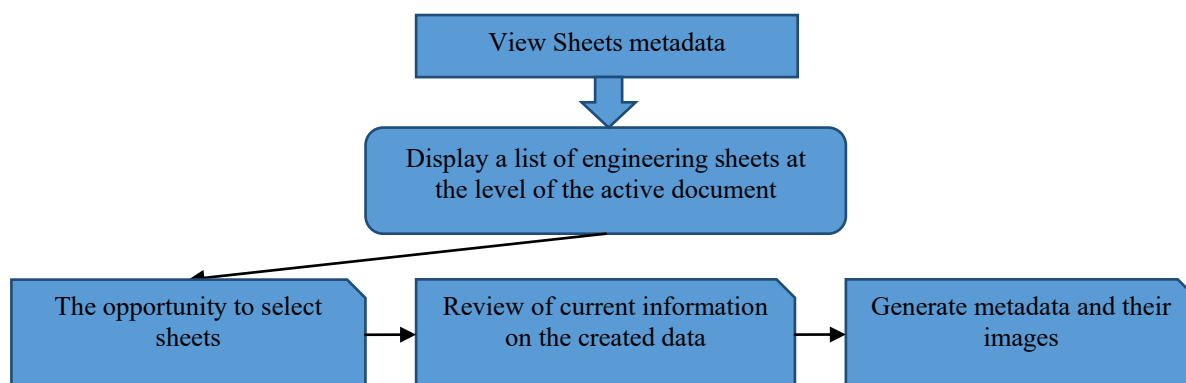


Figure 9. Business process for working with metadata generation

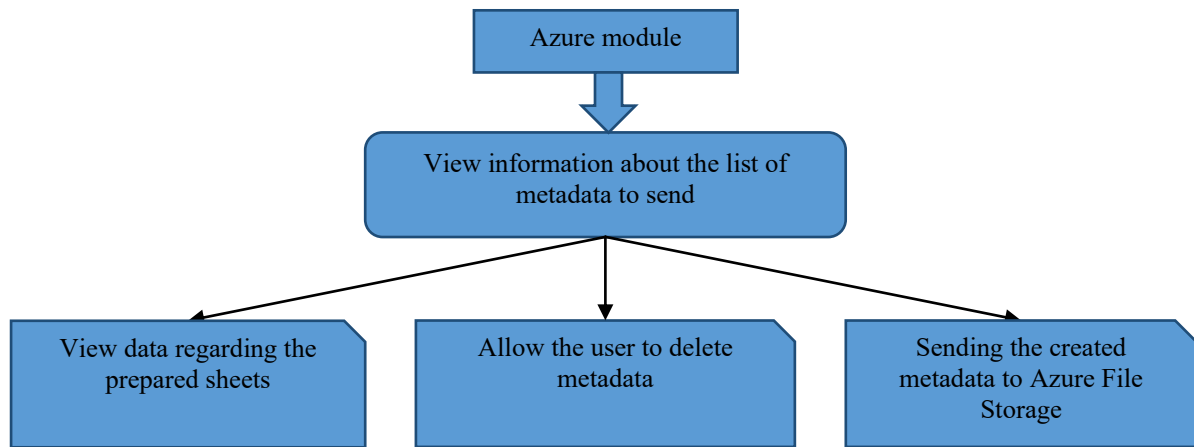


Figure 10. Business process for working with sending data to Azure File Storage

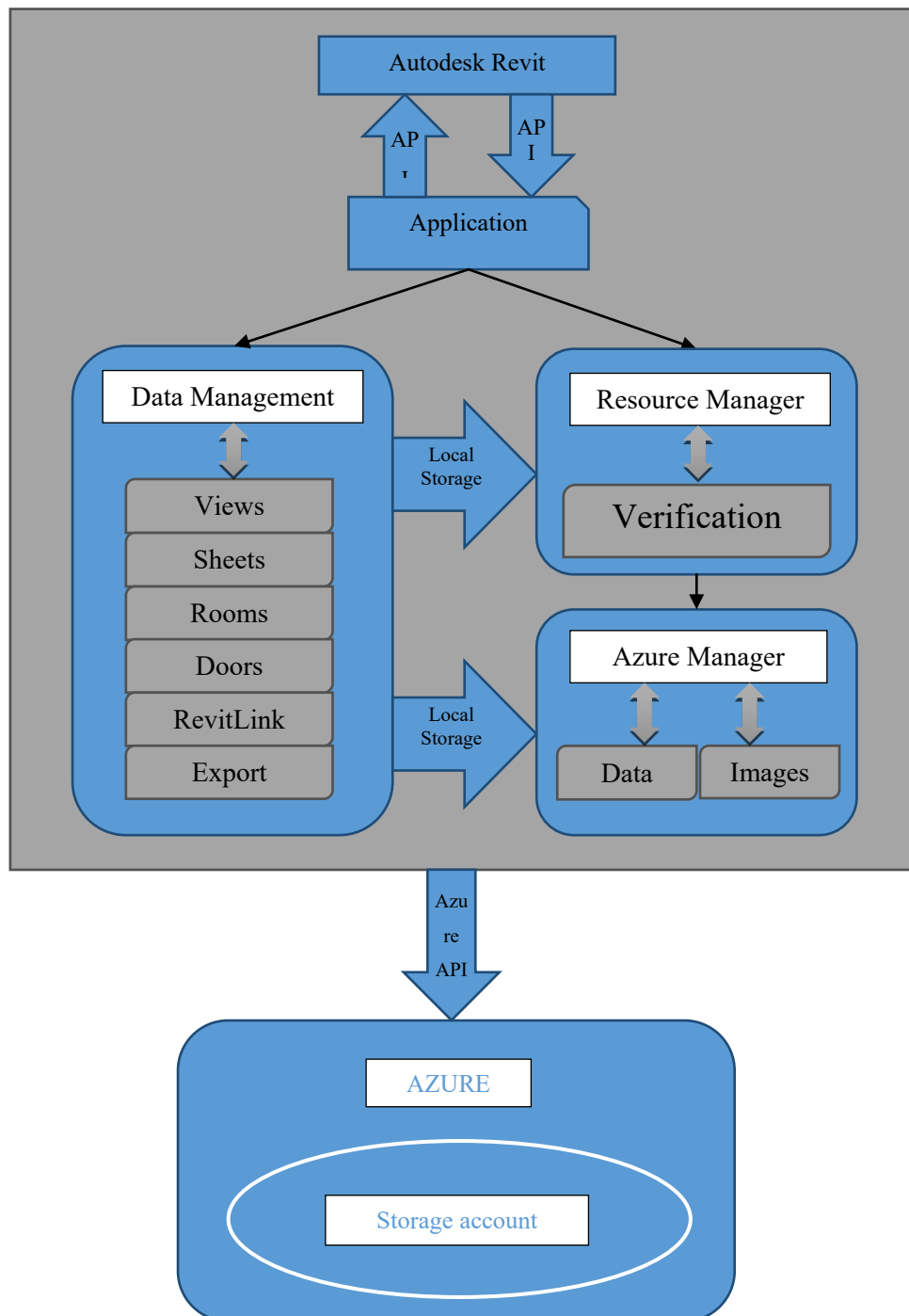


Figure 11. Functional user diagram of the engineering add-in

7. Business process for working with sending data to Azure File Storage (figure 10):

- view information about the list of metadata to send;
- allow the user to delete metadata;
- sending the created metadata to Azure File Storage.

The user of the computer-aided design system must perform a certain sequence of actions to activate the engineering superstructure and further work with the data on the connected architectural and construction 3D models.

Queries with subsequent information modeling of architectural and building elements of 3D models engineering add-in in the structure of Autodesk Revit should be carried out due to the integrated software interface Revit API. To work with the business processes of the active document, the end user must first approve the installation of the main library of the add-in in the functional infrastructure of the computer-aided design system.

It is expected that the implementation of the information module, resource manager and cloud service Azure will be implemented through the components of the user interface from the Windows operating system. The above set of elements will prepare the data of the geometric specification when transferring between visualization systems.

CONCLUSION

Thus, after analyzing the processing of information flows, the engineering technology of model parameters conversion was determined by a complete list of business processes that are subject to automation algorithms. Given the object-oriented feature groups and the organized functional diagram of the computer-aided design systems user, it is possible to configure the structure of the information system, which will be designed to work with the elements of the level with the subsequent generation of their geometric data at the local paper-space coordinate system.

References

1. Autodesk learning and training. URL: <https://www.autodesk.com/training>
2. What is Autodesk, Introduction to Autodesk. URL: <https://www.educba.com/what-is-autodesk/>
3. Yori R., Kim M., Kirby L. Mastering Autodesk Revit 2020 1st Edition. The best-selling Revit guide, now more complete than ever with all-new coverage on the 2020 release. 2019. P. 50–56.
4. Autodesk Civil 3D 2020: Fundamentals (Imperial Units): Autodesk Authorized Publisher. 2019. P. 130–131.
5. Preimushestva Revit dlya podgotovki BIM-modeli. URL: <https://infars.ru/blog/preimushchestva-revit-dlya-podgotovki-bim-modeli/>
6. Sistemi koordinat i preobrazovanie_koordinat. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Preobrazovanie_koordinat
7. About Coordinate Systems in Autodesk Revit platform. URL: <https://knowledge.autodesk.com/support/revit/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2020/ENU/Revit-Model/files/GUID-E67ED082-2556-475B-84A7-4605329F612F-htm.html>
8. Revit API 2021. URL: <https://www.revitapidocs.com/2021.1/>

А.Ю. ШІЛІНГ

Національний університет «Львівська політехніка»

ORCID ID: 0000-0003-1063-3437

e-mail: anna.y.shilinh@lpnu.ua

Н.В. ХОМИН

Національний університет «Львівська політехніка»

ORCID ID: 0000-0002-7211-0589

e-mail: nataliia.khomyn.dk.2020@lpnu.ua

ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ІНФОРМАЦІЙНОГО НАПОВНЕННЯ ВЕБ-РЕСУРСІВ ЗАКЛАДУ ВИЩОЇ ОСВІТИ З ВРАХУВАННЯМ ПАРАМЕТРІВ, ЩО ХАРАКТЕРИЗУЮТЬ ЕФЕКТИВНІСТЬ ЙОГО КОМУНІКАТИВНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

У роботі проведено дослідження веб-ресурсів закладу вищої освіти як ефективного засобу комунікативної діяльності цього ЗВО у віртуальному просторі. Дослідження ґрунтується на вибір методів оцінки якості інформаційного наповнення веб-ресурсів закладу вищої освіти за використанням метрик стандарту ISO / IEC-25010, що враховують параметри ефективності комунікації закладу вищої освіти. Результати дослідження використовуються і можуть бути використані для оцінювання якості інформаційного наповнення вебресурсів закладу вищої освіти для практичного оцінювання ефективності цього вебресурсу у його комунікативній діяльності.

Ключові слова: вебресурс, інформаційне наповнення, метрики стандарту ISO / IEC-25010, комунікативна діяльність, заклад вищої освіти.

SHILINH ANNA YU.

Lviv Polytechnic National University

KHOMYN NATALIA V.

Lviv Polytechnic National University

ASSESSMENT OF THE QUALITY OF HIGHER EDUCATION INSTITUTION'S WEB RESOURCES INFORMATION CONTENT TAKING INTO ACCOUNT THE PARAMETERS WHICH CHARACTERIZE THE COMMUNICATIVE ACTIVITY EFFECTIVENESS

The aim of the article is to study the web resources of a higher education institution as an effective means of communicating the activities of this HEI. The study is based on the choice of methods for assessing the quality of higher education institutions' web resources information content, taking into account the parameters of the effectiveness of its communication. The article identifies the role of official web resources of higher education institutions in modern conditions (in particular, in the context of the Covid-19 pandemic). In this paper, the information content of web resources of higher education institutions is defined as an information product. It is established that high-quality information content is a necessary condition for effective communicative activity of a higher education institution in the virtual space. The article uses approaches to assessing the quality of higher education institutions web resources information content by assessing the quality of such information products as software. That is why their quality is determined by a set of indicators determined according to the ISO / IEC-25010 standard, taking into account the parameters of the effectiveness of communicative activities of higher education institutions in virtual space. As a result of research it is established that to assess the quality of the higher education institution's web resources content, taking into account the parameters of the effectiveness of its communication, the appropriate characteristics / sub-characteristics of software quality in accordance with ISO / IEC-25010 standard. It is this approach that allowed us to practically assess the effectiveness of free resources of the higher education institution in communicating with consumers of educational services in cyberspace.

Keywords: web resource, information content, metrics of the ISO / IEC-25010 standard, communicative activity, higher education institution.

Постановка проблеми

У столітті новітніх технологій суттєвою особливістю є їх зростання, а особливу роль у цьому процесі відіграє саме мережа Інтернет, яка формує віртуальну реальність та є засобом масової комунікації.

За таких умов, особливого розвитку набуває сфера віртуальної освіти.

Одним із невід'ємних елементів функціонування та конкурентоспроможності закладу вищої освіти (ЗВО) на ринку освітніх послуг є його активна позиція у всесвітній мережі Інтернет. Одним із основних офіційних представлень ЗВО у віртуальному просторі є його веб-ресурси. Створення власних веб-ресурсів, які забезпечують не тільки високий рівень навчання, а й представлення та імідж самого університету на освітньому ринку, стало пріоритетним напрямком розвитку ЗВО, особливо в умовах пандемії Covid-19. На сьогодні, комунікація в Інтернеті містить потужні елементи зворотного зв'язку й тим самим створює значні можливості для комунікації. Саме тому комунікативна діяльність ЗВО у віртуальному просторі є актуальним дослідженням на сьогодні.

Комунікативна діяльність ЗВО у віртуальному просторі не обмежується лише спілкуванням та поданням інформації на офіційних веб-ресурсах. Є багато відповідних освітніх груп у соціальних середовищах Інтернету. Але офіційний веб-ресурс є достовірним джерелом освітнього контенту для комунікативної діяльності, оскільки уся інформація як освітня, так і відповіді на дописи учасників, проходить перевірку відповідних підрозділів ЗВО, які відповідають за інформаційний образ цього ЗВО у віртуальному просторі. Саме тому, у цьому дослідженні аналізується інформаційне наповнення офіційних

веб-ресурсів ЗВО.

Аналіз останніх джерел

Дослідження процесу комунікації ЗВО у віртуальному просторі розглядається у декількох напрямках. Зокрема, у дослідженнях [1, 2] розглядається формування веб-ресурсів та опрацювання інформаційного наповнення. Розробка методів та засобів персоніфікації інформаційного наповнення у віртуальному просторі є предметом досліджень [3]. Роль веб-ресурсів у процесі комунікації учасників освітнього процесу визначена у роботі [4]. Роботи [5, 6] присвячені формуванню інформаційного образу ЗВО та вплив на нього інформаційного наповнення у веб-ресурсах. Комунікаційна діяльність ЗВО у віртуальному просторі є предметом дослідження [7]. Критерії маркетингового аналізу сайту ЗВО для ефективної комунікації описані у дослідженні [8].

Дослідження ІН освітніх веб-форумів відбувається на основі лінгвістичних характеристик, що впливають на комунікацію та соціальну взаємодію учасників спілкування [9]. Особливості комунікативної взаємодії у віртуальних спільнотах на основі веб-форумів характеризуються процесами виявлення мотиваційних намірів [10], та виявлення маніпуляцій у реальному часі [11].

З іншого боку, у нормативному документі [12], визначено перелік інформаційного наповнення, до якого повинен дати доступ ЗВО усім споживачам освітніх послуг.

Державні стандарти України систем управління якістю визначені у документах [13, 14]. Визначення інформаційного наповнення веб-ресурсів як інформаційного продукту та застосування методів оцінювання якості програмного забезпечення для інформаційного продукту описано у роботі [15].

Але жодне із досліджень не розглядає оцінювання якості інформаційного наповнення веб-сайту ЗВО з врахуванням параметрів, що характеризують ефективність комунікативної діяльності. Це формує актуальність даного дослідження.

Отже, **метою статті** є проведення дослідження ефективності веб-ресурсу ЗВО на основі метрик оцінювання якості його інформаційного наповнення за стандартом ISO / IEC-25010 з врахуванням параметрів ефективності комунікації.

Виклад основного матеріалу

Вибір методу оцінювання якості інформаційного наповнення веб-ресурсів ЗВО у віртуальному просторі

Комунікативна діяльність ЗВО на офіційних веб-ресурсах безпосередньо залежить від якості та достовірності їх інформаційного наповнення. До інформаційного наповнення веб-ресурсу ЗВО відносять не лише тематичні дописи, створені працівниками цього ЗВО, але й коментарі відвідувачів цього веб-ресурсу. Це формує відповідний зворотний зв'язок ЗВО зі споживачами освітніх послуг.

Враховуючи дослідження [16], можна стверджувати, що інформаційне наповнення веб-ресурсів ЗВО, зокрема веб-сайту, безпосередньо впливає на його активних та пасивних користувачів. Саме тому, дослідження ефективності комунікативної діяльності веб-ресурсів ЗВО на основі метрик оцінювання якості його інформаційного наповнення за стандартом ISO / IEC-25010 [17, 18] є актуальним на сьогодні.

Метод оцінки якості інформаційного наповнення веб-ресурсів ЗВО полягає у застосуванні показників якості стандарту ISO / IEC-25010 до оцінки якості його інформаційного наповнення.

Згідно з дослідженням [8], основними параметрами, що характеризують ефективність і якість комунікацій сайту ЗВО, як одного із офіційних веб-ресурсів, є:

- 1) реклама і просування освітніх послуг;
- 2) позиціонування ЗВО і підтримка іміджу;
- 3) функція управління взаємовідносинами з клієнтами кількість дописів нових користувачів;
- 4) громадські відносини;
- 5) позитивні публікації про ЗВО, про його освітні послуги, презентації, прес-конференції, прес-релізи, «віртуальні» екскурсії по ЗВО.

Отже, серед усіх показників якості стандарту ISO / IEC-25010 необхідно вибрати такі, що відповідають вимогам щодо формування інформаційного наповнення веб-ресурсів ЗВО, як програмне забезпечення.

Аналіз показників, що відповідають характеристикам/підхарактеристикам якості програмного забезпечення відповідно до стандарту ISO / IEC-25010, показує, що такі характеристики/підхарактеристики підходять для оцінки якості інформаційного наповнення веб-ресурсу ЗВО з врахуванням параметрів, що характеризують ефективність комунікативної діяльності ЗВО, є:

1. Функціональна придатність (Functional suitability):
 - Відповідність (Appropriateness);
 - Точність (Precision).
2. Ефективність продуктивності (Performance efficiency):
 - Використання ресурсів (Resource utilisation).
3. Придатність до використання (Operability):
 - Рівень допомоги (Helpfulness);
 - Привабливість (Attractiveness).

Метод оцінювання якості комунікативної діяльності ЗВО ґрунтується на показниках стандарту ISO / IEC-25010, які задовольняють вимогам щодо оцінки якості інформаційного наповнення веб-ресурсу ЗВО та

з врахуванням параметрів, що характеризують ефективність комунікативної діяльності ЗВО у віртуальному просторі.

Розробка показників якості інформаційного наповнення веб-сайту ЗВО у віртуальному просторі

Інформаційне наповнення є інформаційним продуктом, і саме тому воно впливає на якість задоволення інформаційних потреб користувачів офіційних веб-ресурсів ЗВО та сприяє комунікативній діяльності ЗВО у віртуальному просторі. Коли формується інформаційне наповнення веб-ресурсу ЗВО, необхідно надати таку актуальну інформацію, яка б враховувала особливості та інформаційні потреби користувачів цих освітніх веб-ресурсів для підвищення ефективності комунікативної діяльності ЗВО.

Якість інформаційного наповнення офіційних веб-ресурсів ЗВО з врахуванням параметрів, що характеризують ефективність комунікативної діяльності визначається набором показників стандарту ISO / IEC-25010.

Розробка функціональних показників якості інформаційного наповнення веб-ресурсів ЗВО з врахуванням параметрів, що характеризують ефективність комунікативної діяльності

Вимоги до якісної оцінки вмісту інформаційного наповнення веб-ресурсів ЗВО з врахуванням параметрів, що характеризують ефективність комунікативної діяльності, задовольняються такими підхарактеристиками показників функціональності:

- Функціональна відповідність (Functional suitability);
- Точність (Precision).

Функціональна відповідність – це показник відповідності функцій програмного продукту, виявленим та прогнозованим потребам користувачів веб-ресурсів ЗВО.

Відповідність функціональній повноті визначається за допомогою (1):

$$HEIContQuality_i^{(FS)} = \frac{|Element_i^{(HEIContent)}|}{|Element_i^{(AllContent)}|} \rightarrow 1, \quad (1)$$

де $HEIContQuality_i^{FS} = \frac{|Element_i^{(HEIContent)}|}{|Element_i^{(AllContent)}|} \rightarrow 1$, $|Element_i^{(HEIContent)}|$ – кількість елементів множини інформаційного наповнення i -го веб-ресурсу ЗВО, який відображає позиціонування ЗВО та підтримка його іміджу у віртуальному середовищі, $|Element_i^{(AllContent)}|$ – кількість усіх елементів множини інформаційного наповнення i -го веб-ресурсу ЗВО.

Точність (Precision) – це міра, за якою програмний продукт надає інформаційне наповнення у веб-ресурсах ЗВО з належним рівнем точності.

Ця підхарактеристика визначається за допомогою (2):

$$HEIContQuality_i^{(FP)} = 1 - \frac{|Element_i^{(HEIPrecisionData)}|}{T} \rightarrow 1, \quad (2)$$

де $|Element_i^{(HEIPrecisionData)}|$ – кількість неточних елементів множини інформаційного наповнення про освітні послуги ЗВО в i -му веб-ресурсі ЗВО, T – час обробки цього інформаційного наповнення.

Таким чином, функціонал інформаційного контенту показує актуальність та достовірність наявного інформаційного наповнення у веб-ресурсах ЗВО у віртуальному просторі.

Розробка показників якості ефективності продуктивності інформаційного наповнення веб-ресурсів ЗВО з врахуванням параметрів, що характеризують ефективність комунікативної діяльності

Вимоги щодо оцінювання якості інформаційного наповнення веб-ресурсів ЗВО з врахуванням параметрів, що характеризують ефективність комунікативної діяльності задовольняє підхарактеристику ефективності використання освітнього інформаційного наповнення цих веб-ресурсів Використання ресурсів (Resource utilisation) – міра, за якої програмний продукт використовує відповідні кількості і типи ресурсів, коли програмне забезпечення виконує свою функцію в зазначених умовах.

Використання ресурсів визначатимемо так:

$$HEIQuality_i^{(Res)} = \frac{|Element_i^{(POExperience)}|}{|Element_i^{(AllPOExperience)}|} \rightarrow 1 \quad (3)$$

де $|Element_i^{(POExperience)}|$ – кількість актуальних елементів множини інформаційного наповнення i -го веб-ресурсу ЗВО про співпрацю з громадськими організаціями, $|Element_i^{(AllPOExperience)}|$ – загальна кількість усіх елементів множини інформаційного наповнення i -го веб-ресурсу ЗВО про співпрацю з громадськими організаціями.

Отже, якість інформаційного наповнення веб-ресурсу ЗВО за ефективністю використання ресурсів показує рівень актуальних дописів про співпрацю ЗВО з громадськими організаціями i -го веб-ресурсу ЗВО.

Розробка показників якості придатності до використання освітнього інформаційного

наповнення веб-ресурсів ЗВО з врахуванням параметрів, що характеризують ефективність комунікативної діяльності

Вимоги щодо оцінювання якості інформаційного наповнення веб-ресурсів ЗВО з врахуванням параметрів, що характеризують ефективність комунікативної діяльності задовольняють такі підхарактеристики, придатності до використання:

- Рівень допомоги (Helpfulness);
- Привабливість (Attractiveness).

Рівень допомоги – це міра забезпеченості користувача веб-ресурсу допомогою.

Рівень допомоги визначатимемо так:

$$HEIContQuality_i^{(Hepl)} = \frac{|Element_i^{(HEIExperience)}|}{|Element_i^{(AllData)}|} \rightarrow 1 \quad (4)$$

де $|Element_i^{(HEIExperience)}|$ – кількість елементів множини інформаційного наповнення i -го веб-ресурсу ЗВО, який містять позитивні відгуки про діяльність ЗВО та для яких надано зворотний зв'язок зі споживачами освітніх послуг, $|Element_i^{(AllData)}|$ – це загальна кількість елементів множини інформаційного наповнення i -го веб-ресурсу ЗВО.

Таким чином, придатність до використання інформаційного наповнення веб-ресурсів ЗВО за рівнем допомоги показує частку актуального інформаційного наповнення, на який реагує та формує комунікативну діяльність користувач цих ресурсів

Привабливість – це рівень впливу програмного забезпечення на користувача. Привабливість визначається за допомогою (5):

$$HEIContQuality_i^{(O.A)} = \frac{|Element_i^{(HEIActive)}|}{|Element_i^{(HEIPresent)}|} \rightarrow 1 \quad (5)$$

де $|Element_i^{(HEIActive)}|$ – кількість елементів множини активних тем, які виражають позитивні відгуки про діяльність ЗВО у i -му веб-ресурсі.

Таким чином, придатність до використання інформаційного наповнення вебресурсів ЗВО за привабливістю показує частку цільового інформаційного наповнення, що викликало інтерес її учасників у i -му веб-ресурсі.

Моніторинг результатів вибраних показників якості інформаційного наповнення веб-ресурсів ЗВО з врахуванням параметрів, що характеризують ефективність комунікативної діяльності

Для моніторингу якості інформаційного наповнення веб-ресурсів ЗВО з врахуванням параметрів, що характеризують ефективність комунікативної діяльності, використано офіційний веб-сайт Національного університету «Львівська Політехніка» (<https://lpnu.ua>). Моніторинг показників якості інформаційного наповнення офіційного веб-сайту Національного університету «Львівська Політехніка» з врахуванням параметрів, що характеризують ефективність комунікативної діяльності здійснювався за такими показниками:

- Функціональна відповідність інформаційного наповнення щодо позиціонування ЗВО та підтримку іміджу;
- Точність інформаційного наповнення щодо просування освітніх послуг ЗВО;
- Ефективність використання інформаційного наповнення у контексті співпраці з громадськими організаціями;
- Рівень допомоги інформаційного наповнення щодо кількості дописів та звернень споживачів освітніх послуг;
- Привабливість інформаційного наповнення за кількістю позитивних відгуків про освітню діяльність ЗВО.

Для аналізу динаміки показників якості інформаційного наповнення веб-ресурсів ЗВО з врахуванням параметрів, що характеризують ефективність комунікативної діяльності, вважатимемо значення показника оптимальним, якщо воно належить проміжку $[0,7; 1]$, і прийнятним, якщо воно належить проміжку $[0,4; 0,7]$.

Показники якості інформаційного наповнення офіційного веб-сайту Національного університету «Львівська Політехніка» показано на рис. 1.

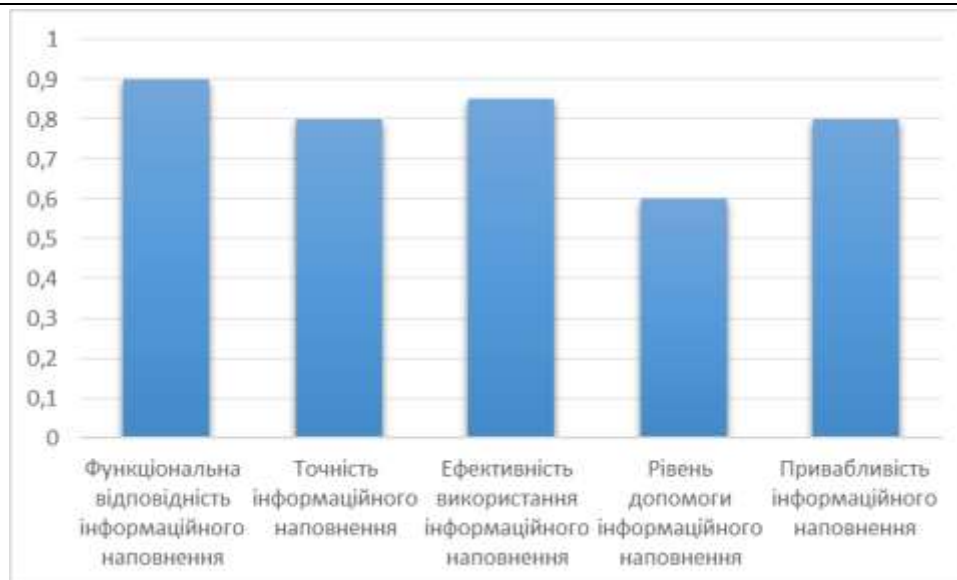


Рис. 1. Показники якості інформаційного наповнення офіційного веб-сайту Національного університету «Львівська Політехніка»

Отже, як видно з рис. 1, оптимального значення набули показники функціональної відповідності інформаційного наповнення, точність інформаційного наповнення, ефективність використання інформаційного наповнення та привабливість інформаційного наповнення. Показник рівня допомоги за інформаційним наповненням прийняв значення з інтервалу прийнятних показників якості. Це зумовлено тим, що у віртуальному середовищі інформація про діяльність ЗВО та можливість комунікативної діяльності представлені на різних веб-ресурсах. Саме тому, користувачі у віртуальному просторі не завжди обирають офіційні веб-ресурси, де інформація є точною та актуальною, а комунікативна діяльність ЗВО є більш ефективною у порівнянні з неофіційними веб-ресурсами, які можуть нашкодити інформаційному образу ЗВО.

Результати оцінювання показників якості інформаційного наповнення офіційного веб-сайту ЗВО показують ефективність наданого інформаційного наповнення з врахуванням параметрів, що характеризують ефективність комунікативної діяльності.

Висновки

Комунікативна діяльність ЗВО у віртуальному просторі є невід'ємною частиною ефективної та конкурентоспроможної позиції ЗВО на ринку освітніх послуг. Але процес комунікації у віртуальному просторі не завжди є ефективним, оскільки користувачі обирають різні веб-ресурси, частина з яких не є офіційними, або і взагалі не мають відношення до діяльності ЗВО.

Якість інформаційного наповнення веб-ресурсів ЗВО є визначальною для ефективного процесу комунікативної діяльності ЗВО у віртуальному просторі. Саме тому, у дослідженні проаналізовано вибір показників якості інформаційного наповнення веб-ресурсів ЗВО з врахуванням параметрів, що характеризують ефективність комунікативної діяльності. Вибір показників якості інформаційного наповнення веб-ресурсів ЗВО, що відповідають характеристикам/підхарактеристикам якості програмного забезпечення за стандартом ISO/IEC-25010 дають змогу оцінити рівень відповідності відповідність інформаційного наповнення щодо позиціонування ЗВО та підтримку іміджу та точність інформаційного наповнення щодо просування освітніх послуг ЗВО (характеристика функціональності (Functional suitability) з підхарактеристикою відповідність (Appropriateness) та підхарактеристика точність (Precision)); рівень ефективності використання інформаційного наповнення у контексті співпраці з громадськими організаціями (характеристика ефективності продуктивності (Performance efficiency) з підхарактеристикою використання ресурсів (Resource utilisation)); рівень допомоги інформаційного наповнення щодо кількості дописів та звернень споживачів освітніх послуг та привабливість інформаційного наповнення за кількістю позитивних відгуків про освітню діяльність ЗВО (характеристика (Operability characteristic with sub-characteristics, придатність до використання (Usability) з підхарактеристиками рівень допомоги (Helpfulness) та привабливість (Attractiveness)). Це забезпечило практичне оцінювання інформаційного наповнення веб-ресурсів ЗВО з врахуванням параметрів, що характеризують ефективність комунікативної діяльності.

Література

1. Miller K. Communication Theories: Perspectives, processes, and contexts. New York: McGraw-Hill. 2005. 341 p.
2. Rheingold H. The Virtual Community. URL: <http://www.well.com/user/hlr/vcbook/index.html>. (13.08.2021).
3. Березко О.Л. Використання вікі-засобів для персоніфікації інформаційного наповнення World Wide Web / О.Л. Березко // Інформаційні системи та мережі: Вісник Національного університету «Львівська

політехніка”. – 2008. – № 631. – С. 11–18.

4. Голошук Р. О. Веб-спільноти в дистанційній освіті / Р.О. Голошук., Н.О. Думанський, Ю.О. Серов // Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. – 2008. – Вип. 18, Том 10. – С. 286–292.

5. Korzh R., Peleshchysyn A., Syerov Yu., Fedushko S. University's Information Image as a Result of University Web Communities' Activities. *Advances in Intelligent Systems and Computing: Selected Papers from the International Conference on Computer Science and Information Technologies, CSIT 2016, September 6–10 Lviv, Ukraine*. Springer: 2017. Series Volume 512. P. 115–127.

6. Korzh R., Fedushko S., Peleschysyn A. Methods for forming an informational image of a higher education institution. *Webology*, 12(2). Article 140. 2015. URL: <http://www.webology.org/2015/v12n2/a140.pdf>

7. Жежнич П. Комунікаційна діяльність ВНЗ у віртуальних освітніх форумах для абітурієнтів / П. Жежнич, А. Шілінг // III Міжнародна наукова конференція «Інформація, комунікація, суспільство, 2014» (ІКС-2014), м. Львів, 21–24 травня 2014 р. – С. 58–59.

8. Забарна Е. М. Система та критерії маркетингового аналізу сайтів вищих навчальних закладів / Е. М. Забарна, Е. Ю. Соловьева // Ефективна економіка. – 2013. – № 1. – URL : http://nbuv.gov.ua/UJRN/efek_2013_1_47 – (Дата звернення 21.07.2021 р.).

9. Zhezhnych P., Markiv O. A linguistic method of web-site content comparison with tourism documentation objects. *Proceedings of 12th International Scientific and Technical Conference Computer Science and Information Technologies (CSIT'2017)*. Lviv, 2017. P. 340–343.

10. Putrevu S., Lord K.R. Processing Internet communications: a motivation, opportunity and ability framework. *Journal of Current Issues and Research in Advertising*. 2012. Vol. 25. Issue 1. P. 45–59.

11. Peleshchysyn A., Holub Z., Holub I. Methods of real-time detecting manipulation in online communities. in *Proceedings of the 11th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies*. 2016. P. 15–17.

12. Про освіту [Електронний ресурс] : закон України : [прийнято ВР України від 05.09.2017 № 2145-VIII] // Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 2017. – Режим доступу : <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1060-12>

13. ДСТУ ISO 9000:2007. Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів. К. : Держстандарт України, 2008. – 33 с.

14. ДСТУ ISO 9001:2009. Системи управління якістю. Вимоги. К. : Держстандарт України, 2009. – 25 с.

15. Ришковець Ю.В. Методи та засоби побудови Веб-галерей з урахуванням інтересів користувача : дис. на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук : 01.05.03 / Ришковець Юрій Володимирович. – Львів, 2013. – 180 с.

16. Шілінг А. Класифікація учасників спеціалізованих освітніх Веб-спільнот з урахуванням персоніфікації даних / А. Шілінг// Матеріали студентсько-викладацької науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні технології», м. Дрогобич, 29 квітня 2013 р. – С. 28-29.

17. Software engineering. Product quality. Part 1: Quality model. ISO/IEC 9126-1:2001. URL: <http://www.iso.org/iso/en/CatalogueDetailPage.CatalogueDetail?CSNUMBER=22749&ICS1=35&ICS2=80&ICS3>.

18. Software engineering. Product quality. Part 2: External metrics. ISO/IEC TR 9126-2:2003. URL: http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=22750.

References

1. Miller K. *Communication Theories: Perspectives, processes, and contexts*. New York: McGraw-Hill. 2005. 341 p.

2. Rheingold H. *The Virtual Community*. URL: <http://www.well.com/user/hlr/vcbook/index.html>. (13.08.2021).

3. Berezko O.L. Vykorystannia viki-zasobiv dlia personifikatsii informatsiinoho napovnennia World Wide Web / O.L. Berezko // Informatsiini systemy ta merezhi: Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politehnika". – 2008. – № 631. – С. 11–18.

4. Holoshchuk R. O. Veb-spilnoty v dystantsiinii osviti / R.O. Holoshchuk., N.O. Dumanskyi, Yu.O. Sierov // Naukovyi visnyk Natsionalnoho lisotekhnichnoho universytetu Ukrainy. – 2008. – Vyp. 18, Tom 10. – С. 286–292.

5. Korzh R., Peleshchysyn A., Syerov Yu., Fedushko S. University's Information Image as a Result of University Web Communities Activities. *Advances in Intelligent Systems and Computing: Selected Papers from the International Conference on Computer Science and Information Technologies, CSIT 2016, September 6–10 Lviv, Ukraine*. Springer: 2017. Series Volume 512. P. 115–127.

6. Korzh R., Fedushko S., Peleschysyn A. Methods for forming an informational image of a higher education institution. *Webology*, 12(2). Article 140. 2015. URL: <http://www.webology.org/2015/v12n2/a140.pdf>

7. Zhezhnych P. Komunikaatsiina diialnist VNZ u virtualnykh osvitnikh forumakh dlia abiturientiv / P. Zhezhnych, A. Shilinh // III Mizhnarodna naukova konferentsiia «Informatsiia, komunikatsiia, suspilstvo, 2014» (IKS-2014), m. Lviv, 21–24 travnia 2014 r. – С. 58–59.

8. Zabarna E. M. Systema ta kryterii marketynhovoho analizu saitiv vyshchych navchalnykh zakladiv / E.

- M. Zabarna, E. Yu. Soloveva // *Efektivna ekonomika*. – 2013. – № 1. – URL : http://nbuv.gov.ua/UJRN/efek_2013_1_47 – (Data zvernennia 21.07.2021 r.).
9. Zhezhnych P., Markiv O. A linguistic method of web-site content comparison with tourism documentation objects. Proceedings of 12th International Scientific and Technical Conference Computer Science and Information Technologies (CSIT2017). Lviv, 2017. P. 340–343.
10. Putrevu S., Lord K.R. Processing Internet communications: a motivation, opportunity and ability framework. *Journal of Current Issues and Research in Advertising*. 2012. Vol. 25. Issue 1. P. 45–59.
11. Peleshchyshyn A., Holub Z., Holub I. Methods of real-time detecting manipulation in online communities. in Proceedings of the 11th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies. 2016. P. 15–17.
12. Pro osvitu [Elektronnyi resurs] : zakon Ukrainy : [pryiniato VR Ukrainy vid 05.09.2017 № 2145-VIII] // *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy (VVR)*. – 2017. – Rezhym dostupu : <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1060-12>
13. DSTU ISO 9000:2007. Systemy upravlinnia yakistiu. Osnovni polozhennia ta slovnyk terminiv. K. : Derzhstandart Ukrainy, 2008. – 33 s.
14. DSTU ISO 9001:2009. Systemy upravlinnia yakistiu. Vymohy. K. : Derzhstandart Ukrainy, 2009. – 25 s.
15. Ryshkovets Yu.V. Metody ta zasoby pobudovy Veb-halerei z urakhuvanniam interesiv korystuvacha : dys. na zdobuttia naukovoho stupenia kand. tekhn. nauk : 01.05.03 / Ryshkovets Yuriy Volodymyrovych. – Lviv, 2013. – 180 s.
16. Shilinh A. Kласифікація учасників спеціалізованих освітніх Веб-спільнот з урахуванням персоніфікації даних / A. Shilinh// *Materialy studentsko-vykladatskoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Suchasni informatsiini tekhnolohii»*, m. Drohobych, 29 kvitnia 2013 r. – С. 28-29.
17. Software engineering. Product quality. Part 1: Quality model. ISO/IEC 9126-1:2001. URL: <http://www.iso.org/iso/en/CatalogueDetailPage.CatalogueDetail?CSNUMBER=22749&ICS1=35&ICS2=80&ICS3>.
18. Software engineering. Product quality. Part 2: External metrics. ISO/IEC TR 9126-2:2003. URL: http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=22750.

О.В. ЦИРА

Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку

ORCID ID: 0000-0003-3552-2039

e-mail: aleksandra.tsyra@gmail.com

Н.О. ПУНЧЕНКО

Одеський державний екологічний університет

ORCID ID: 0000-0003-1382-4490

e-mail: iioonn24@rambler.ru

ВИКОРИСТАННЯ КОГНІТИВНИХ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ТЕХНІЧНИМИ СИСТЕМАМИ

Ось уже другий рік, по всьому світу, відбуваються видозміни коронавірусної хвороби COVID-19. Отже сучасний світ на сьогодні перебуває у критичній ситуації в боротьбі з пандемією, де відбувається змагання людства за своє природне виживання й охопила весь світ, що значною мірою вплинуло на економічні, соціальні та політичні аспекти. Прогнози фахівців різноманітних сфер життя суспільства мають різнобічні висновки. Але технологічні та інформаційні складові набули нових можливостей розвитку і тут цікавим для розгляду стає момент створення єдиного інформаційного простору, що обумовлено ефективним впровадженням новітніх інформаційних ресурсів, які можуть трансформувати звичайні послуги на якісно новому рівні. Це й питання віртуалізації окремих галузей з високим економічним потенціалом. Також інтеграція новітніх технологічних рішень (питання керування бізнес-системами на підприємствах, організація робочих місць, відмова від установ з прив'язкою до конкретної будівлі та інше). При створенні дистанційної форми актуальними стають ресурси Big Data, що аналізують великі масиви даних та здатні видавати власні висновки та планувати обґрунтовані пропозиції. Висновки, отримані на базі складних аналітичних технологічних систем на базі штучного інтелекту, спроможні конкурувати з експертами конкретної галузі. Системи зі складною ієрархічною системою здатні займатися серйозним прогнозуванням, але націленість маленьких компаній на незначні завдання не дають комплексного результату в масштабах держави. Науковці та фахівці, задіяні в цих задачах, обмежені в глобальній інформації, тому питання залучення когнітивних динамічних систем з точки зору ефективного управління є актуальним питанням для вирішення завдань штучного інтелекту. В роботі є посилання на джерела, які роз'яснюють представлений матеріал.

Ключові слова: когнітивна динамічна система, критерії, структура, інтелектуальне управління, сервіси.

O.V. TSYRA

State University of Intellectual Technologies and Communications

ORCID ID: 0000-0003-3552-2039

e-mail: aleksandra.tsyra@gmail.com

N.O. PUNCHENKO

Odesa State Environmental University

ORCID ID: 0000-0003-1382-4490

e-mail: iioonn24@rambler.ru

USING OF COGNITIVE DYNAMIC SYSTEMS FOR INTELLIGENT TECHNICAL SYSTEMS CONTROL

For the second year around the world the impact of the coronavirus disease COVID-19 has been taking place. And, therefore, the modern world today is in a critical situation in the fight against a pandemic, where humanity is competing for its natural survival and has embraced the whole world, which greatly influenced the economic, social, and political aspects. The forecasts of specialists in various spheres of social life have versatile conclusions. But technological and informational components have received new development opportunities, and here it becomes interesting to consider the moment of creating a single information space, due to the effective implementation of the latest information resources that can transform ordinary services at a qualitatively new level. This is also the issue of virtualization of individual industries with high economic potential. Also, the integration of the latest technological solutions (issues of managing business systems at enterprises, organizing workplaces, abandoning institutions with reference to a specific building, etc.). When creating a remote form, Big Data resources become relevant, analysing large amounts of data and can issue their own conclusions and plan informed proposals. The conclusions obtained based on complex analytical technological systems based on artificial intelligence can compete with experts in a particular industry. Systems with a complex hierarchical system are capable of serious forecasting, but the focus of small companies on minor tasks does not give a comprehensive result on a national scale. Scientists and specialists involved in these tasks are limited in global information, therefore, the issue of attracting cognitive dynamic systems from the point of view of effective management is an urgent issue for solving artificial intelligence problems. In the work there are links to sources, explain the presented material.

Keywords: cognitive dynamic system, criteria, structure, intelligent control, services.

Постановка проблеми

Основними трансформаційними процесами сучасного світу виступають інформаційні та глобалізаційні процеси. Їх аналізом займалися вчені ХХ століття лише з точки зору суб'єктивного чинника, природні чинники не прогнозувалися зовсім. Ця однобічність дала про себе знати при появі Covid-19. А саме карантинні умови перевели Україну та будь-яку іншу країну світу на дистанційну форму організації робочого часу. Це, як відомо, зачепило всі сфери життя. У цьому контексті можна зазначити базові напрямки розвитку кризової ситуації, яка набуває обертів: зниження рівня росту особистості та низький рівень практичної підготовки майбутніх фахівців через відсутність достатнього рівня фінансування окремих галузей та браку необхідного сучасного технологічного устаткування в більшості країн світу. Але й не

дивлячись на жакливі наслідки від пандемії, можна підкреслити і позитивний момент з точки зору змоги організувати більш ефективне використання інформаційних ресурсів та надати якісно нові види послуг. Необхідно концентрувати увагу саме на віртуалізації різних галузей [1] з точки зору написання якісних програмних продуктів, що характеризуються високим економічним потенціалом та використовуються у всіх видах робіт.

Щодо інтеграційних процесів [2], то варто розмірковувати на тему: а чи взагалі залишаться так звані офіси, установи, контори та ін. в тому вигляді як зараз, з точки зору розміщення робочих місць. Можна констатувати зараз, що багато компаній, а особливо, що відносяться до сфери телекомунікацій відмовляться від великих офісів. Точка неповернення пройдена, керівники відкрили для себе нові підходи при дистанційній формі. В якості альтернативи можна запропонувати ресурси Big Data [3], що дозволяють накопичувати великі бази даних та проводити прогноз виникнення тої чи іншої ситуації на мережі, залучати інформативні матеріали з інших подібних ресурсів та планувати подальші дії. Тобто звичайний інженер зможе отримувати задачі на день з аналітичних висновків систем на базі штучного інтелекту (автоматизовані системи та логіка за типом "керування як сервіс" (management-as-a-service)). Що стосується суспільства: вже зараз компанія Google пропонує так звану таргетовану рекламу (від англ. Target Function), що націлена на конкретні запити особистості, тобто система здатна пропонувати бажані результати. Таким чином, вже зараз системи штучного інтелекту спроможні займатися серйозним прогнозуванням. Але приватні компанії в цій галузі закриті і пропонують види робіт, що реалізують маленьку задачу, не розкриваючи при цьому всю концепцію та контент. Тобто навіть спеціалісти, задіяні в цих проектах, обмежені в інформації глобального характеру, не бачать картини в цілому. Стосовно медичних закладів, в рамках сучасних медичних реформи впроваджується велике розмаїття програмних додатків.

Складність побудови інтелектуальних систем вимагає комплексної оцінки можливостей реалізації та їх впровадження у реальні моделі, що й обумовило проведення даного дослідження.

Аналіз останніх джерел

Аналіз останніх досліджень і публікацій щодо дослідження когнітивних систем розкрито в роботах значимої кількості науковців, а саме: Писарчук О.О., Грінченко О.О. (питання когнітивної науки в інженерії програмного забезпечення), Кузнєцов А.А., Штепа В.Н. (питання проектування програмного забезпечення), Чухрай А. Г. (моделі та методи інтелектуальних комп'ютерних програм), Погребницька А.М., Ільєсова М.К. (когнітивний підхід при дослідженні стратегічного потенціалу економічної системи) та багато ін.

Метою роботи є виявлення основних чинників, які необхідно враховувати при побудові когнітивних динамічних систем при розробці моделей функціональних структур на базі вхідної локальної інформації.

Виклад основного матеріалу

В першому наближенні слід провести комплексне дослідження застосування відповідних програмних рішень, що включає в себе аналіз існуючих програмних додатків, їх основні функції та можливості [4]. Варто проводити оцінку рівня якості інноваційного продукту за допомогою абсолютних та відносних показників, оцінку конкурентоспроможності інноваційного товару в порівнянні з товарами-аналогами. Саме великі бази даних мають накопичувати інформацію практично за всіма видами діяльності суспільства. Тобто формування подібних баз в масштабах держави. Тут ключовим виступає створення технологій, які забезпечуватимуть доступ звичайних користувачів до інформаційних ресурсів [5]. Збільшення функціональних можливостей та створення локальних, багато-функціональних проблемно-орієнтованих інформаційних систем різноманітного призначення на основі потужних ЕОМ та локальних обчислювальних мереж. Долучення таких систем, будь-яких технічних засобів та специфічних інтерфейсів користувачів до взаємодії з експертними системами. Цим вимогам відповідають саме когнітивні системи, які на базі спостережень здатні формувати результати про оточуючий світ [6]. На основі даної системи формується мета та приймаються суттєві рішення в складних ситуаціях. В основі такої системи лежить взаємодія мислення, інтелекту, пам'яті та мови; носієм тут виступає «мозок».

Когнітивна динамічна система (КДС) являє собою окрему підсистему з організованими діями, спрямовану на певну проблему, в якій чітко позначені функціональна спрямованість і сформовані критерії для досягнення поставленої мети, а також присутня можливість описувати існуючу реальність з передбачуваною схемою контролю над ситуацією, що склалася в режимі реального часу, також передбачена можливість аналізу поточних станів [7].

Розкриваючи цю систему в якості єдиного концепту, можна охарактеризувати її стан як відображення робототехнічною системою ситуації на основі комплексності в динаміці миттєвого прийняття рішень, який проявляється в єдності допустимих операцій і заданих послідовності виконання ними дій. Загальна кількість значень можна уявити так:

$$k = (k_1, k_2, \dots, k_n)^T, \quad (1)$$

де n – сукупність значень, що характеризують технологічний об'єкт, і відносини між ними.

У цьому формулюванні повинні відображатися категоріальні ознаки прийняття рішень: ситуативність, цілісність, варіанти рішень задач і вибір оптимального рішення, стабільність в часі, взаємозв'язку з окремими функціональними особливостями і когнітивними процесами. А також і системні: субстратний аспект представляється в понятті цілісності стану; інформаційний – в об'єктивному відображенні особою яка приймає рішення (будь то агент або робототехнічна система) стану; тимчасовий –

в тривалості перебування в заданому часовому періоді; просторовий – в уявленні про можливі варіанти розвитку прогнозованої ситуації як сукупності заданих умов, що характеризується управлінським потенціалом; енергетичний – стійкості в ресурсній базі.

Структурна (ієрархічна) організація станів КДС може бути представлена у вигляді моделі функціональних структур, що, однозначно, має розглядатися, як цілісність методів інтелектуального управління (сукупності станів) [8], розкриває зв'язки між структурними ешелонами стану – параметрів функціональних зв'язків між концептами з урахуванням динамічних характеристик об'єкта:

$$x_i = F_{ij}(\Delta x_j(t)), \quad (2)$$

де i, j – номер вхідного і вихідного значення, відповідно;

$\Delta x_j(t) = x_j(t) - x_j(t-1)$ – приріст вхідного значення x_j .

Виділення такої підсистеми в системі штучного інтелекту призводить до складності опису цілей, завдань, рішень, тому для КДС доводиться розглядати цілий комплекс формалізованих задач. Аналіз таких складних завдань потребує набору чітко сформульованих, а часто і суперечливих, критеріїв оцінки ситуації, що склалася [9].

Передбачуваний набір функцій станів повинен включати:

- інтегрування (об'єднання інтелектуальних процесів і властивостей в прийнятті рішень);
- диференціація (різні взаємозв'язку і їх стійкість з управлінськими процесами і властивостями);
- відтворення (дозволяє формувати стійкі стану, що дозволяє відображати особливості зовнішнього середовища);
- розвиток управлінських процесів і властивостей;
- корекція (забезпечується процес адаптації (удосконалення));
- синхронізація (всі функції станів в цілісній когнітивній діяльності представлені як одне ціле).

Всі розглянуті функції повинні забезпечувати взаємопов'язаність елементів структури станів функціонування КДС; перехід з одного стану в інший; зміна послідовності прийняття управлінських рішень.

На даному етапі все більш затребуваним стає єдине сервісне середовище, що дозволяє забезпечити ефективну взаємодію різних сервісних доменів з метою пропозиції інноваційних крос-доменних послуг, що забезпечує надання необмеженої, на скільки це можливо, множини послуг через можливі мережі зв'язку при безперервному сервісі при переміщенні абонентів. Тому зараз постає питання про найбільш комплексне і функціональне рішення, що забезпечує весь життєвий цикл послуг від їх розробки, впровадження та розвитку до управління ними – платформи типу IMS (англ. IP Multimedia Subsystem) [10] означає перехід від "сервісних вертикалей" до єдиної сервісної платформи, яка стає все більш вигідною в міру збільшення числа послуг, що надаються на її базі.

До важливих функцій слід віднести накопичення і надання програмних додатків і служб OSS/BSS інформації про користувача і мережі для аутентифікації, тарифікації, обліку місця розташування абонента, його статусу і ряду додаткових даних, які формують в результаті універсальний профіль абонента. Однак при наданні абонентам функціональності послуг відповідні їм служби в таких платформах консолідовані і виділені в сервісний рівень, де визначаються інтерфейси сервісів і їх реалізація, а також компоненти трансляторів, що перетворюють формати даних між бізнес-рівнем і контрактами зовнішніх даних. Так, реалізується одна з найбільш важливих концепцій логіки на кшталт "управління як сервіс": сервіс ніколи не повинен розкривати внутрішні сутності, що використовуються на бізнес-рівні.

Висновки

З огляду методів побудови когнітивних образів слід констатувати, що для моніторингу складних КДС найбільш ефективні багаторівневі способи подання ситуації. Число рівнів в практичних додатках не перевищує трьох, так як їх збільшення ускладнює сприйняття і знижує оперативність аналізу станів. Структуровані дані в безліч об'єктів, тобто сукупність зв'язків і відносин між частинами цілого, необхідні для досягнення мети. Методологія інтелектуальних систем має включати обробку локальної вхідної інформації, побудову та планування моделей когнітивних карт; методів побудови законів керування з математичними моделями об'єктів управління. Досліджуючи різні галузі очевидним стає те, що ті компанії, які мають добре спроектовану систему і ефективний сервіс самообслуговування, в меншій мірі втрачають клієнтів, так як їх наявність забезпечує скорочення витрат на обслуговування клієнтів; збір в реальному часі достатніх і точних даних; актуальну і ефективну інформацію про зміст і стан клієнтської бази; інтеграцію зовнішніх (front-end) і внутрішніх (back-end) систем; можливість простого у використанні контролю; гнучкість в пропозиції нових послуг і акцій для постачальників послуг.

Загальний висновок з зазначеного можна висловити наступним чином, що варто розглядати тенденції розвитку новітніх проєктів з розробки штучного інтелекту, розвивати та впроваджувати нові методи керування компаніями, проводити оцінки з економічного потенціалу, а також необхідність в формуванні юридичної бази щодо таких видів робіт. Ефективними в цьому випадку виступають когнітивні динамічні системи з урахуванням параметрів функціональних зв'язків на базі динаміки розвитку сервісних додатків, але слід враховувати суперечливість окремих виділених критеріїв оцінки конкретної ситуації.

Література

1. Луценко Е.В. Критерії реальності та принцип еквівалентності віртуальної та "істинної" реальності

- [Електронний ресурс] / Е.В. Луценко // Науковий журнал. – Краснодар : КубГАУ, 2004. – № 06(8). – Режим доступу : <http://ej.kubagro.ru/2004/06/10/p10.asp>.
2. Gereffi G. The governance of global value chains / G. Gereffi, J. Humphrey, T. Sturgeon // *Review of International Political Economy*. – 2005. – Vol. 12, № 1. – P. 78–104.
3. Шибаєва Н.О. Інформаційне забезпечення дистанційної оцінки ризиків складних технічних систем / Н.О. Шибаєва, В.В. Вичужанин // *Інформатика та математичні методи в моделювання*. – 2016. – Том 6, № 2. – С. 133–141.
4. Рудніченко Н.Д. Оцінки структурного та функціонального ризиків складних технічних систем / Н.Д. Рудніченко, В.В. Вичужанин // *Східно-Європейський журнал новітніх технологій, Інформаційні технології. Системи управління*. – 2014. – Том 1, № 2 (67). – С. 18–22.
5. Станкевич Л. А. Когнітивні системи та агенти / Л. А. Станкевич, С. В. Серебряков // *Праці СПІРАН*. – СПб : Наука, 2006. – Вип. 3, т. 1. – С. 71–87.
6. Лук'янов Г.В. Інформаційне моделювання при проектуванні складних інформаційних систем / Г.В. Лук'янов, Є.А. Марішев // *Іноватика та експертиза*. – 2016. – Вип. 1(16). – С. 135–144.
7. Puchenko N. Cognitive Technologies in the Professional Knowledge as a Means of the Optimizing Management Decisions. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEMSOfia*. 2019. V.19, № 2.1. P. 161–163.
8. Тімакін Д.Л. Мультиагентні когнітивні системи керування динамічними об'єктами зі складною поведінкою : дис. ... кандидата технічних наук / Тімакін Д.Л. – СПб, 2002. – 187 с.
9. Елементи теорії випробувань та контролю технічних систем / [В.І. Городецький, А.К. Дмитрієв, В.М. Марков та ін.] ; під ред. Р.М. Юсупова. – Л. : Енергія, 1978. – 192 с.
10. Wuthnow M., Stafford M., Shih J. IMS: A New Model for Blending Applications (Informa telecoms & media). Auerbach, 2009. 368 p.

References

1. Lutsenko E.V. Criteria of reality and the principle of equivalence of virtual and "true" reality / E.V. Lutsenko // *Science Journal*. – Krasnodar : KubSAU, 2004. – No. 06 (8). – URL : <http://ej.kubagro.ru/2004/06/10/p10.asp>.
2. Gereffi G. The governance of global value chains / G. Gereffi, J. Humphrey, T. Sturgeon // *Review of International Political Economy*. – 2005. – Vol. 12, № 1. – P. 78–104.
3. Shibaeva N.O. Information security of the remote assessment of the components of folding technical systems / N.O. Shibaeva, V.V. Vichuzhanin // *Computer Science and Mathematical Methods in Models*. – 2016. – Volume 6, No. 2. – S. 133–141.
4. Rudnichenko N.D. Assessments of structural and functional features of folding technical systems / N.D. Rudnichenko, V.V. Vichuzhanin // *Eastern-European Journal of New Technologies, Information Technologies. Management systems*, 2014. – Volume 1, No. 2 (67). – P. 18–22.
5. Stankevich L. A. *Cognitivny systemy ta agenty* / L. A. Stankevich, S. V. Serebryakov // *Pratsi SPIIRAN*. – SPb: Nauka. – V. 3, v. 1. – 2006. – P. 71–87.
6. Luk'yanov G.V. *Informationie modely pri proektuvanni skladnykh informationnich system* / G.V. Luk'yanov, E.A. Marishev // *Inovatics and Expertise*. – V. 1 (16). – 2016. – P. 135–144.
7. Puchenko N. Cognitive Technologies in the Professional Knowledge as a Means of the Optimizing Management Decisions / N. Puchenko, O. Korchenko, O. Tsyr, N. Kazakova, K. Warwas // *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEMSOfia*. – 2019. – V. 19, № 2.1. – P. 161–163.
8. Timakin D.L. *Multiagentny cognitivnie systemy i keruvannya dynamichnymi objectami zi skladnoyu povedinkou: dis. ... kandidata of technical nauk*. SPb., 2002. 187 p.
9. Gorodetsky V.I., Dmitriev A.K., Markov V.M. and I. Pid ed. R.M. Yusupov. *Elementy teoriy viprobuvan ta controlya technicheskikh system*. L.: Energia, 1978. 192 p.
10. Wuthnow M., Stafford M., Shih J. *IMS: A New Model for Blending Applications (Informa telecoms & media)*. Auerbach, 2009. 368 p.

УДОСКОНАЛЕННЯ АЛГОРИТМІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІДМОВСТІЙКОСТІ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ

У роботі представлено концепції відмовостійкості програмних систем та методи реагування системи на відмову. У дослідженні вдосконалено метод реагування системи на відмову шляхом проектування комплексного рішення, що включає в себе доопрацювання та розширення класичних патернів відмовостійкості. Обґрунтовано доцільність та актуальність проектування нового методу відмовостійкості. Удосконалено алгоритми автоматичного реагування та попередження відмов, що дозволяє зменшити кількість помилок, які виникають у системі, у порівнянні з існуючими рішеннями. Результатом дослідження є покращений метод забезпечення відмовостійкості програмних систем.

Ключові слова: програмна система, алгоритм, відмовостійкість, патерн відмовостійкості

DMYTRO YURIIOVYCH ANTICH, GALINA IVANIVNA RADELCHUK

Khmelnytsky National University

IMPROVEMENT OF SOFTWARE SYSTEMS FAULT TOLERANCE ENSURING ALGORITHMS

The study investigates the concepts of fault tolerance and methods of system responses to failures. The study is based on the research of modern resiliency patterns and common approaches of reaction to failures. During the research, the common unresolved issues with modern resiliency and fault tolerance approaches were defined. The study improved the method of the system response to failures by designing a comprehensive solution that includes refinement and expansion of classical patterns of fault tolerance as a proposal to resolve common problems. The new solution of fault tolerance is based on the combination of basic monitoring approaches, load balancing approaches, circuit breaker pattern, and re-designing of the sharding pattern to be applicable not only for databases but also for modern applications. The new solution is based on an automatic decision-making expert system, which based on anonymous data saved by the monitoring layer decides the root cause of the issue and validates which scenario is applicable for the current situation. Based on the decision system can either enable a user and load balancing approaches by isolating harmful users using improved sharding and load-balancing solutions or enable a circuit breaker to temporarily disable the faulty features. The new method of resiliency is supposed to prevent and reduce more errors compared to the existing solutions in the domain of fault tolerance and resiliency, thus the efficiency of the new approach is higher. The expediency and urgency of designing a new method of fault tolerance are substantiated by expressing the importance of resolving existing problems. Improved methods of automatic response and failure prevention, which allowed to reduce the number of errors that occur in the system compared to existing solutions in resiliency and fault tolerance.

Keywords: software system, algorithm, fault tolerance, fault tolerance pattern

Вступ. Постановка проблеми

У сучасному світі мережа Інтернет займає значну частину життя людини. Кожен з нас щодня перевіряє інформацію про погоду, купує товари, спілкується з друзями чи знайомими, читає новини, книги, переглядає відео онлайн тощо. За час пандемії більшість звичних нам речей змушена була адаптуватись до нової реальності, зокрема, значна кількість видів діяльності почала здійснюватись онлайн. Наприклад, багато компаній змушені були перевести співробітників на віддалену роботу, університети та школи перейшли у режим дистанційного навчання тощо.

Таким чином, у зв'язку зі стрімкою діджиталізацією виникає потреба забезпечити надійність та відмовостійкість програмних систем (ПС). А це, у свою чергу, породжує потребу в алгоритмах відмовостійкості, які нададуть можливість підвищити працездатність ПС та забезпечити їх швидке відновлення після настання відмов.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

У результаті досліджень університету Карнегі-Меллона (США) визначено поняття відмовостійкості та доведено, що жодна програмна система не є на 100% відмовостійкою або не є стійкою до відмов взагалі [1]. Група дослідників [2] визначила основні фактори, що шкодять відмовостійкості, та який вплив ці фактори мають на ПС. Такими факторами є наступні: розмір та складність програмної системи; взаємозалежність та взаємозв'язок; мережева орієнтованість; стрімка глобалізація компанії; програмне забезпечення з відкритим вихідним кодом; гібридизація; швидкі зміни; повторне використання у різних контекстах.

Комплексний підхід до відмовостійкості програмних систем включає в себе чотири базові методи реалізації відмовостійкості, а саме:

- реакція на помилки (як тільки виникає помилка, програмна система автоматично або розробники програми у ручному режимі повинні відреагувати на помилки);
- автоматичне логування (програмна система повинна автоматично логувати всі проблеми та помилки для можливості автоматичного реагування на проблеми);
- метрики MTBF, MTTF, MTTR (ці метрики визначають середній час між відмовами, середній час до відмови, середній час на усунення відмови);
- автоматизація плану відновлення (необхідно автоматизувати кроки, які система має здійснити для відновлення нормального функціонування).

Виділення невирішених частин загальної проблеми

Проаналізувавши описані у роботі [3] стратегії управління та запобігання потенційним помилкам, можна виділити наступний алгоритм реакції системи на відмову:

- автоматичне визначення помилки – система повинна самостійно виявити помилку, зберегти додаткову інформацію (ланцюжок виклику, подію, що спричинила помилку, тощо) та, за можливості, вивести користувачу наперед визначене повідомлення про помилку;

- аналіз та пояснення помилки (на цьому етапі необхідно висунути гіпотезу про причину помилки та знайти спосіб її вирішення);

- обробка помилок програмною системою за допомогою використання патернів відмовостійкості, що підходять для конкретної проблеми.

Найчастіше використовуються наступні методи реалізації відмовостійкості ПС:

- шаблон вимикача;
- шаблон повторень;
- шаблон компенсації транзакцій;
- шардінг.

Шаблон вимикача обробляє несправності, для вирішення яких може знадобитися різний час при підключенні до віддаленого сервісу чи ресурсу. Вимикач діє як проксі-сервер для операцій, які можуть вийти з ладу. Проксі відстежує кількість останніх помилок, які сталися, і використовує цю інформацію для прийняття рішення – дозволити продовження операції чи перервати її та повернути помилку [4].

Шаблон повторень реалізує програму для обробки збоїв, коли система намагається здійснити запит до сервісу чи ресурсу, шляхом прозорого повторення невдалої операції. Якщо програма виявляє помилку під час спроби надіслати запит віддаленому сервісу, вона може впоратися з помилкою, використовуючи такі стратегії:

- скасувати запит (якщо помилка вказує на те, що несправність не є тимчасовою або запит навряд чи буде успішним при його повторенні, то програма повинна скасувати операцію та повідомити про помилку);

- повторити спробу (якщо конкретне повідомлення про помилку є незвичним чи рідкісним, то це може бути спричинено незвичними обставинами, такими, наприклад, як пошкодження мережевого пакета під час його передачі; у цьому випадку програма може негайно повторити невдалий запит, оскільки та сама помилка навряд чи буде повторена, і запит, ймовірно, буде успішним);

- повторити спробу після затримки (якщо несправність спричинена проблемами з функціонуванням мережі або надмірним навантаженням на додаток, то може знадобитися деякий період часу, поки проблеми з підключенням будуть виправлені або всі поточні запити оброблені); програма повинна почекати деякий час перед повторною спробою запиту [5].

Шаблон компенсації транзакцій скасовує роботу, виконану за допомогою декількох кроків, які в сукупності визначають узгоджену в кінцевому рахунку операцію, якщо один або кілька кроків завершилися з помилкою. Таким чином, цей шаблон дає змогу повернутись до попереднього стабільного стану програмної системи та уникнути розбіжностей в даних. Цей патерн є особливо актуальним у випадках, коли деяка дія потребує запису в декілька таблиць бази даних чи виклику декількох сервісів [6].

Шардінг реалізує розбиття таблиць у базі даних на менші «шматки» (шарди). Розбиття може бути як горизонтальним, так і вертикальним. При вертикальному розбитті стовпці таблиці зберігаються в окремій базі даних, а при горизонтальному – рядки однієї таблиці зберігаються в декількох вузлах бази даних [7].

Таким чином, стратегія відмовостійкості не передбачає проактивну реакцію на потенційні відмови ПС, а працює з уже існуючими. Тому вказана предметна область має наступні невирішені проблеми:

- відсутність алгоритму для передбачення відмови, що призводить до відсутності автоматичного блокування першопричини потенційної відмови;

- відсутність реакцій на часткові відмови та підходів для автоматичного вирішення часткової непрацездатності системи.

Загалом, методи та алгоритми відмовостійкості на сьогоднішній день фокусуються на тому, щоб зменшити негативний вплив відмов на ПС після того, як система почала працювати некоректно. Однак, методи та підходи, що використовуються у сучасних програмних продуктах, не реагують на часткові відмови, не здатні автоматично визначати причину часткової відмови та здійснювати автоматичні спроби усунути таку відмову або основну причину відмови.

Формулювання цілей

Для проведення дослідження сформовано наступні цілі: провести теоретичний аналіз способів та методів забезпечення відмовостійкості програмних систем; охарактеризувати основні поняття та проблеми відмовостійкості; описати існуючі методи відмовостійкості; виділити наявні проблеми у галузі відмовостійкості ПС та описати шляхи їх вирішення; удосконалити існуючі алгоритми забезпечення відмовостійкості ПС.

Виклад основного матеріалу

На основі аналізу невирішених проблем відмовостійкості програмних систем було запропоновано розробити власний алгоритм шляхом комбінації та модифікації існуючих методів, що дозволить оптимізувати наявні вузькі місця в існуючих підходах. Визначено вимоги до удосконаленого алгоритму

відмовостійкості ПС:

- алгоритм повинен реагувати на часткові відмови, а саме: автоматично аналізувати та сканувати усі помилки, що з'являються у програмній системі;
- алгоритм повинен мати можливість автоматично висувати гіпотези про причину помилок та намагатись автоматично усувати помилку.

Для початку було вирішено використати підходи до моніторингу та збереження даних задля того, щоб алгоритм мав змогу аналізувати вхідні дані користувачів та робити припущення про можливі потенційні відмови системи.

Для вирішення поставленої задачі необхідно зберігати дані про користувачів та їх запити, тому удосконалений метод відмовостійкості збиратиме та аналізуватиме дані, які представлені у таблиці 1.

Таблиця 1

Вхідні дані алгоритму	
Вхідний параметр	Приклад даних
IP-адреса користувача	188.123.19.208
Операційна система користувача	macOS 10.15.7
Браузер користувача	Chrome 91.0.4472.106
Запит, що здійснюється	somesite.com/login
Вхідні параметри запиту	{ "username": "dmytro", "password": "sometext" }
Відповідь системи на запит користувача	{ "code": 300, "message": "Login failed" "meta info": "Uncaught PHP Exception Ramsey\Uuid\Exception\InvalidUuidStringException: "Invalid UUID string:" /var/www/project/vendor/ramsey/uuid/src/Codec/StringCodec.php line 146" }

На основі даних користувача формується унікальний анонімний хеш-ключ, який слугує ідентифікатором користувача. Аналізуючи дані, алгоритм може автоматично припустити, де існує проблема, та спробувати її автоматично вирішити.

Після завершення роботи моніторингу запускається логіка припущень. Для цього реалізовано алгоритм припущень, який на основі даних, збережених моніторингом, чи використовуючи балансувач та шардінг, ізолює потенційно небезпечних користувачів або виконує запуск патерну вимикача.

У разі, якщо система буде надсилати помилки всім користувачам, які виконують певний запит, то тоді алгоритм здійснить припущення, що проблема є локальною та стосується лише одного сервісу (чи однієї кінцевої точки). В результаті алгоритм автоматично вимкне даний сервіс за допомогою патерна вимикача. Наприклад, якщо сторінка авторизації не працює, користувачі здійснюють запити на авторизацію, проте отримують помилки, тоді алгоритм аналізує помилки і дані користувачів та робить припущення, що проблема стосується конкретного модуля системи і блокує всі подальші запити до вирішення проблеми.

Схематичне відображення роботи алгоритму у такому випадку представлено на рисунку 1.

На рисунку 2 представлена робота алгоритму у випадку повної працездатності ПС.

Описаний підхід дасть можливість ізолювати проблемні частини програмного продукту, а це, у свою чергу, дасть можливість користувачам продовжувати користуватись частиною програми, яка для них залишається працездатною.



Рис. 1. Робота алгоритму вимикача – відкритий стан



Рис. 2. Робота алгоритму вимикача – закритий стан

У той же час алгоритм відмовостійкості та моніторинг даних про користувачів можуть здійснити припущення про потребу в ізоляції користувачів та ізолювати їх від інших у випадку, якщо система почне повертати помилки лише певним користувачам або групі користувачів.

Для реалізації нового підходу до балансування на основі користувачів та навантаження було вирішено переосмислити підходи шардінгу та скомбінувати їх з патерном балансувача. Зазвичай, такий алгоритм використовується у базах даних для збереження даних в різних таблицях, проте, завдяки доопрацюванню, його можна використати у сучасних додатках.

У результаті розроблено алгоритм, який ізолює потенційно небезпечного користувача або групу користувачів, що сприяє зниженню кількості потенційних помилок і повних відмов системи та надає можливість іншим користувачам ПС продовжувати використовувати додаток без перешкод.

У випадку виявлення потенційно небезпечного користувача алгоритм відмовостійкості на основі даних моніторингу здійснить розподіл навантаження користувачів за допомогою алгоритму шардінгу таким чином, щоб група підозрілих користувачів була максимально ізольована та не могла завадити використовувати програмний продукт іншим користувачам.

Схематична робота описаного алгоритму представлена на рисунку 3. В даному випадку користувача 3 ізолювано у контейнері С для того, щоб користувачі 1 та 2 могли продовжувати використовувати сервіс без перешкод.

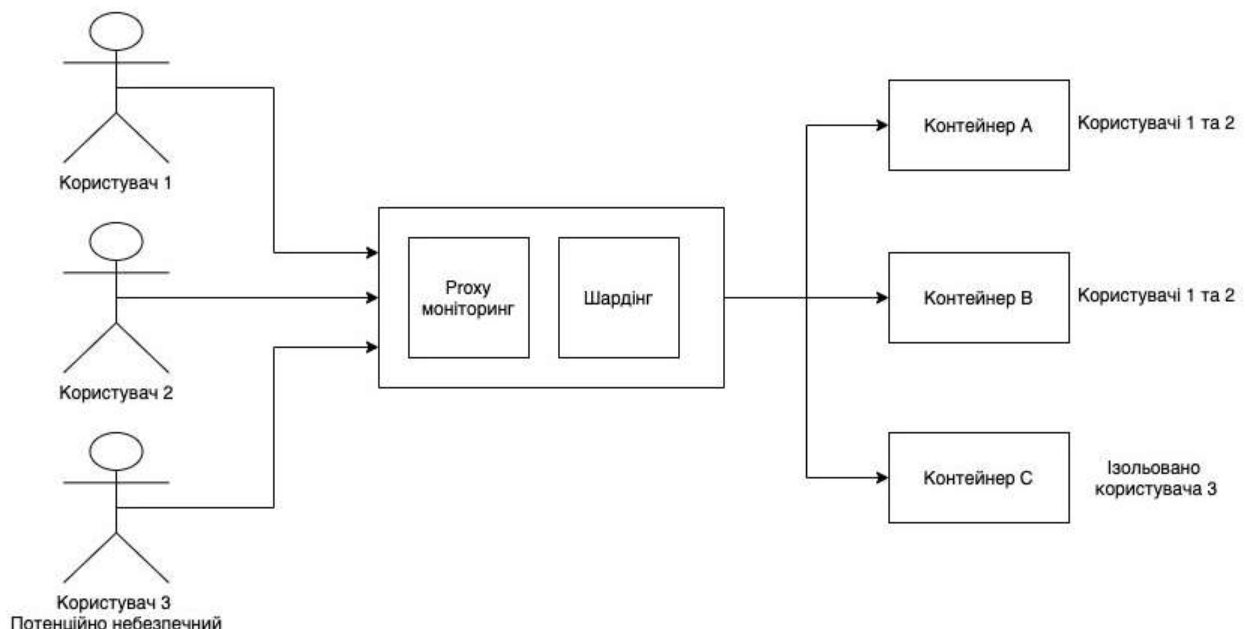


Рис. 3. Розподіл користувачів та сервісів

Висновки

Таким чином, у статті охарактеризовані основні поняття та проблеми відмовостійкості програмних систем, досліджено методи та алгоритми забезпечення відмовостійкості ПС. Зокрема, описані існуючі методи відмовостійкості ПС, на основі аналізу яких виявлені наявні проблеми у галузі відмовостійкості ПС; описані шляхи вирішення наявних проблем за допомогою реалізації нового алгоритму відмовостійкості, який дозволяє зменшити потенційні відмови ПС та проактивно реагувати на проблеми.

Література

1. Firesmith D. System resilience what exactly is it. Software Engineering Institute (SEI) at Carnegie Mellon University. URL: <https://insights.sei.cmu.edu/blog/system-resilience-what-exactly-is-it/>
2. Warren Axelrod C. Investing in Software resiliency. ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/293515438_Investing_in_software_resiliency
3. Frese M. Error management or error prevention. Two strategies to deal with errors in software design. ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/-30811276_Error_management_or_error_prevention_Two_strategies_to_deal_with_errors_in_software_design
4. Circuit breaker pattern. MICROSOFT.COM. URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/architecture/patterns/circuit-breaker>
5. Retry pattern. MICROSOFT.COM. URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/architecture/patterns/retry>
6. Compensation transaction pattern. MICROSOFT.COM. URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/architecture/patterns/compensating-transaction>
7. Choudhury S. How data sharding works in a distributed sql database. YugabyteDB. URL: <https://blog.yugabyte.com/how-data-sharding-works-in-a-distributed-sql-database/>

О.П. МИСОВ

Український державний хіміко-технологічний університет

ORCID Author ID: 0000-0003-2114-1382

e-mail: musov@ua.fm

І.Л. ЛЕВЧУК

Український державний хіміко-технологічний університет

ORCID Author ID: 0000-0002-8983-0558

e-mail: lil8192@gmail.com

К.О. ФЕСЕНКО

Український державний хіміко-технологічний університет

ORCID Author ID: 0000-0001-5590-2675

e-mail: Ksenia_ksenia@i.ua

М.О. САВЧЕНКО

Український державний хіміко-технологічний університет

О.М. ГНАТКО

Український державний хіміко-технологічний університет

ORCID Author ID: 0000-0003-0588-0425

e-mail: olena.gnatko@gmail.com

РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ РОЗЧИНУ МІДНОГО КУПОРОСУ, АДАПТОВАНОЇ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ УПРАВЛІННЯ

В роботі наведено результати розробки та дослідження комп'ютерної моделі процесу виробництва розчину мідного купоросу за допомогою універсальної моделюючої програми ChemCAD, а також розроблені принципи інтеграції цієї моделі до сучасних SCADA систем.

Ключові слова: мідний купорос, комп'ютерна модель, універсальна моделююча програма, система керування, OPC сервер.

MYSOV OLEG P.

Ukrainian State Chemical and Technological University

LEVCHUK IGOR L.

Ukrainian State Chemical and Technological University

FESENKO KSENIIA O.

Ukrainian State Chemical and Technological University

SAVCHENKO MARIIA O.

Ukrainian State Chemical and Technological University

GNATKO OLENA M.

Ukrainian State Chemical and Technological University

DEVELOPMENT OF A COMPUTER MODEL FOR OBTAINING A SOLUTION OF COPPER SULFATE ADAPTED FOR SOLVING CONTROL PROBLEMS

Copper sulfate is an inorganic compound that is currently widely used in the chemical industry, medicine and agriculture. When developing systems for automated control of the process of obtaining copper sulfate, there is a need for simple, high-speed and at the same time accurate mathematical models that are used both in improving algorithms for optimal control of this process, and in developing operator interfaces and debugging control algorithms. At the same time, the development of full-fledged mathematical models of technological processes is a very laborious task that requires significant material and time costs.

The subject of study in the article is a computer model of the process of obtaining a solution of copper sulfate, implemented in the software environment of the universal modeling program ChemCAD.

The aim of the work is to develop in a software environment a universal modeling program ChemCAD, a computer model of the process of obtaining a solution of copper sulphate, adapted for solving problems of control and integration into modern SCADA systems.

Objectives: to develop a computer model of the process of obtaining a solution of copper sulfate in the ChemCAD simulation program; explore the process using a computer model, get graphical dependencies that describe the main technological parameters of the process; perform a comparative analysis of the data obtained by calculation with the experimental data of the laboratory setup and draw a conclusion about the functionality of the developed computer model; adapt the computer model to solve the control problem and develop the principles of two-way information exchange of the computer model based on OPC technology with the modern SCADA system TRACE-MODE 6.

The methods used are: computer modeling of technological processes; OPC technology; SCADA.

Conclusions: the novelty of the results obtained is as follows. In the ChemCAD software environment, a computer model of the process of obtaining a solution of copper sulfate has been developed, adapted for solving control problems and integration into existing SCADA systems. The principles and structure of two-way information exchange of a computer model with external control programs based on OPC technology have been developed.

Keywords: copper sulfate, computer model, universal simulator, control system, OPC server.

Постановка проблеми

При вирішенні завдань автоматизованого управління різними технологічними процесами, існує величезна потреба в досить точних і в той же час простих і швидкодіючих математичних моделях процесів, що підлягають управлінню. Такі моделі використовуються в системах промислової автоматизації, в першу

чергу при вирішенні завдань оптимального управління технологічними процесами, тому що математична модель дозволяє системі управління прогнозувати поведінку реального процесу без постановки експерименту на реальному об'єкті управління. В той же час розробка точних і швидкодіючих математичних моделей технологічних процесів - дуже трудомістке завдання, що вимагає істотних часових і матеріальних витрат, а також залучення висококваліфікованих фахівців [1].

На сьогоднішній день в області програмного забезпечення з'явився особливий клас програмних пакетів, призначених для комп'ютерного моделювання різних технологічних процесів, найбільш популярними серед яких є ChemCAD, PRO/II, Hysys, DWSIM, Aspen Plus. Розробка моделей в цих пакетах здійснюється у візуальній формі, на основі технологій об'єктно-орієнтованого програмування, що значно спрощує і полегшує процес створення математичних моделей. А наявність вбудованої технології OPC (Open Platform Communication) дозволяє отриманим математичним моделям здійснювати інформаційний обмін з будь-якими сторонніми пристроями і програмами, у тому числі і призначеними для вирішення завдань автоматизованого управління технологічними процесами [2].

Сульфат міді (мідний купорос) є найважливішою сіллю міді, яка знаходить широке застосування в медицині, хімічній промисловості і сільському господарстві. Продуктивність процесу отримання мідного купоросу значною мірою залежить від ефективності використовуваної системи управління, для підвищення якої потрібна математична модель процесу. З урахуванням різноманітності застосування мідного купоросу можна зробити висновок, що удосконалення процесу його отримання є актуальним питанням [3].

Метою даної роботи є розробка адаптованої для вирішення завдань управління, комп'ютерної моделі процесу отримання розчину мідного купоросу в універсальній моделюючій програмі ChemCAD.

Аналіз останніх джерел

Мідний купорос - неорганічне з'єднання з хімічною формулою $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, є прозорими кристалами різних відтінків синього, легко розчиняється у воді, має гіркувато-металевий терпкий смак [3].

Спектр застосування мідного купоросу дуже широкий. Наприклад, в будівництві водний розчин сульфату міді застосовується для нейтралізації наслідків протікання, ліквідації плям іржі, а також для видалення виділень солей з цегляних, бетонних і оштукатурених поверхонь, а також як антисептичний і фунгіцидний засіб для запобігання гниття деревини [4]. У сільському господарстві мідний купорос застосовується як антисептик, фунгіцид і мідно-сірчане добриво [5]. Для боротьби з цвітінням води у водосховищах також використовується хімічна обробка мідним купоросом. Також застосовується для виготовлення мінеральних фарб [6]. У медицині, як один з компонентів електролітичних ванн для міднення [7]. У харчовій промисловості зареєстрований в якості харчової добавки E519, використовується як фіксований забарвлення і консервант [8].

Способи виробництва мідного купоросу розрізняють головним чином за видами сировини, яку застосовують:

- з мідного брухту і відходів міді (стружки, висікання, дроту, тирси і т. п.) з окисленням міді киснем повітря, електролізом або розчином хлорного міді [9];
- з окису міді і сірчистого газу [10];
- з окислених мідних руд, що містять незначну кількість міді [11].

Але найголовніший - баштовий (з мідного брухту), головною сировиною якого є мідь і сірчана кислота. Комп'ютерна модель цього способу отримання мідного купоросу реалізована в цій роботі.

Виклад основного матеріалу

За допомогою універсальної моделюючої програми ChemCAD була реалізована комп'ютерна модель першої стадії процесу отримання розчину мідного купоросу з мідного лому. Структура комп'ютерної моделі представлена на рисунку 1.

На вхід процесу надходять:

- окисник міді, сірчана кислота;
- кисень, який потрібен для окислення міді;
- мідний брухт.

Кінцевим продуктом процесу є:

- розчин сульфата міді що надходить на подальшу кристалізацію;
- парова фаза, яка відводиться з сепаратору «4»;
- вода, що утворюється при розчиненні оксиду міді в сірчаній кислоті.

Процес отримання розчину мідного купоросу в комп'ютерній моделі складається з трьох стадій:

1. Підведення реагуючих речовин до твердої поверхні;
2. Хімічної реакції;
3. Відведення розчинних продуктів реакції в розчин.

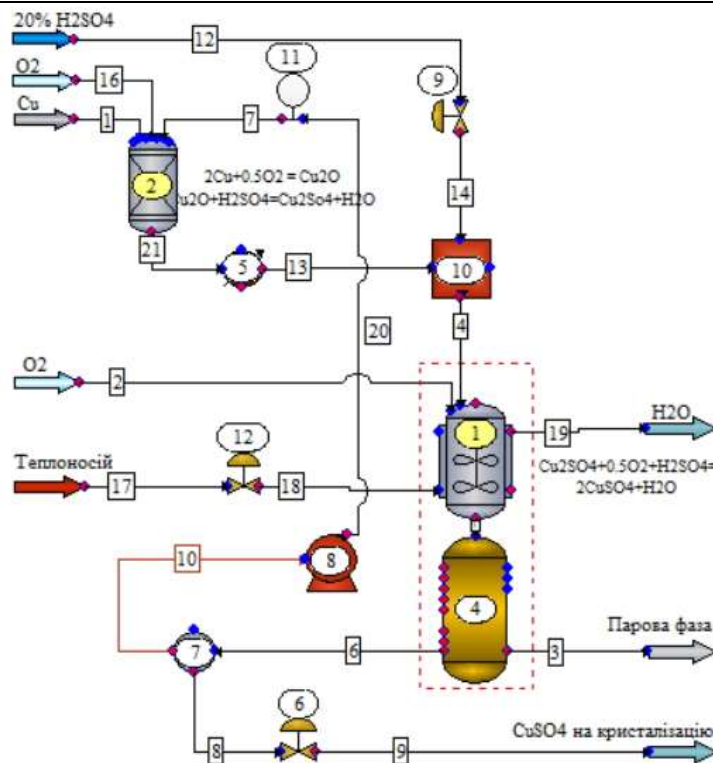


Рис. 1. Структура комп'ютерної моделі процесу отримання розчину мідного купоросу

Основними апаратами процесу є:

1. Реактор «1» з безперервним змішуванням, в якому відбувається окислення одновалентної міді у двовалентну. Кінетична модель реактора описується наступним рівнянням:

$$N_{i0} = \frac{dX}{dt} = r_i V \quad (1)$$

Де N_{i0} – кількість молей компонента А, що надходять в реактор;
 X – ступінь конверсії;
 t – час;
 V – об'єм реактору;
 r_i – швидкість реакції.

2. Адіабатичний реактор «2», кінетична модель якого описується рівнянням:

$$V = \frac{F_{i0} X}{-r_i} \quad (2)$$

Де V – об'єм реактора;
 F_{i0} – вхідна молярна витрата компонента i ;
 X – ступінь конверсії;
 $-r_i$ – швидкість реакції.

Для визначення повної швидкості реакції для одного компоненту розчину використовується наступне рівняння:

$$r_i = \left(\sum_{j=1}^{nrx} N_{ij} * A_j * e^{-E_j/(RT)} * \prod_{k=1}^{x_i} (c_k)^{a_{kj}} \right) \quad (3)$$

Де r_i – швидкість утворення компонента i , моль/об'єм*час;
 i – індекс для компонента i ;
 k – індекс для реагенту k ;
 j – індекс реакції j ;
 N_{ij} – стехіометричний коефіцієнт для компонента i в реакції j ;
 A_j – коефіцієнт частоти в реакції j ;
 E_j – енергія активації в реакції j ;
 R – універсальна газова постійна;
 T – абсолютна температура;
 c_k – концентрація реагенту k , моль/об'єм;
 a_{kj} – експоненційний множник для реагенту k в реакції j ;
 n – кількість реагентів;
 nrx – кількість реакцій.

Стехіометричні коефіцієнти компонентів, що вступають в реакції, наведені на рисунку 2.

Процес отримання розчину мідного купоросу, реалізований в комп'ютерній моделі протікає наступним чином.

Реагуюча речовина після змішування надходить до теплообмінника «5», який знижує температуру маткового розчину для імітації реальних умов. Після охолодження матковий розчин потрапляє до апарату змішування «10», в який також поступає 20% сірчана кислота. Для керування подачею кислоти передбачено виконавчий механізм «9». Після змішування весь об'єм речовини надходить до основного реактору «1», в який додатково вводиться кисень, для окислення одновалентної міді Cu_2SO_4 до двовалентної CuSO_4 в присутності сірчаної кислоти за допомогою реакції:



Reaction Number: 1		Reaction Number: 2	
Frequency factor	1e+009	Frequency factor	1000
Activation energy	11300	Activation energy	1
Beta factor		Beta factor	
Component	Stoichiometric coefficient	Component	Stoichiometric coefficient
4 Cu	-2	8 Cu2O	-1
6 Oxygen	-0.5	2 Sulfuric Acid	-1
8 Cu2O	1	5 Cu2SO4	1
<None>		1 Water	1

Рис. 2. Стехіометричні коефіцієнти компонентів реакцій

Швидкість процесу визначається швидкістю найбільш повільної реакції, а саме швидкістю окислення міді киснем повітря. Це пояснюється малою розчинністю кисню і повільною його дифузією до поверхні міді. Процес значно прискорюється, коли в розчині вже присутній мідний купорос. В результаті деполяризації CuSO_4 відновлюється міддю до Cu_2SO_4 , а потім Cu_2SO_4 знову окислюється розчинним киснем до CuSO_4 . Таким чином, мідний купорос грає роль переносника кисню. Підвищення температури, прискорює хімічні реакції, але викликає зменшення розчинності кисню, що уповільнює окислення. Тому в реакторі окислення підтримується температура не вище 80 - 85°C за допомогою виконавчого механізму «12», який дозує подачу теплоносія в «жакет» обігріву реактора «1». При цьому при окисленні міді використовується приблизно 1/2 кисню, що надходить в реактор. Розчинність кисню зменшується з ростом концентрації CuSO_4 в розчині. Максимум швидкості розчинення спостерігається при концентрації 120 г/л CuSO_4 (для розчину містить ~110 г/л H_2SO_4) [12].

Процес змішування в реакторі «1» відбувається до тих пір, поки не буде досягнута необхідна густина маткового розчину, після чого частина розчину відбирається на кристалізацію за допомогою виконавчого механізму «6», а в реактор вводиться такий же об'єм 20% сірчаної кислоти за допомогою виконавчого механізму «9».

З реактору «1» речовина надходить до сепаратору «4» для розділення на рідку та парову фазу, яка відводиться з системи.

Помпа «8» забезпечує циркуляцію маткового розчину в системі реакторів «1» → «2». На вході помпи тиск дорівнює 1.5, а на виході 1.7 атмосфер.

Для вирішення задачі автоматизованого керування в реальному часі, необхідна комп'ютерна модель, яка дозволяє інформативно відслідкувати кількісні зміни процесу отримання розчину мідного купоросу, тому моделювання в програмі ChemCAD виконувалося у динамічному режимі.

Перевірка адекватності розробленої комп'ютерної моделі виконана шляхом порівняння розрахункових даних, отриманих за допомогою комп'ютерної моделі, з експериментальними даними отриманими з лабораторної установки для отримання мідного купоросу, що функціонує в лабораторії «НДЛ Метрологічного забезпечення екологічного контролю зовнішнього середовища» ДВНЗ УДХТУ.

На рисунку 3 представлена отримана за допомогою комп'ютерної моделі залежність об'ємної концентрації сірчаної кислоти та сульфату міді від часу в матковому розчині.

З плином часу в міру окислення мідного брухту концентрація сірчаної кислоти в маточному розчині зменшується, а концентрація сульфату міді, відповідно, зростає. Характер отриманої залежності повністю відповідає реальному процесу.

Отримана за допомогою комп'ютерної моделі залежність зміни об'єму реагуючої речовини в реакторі 1 (рисунок 4) свідчить про незначні втрати об'єму реакційної суміші (0,37 літра) за час поточного циклу функціонування установки (біля 8 годин), що також відповідає реальному процесу. Незначне зниження об'єму рідини в реакторі пояснюється збільшеним паротворенням через високу температуру реакційної суміші (80-85°C), яка є близької до температури кипіння.



Рис. 3. Об'ємна концентрація сірчаної кислоти та сульфату міді в маточному розчині

Час min	Сульфат міді gmol/min	Сірчана кислота gmol/min
10	0,483	0,934
40	0,503	0,903
70	0,551	0,877
100	0,613	0,844
130	0,685	0,806
160	0,762	0,763
190	0,841	0,719
220	0,922	0,674
250	1,001	0,629
280	1,079	0,585
310	1,154	0,542
340	1,225	0,501
370	1,293	0,462
400	1,357	0,425
430	1,417	0,391
460	1,473	0,358
490	1,514	0,328

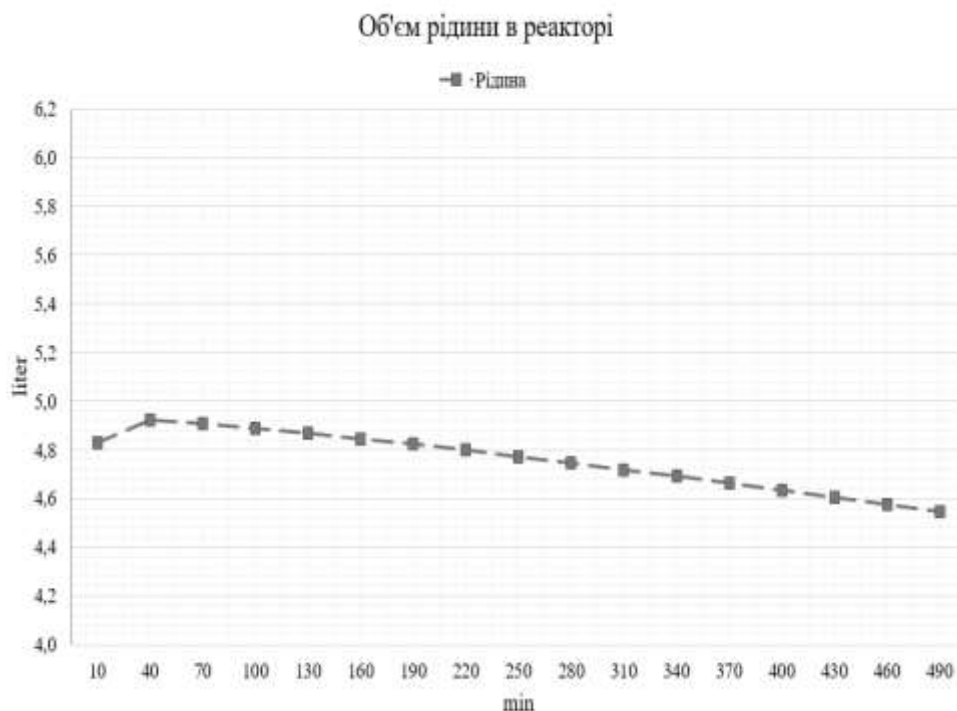


Рис. 4. Зміна об'єму рідини в реакторі

Час min	Загальний об'єм рідини liter
10	4,831
40	4,922
70	4,908
100	4,889
130	4,868
160	4,846
190	4,823
220	4,798
250	4,773
280	4,746
310	4,719
340	4,691
370	4,662
400	4,633
430	4,604
460	4,574
490	4,544

На рисунку 5 відображена отримана за допомогою комп'ютерної моделі графічна залежність, що відображає зміну щільності маточного розчину в часі. При отриманні мідного купоросу в промислових умовах маточний розчин відводиться на кристалізацію та сушіння при досягненні показника щільності 1.42

г/см³. При чому циклічність процесу відбору, в залежності від стартових умов процесу, особливостей його апаратної реалізації та технологічного режиму, дорівнює 6-8 годин. Отримана залежність демонструє збільшення густини маточного розчину з показника 1.19 г/см³ до 1.42 г/см³ протягом 8 годин, що загалом відповідає показникам промислових установок.

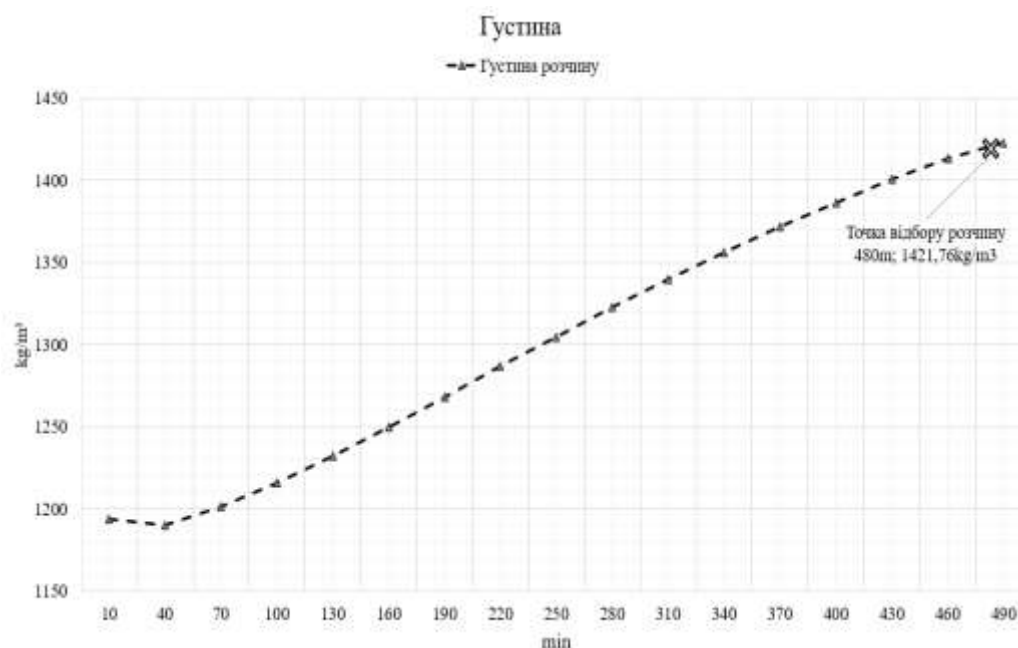


Рис. 5. Зміна густини маточного розчину з часом

Час min	Густина розчину kg/m ³
10	1193,87
40	1189,78
70	1201,25
100	1215,78
130	1232,27
160	1249,93
190	1268,17
220	1286,55
250	1304,74
280	1322,5
310	1339,66
340	1356,09
370	1371,73
400	1386,52
430	1400,45
460	1413,52
490	1422,87

Порівняльний аналіз часу тривалості одного циклу отримання розчину мідного купоросу по комп'ютерній моделі з показниками лабораторної установки, на якій реалізований аналогічний з моделлю технологічний режим, показав похибку розрахунку тривалості циклу біля 12 хвилин. Це вочевидь пояснюється не ідеальною реалізацією моделей окремих апаратів в універсальній моделюючій програмі ChemCAD. Крім того, щосекундний прорахунок комп'ютерної моделі в динаміці, загальною тривалістю в кілька годин віртуального часу, надає помилці розрахунку накопичувальний характер, чим суттєво збільшує її.

У той же час наявна похибка розрахунку тривалості циклу в 2,5% не робить істотного негативного впливу на основне цільове призначення розробленої комп'ютерної моделі процесу отримання мідного купоросу і дозволяє її використовувати при розробці та налагодженні систем управління.

В даний час SCADA системи (Supervisory Control and Data Acquisition - диспетчерське управління і збір даних) [13] є однією з найбільш розповсюджених та перспективних технологій в області автоматизованого управління в сучасному світі. Популярність SCADA пояснюється тим, що ці системи дозволяють створювати як ефективні людино-машинні інтерфейси (HMI) так і реалізовувати алгоритми керування практично будь-якої складності. Основним інструментом в SCADA для обміну інформацією з зовнішнім світом є технологія OPC (Open Platform Communication)[14].

Універсальна моделююча програма ChemCAD, в середовищі якої розроблена комп'ютерна модель процесу отримання мідного купоросу, також підтримує технологію OPC та має вбудований OPC сервер. Це дозволяє моделям розробленим в програмі ChemCAD виступати в якості джерела і приймача даних для зовнішніх SCADA, причому параметри OPC сервера ChemCAD можливо розглядати як віддалені технічні засоби автоматизації, а саме як датчики, що вимірюють параметри технологічного процесу та регулюючі клапани, що змінюють витрати матеріальних потоків.

Розроблена структурна схема інформаційного обміну між комп'ютерною моделлю процесу отримання мідного купоросу та популярною і поширеною SCADA Trace Mode 6 наведена на рисунку 6.

Для реалізації керування в SCADA процесом отримання мідного купоросу по розробленій комп'ютерній моделі передбачено інформаційний обмін за наступними параметрами OPC серверу ChemCAD:

- **Streams.Stream 6.Component.3 Cupric Sulfate**, потік 6, концентрація мідного купоросу на виході з реактора, г/л, вимірюваний параметр;
- **Streams.Stream 6.Component.2 Sulfuric Acid**, потік 6, концентрація сірчаної кислоти на виході з реактора, г/л, вимірюваний параметр;
- **UnitOperations.Unit1.46 Calc liquid volume.Value**, реактор «1», розрахунок загального об'єму рідини, л, вимірюваний параметр;
- **Streams.Stream6.Properties.46 Liquid actual density.Value**, потік 6, густина маткового розчину на виході з реактору, г/см³, вимірюваний параметр;

- **UnitOperations.Unit6.11 Valve position %.Value**, виконавчий механізм «6», ступінь відкриття 0-100%, керований параметр, відбір маточного розчину на кристалізацію та сушіння;
- **UnitOperations.Unit9.11 Valve position %.Value**, виконавчий механізм «9», ступінь відкриття 0-100%, керований параметр, додавання 20% сірчаної кислоти.

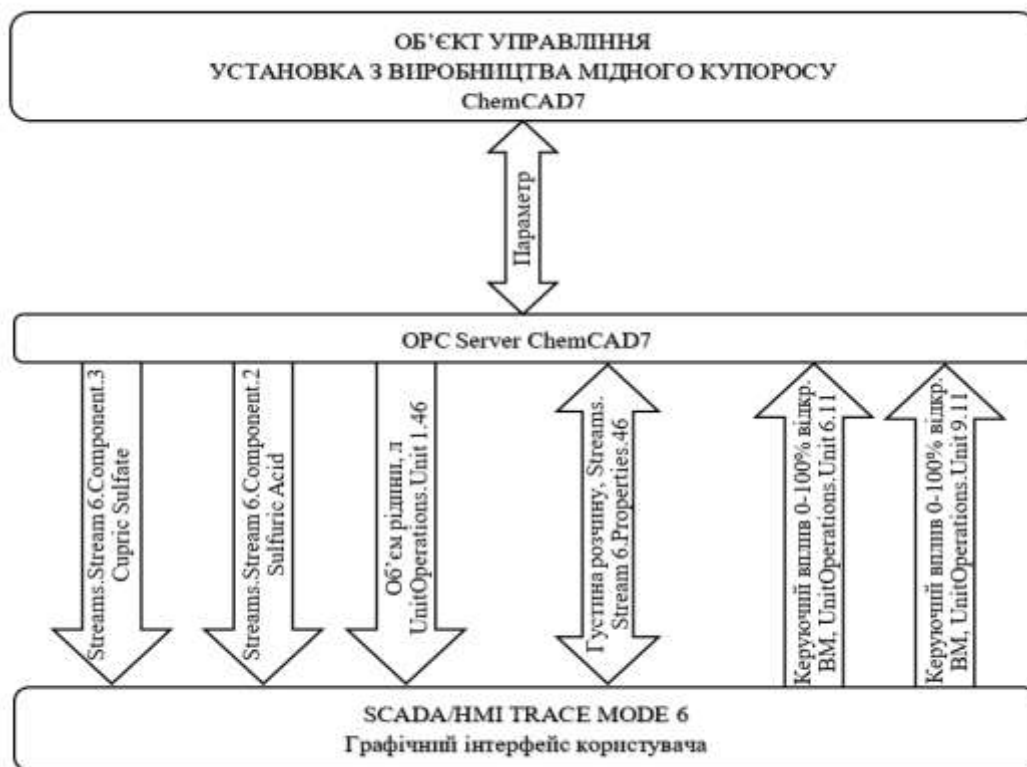


Рис. 6. Схема інформаційного обміну ChemCAD ↔ OPC ↔ SCADA

Підтримання відповідної температури в реакторі «1» шляхом подачі теплоносія в «жакет» обігріву, реалізовано за допомогою локального регулятора «11», що керує виконавчим механізмом «12» безпосередньо в ChemCAD, без використання технології OPC.

Висновок. В універсальній моделюючій програмі ChemCAD розроблена комп'ютерна модель динаміки процесу отримання розчину мідного купоросу, адаптована для вирішення задач автоматизованого керування. Наведена структура розробленої моделі. За моделлю отримані залежності концентрації сірчаної кислоти та сульфату міді в реакційному розчині, змін об'єму рідини в реакторі та густини реакційного розчину. Виконаний порівняльний аналіз розрахункових даних з експериментальними, отриманими з лабораторної установки для отримання розчину мідного купоросу. Розроблені принципи інтеграції розробленої моделі в сучасні SCADA системи. Також розроблена структура інформаційного обміну між комп'ютерною моделлю процесу отримання розчину мідного купоросу та системою керування на базі SCADA Trace-Mode 6 за допомогою технології OPC.

Література

1. Основи моделювання хіміко-технологічних систем : навчальний посібник / [О. М. Пахомов, В. І. Коновалов, Н. Ц. Гатапова, А. Н. Коліух]. – Тамбов : Вид-во Тамбо. держ. техн. ун-ту, 2008. – 80 с.
2. Ляпощенко А.А. Статичне та динамічне моделювання хіміко-технологічних процесів в CHEMCAD / А.А. Ляпощенко, Ю.Ю. Басанец // Сучасні технології у промисловому виробництві. – Суми : СумДУ, 2016. – Ч. 2. – С. 82.
3. Thermodynamic study of the Cu-Na-H-SO₄-Cl-HSO₄-H₂O system for the solubility of copper sulfate in acid seawater at different temperatures. Francisca J. Justel, María E. Taboada, Yecid P. Jimenez. Journal of Molecular Liquids, 2018. No. 249. P. 702–709.
4. Seliem, M.K., El-Mahrouk, M.E., El-Banna, A.N., Hafez, Y.M., Dewir Y.H. Micropropagation of Philodendron selloum: Influence of copper sulfate on endophytic bacterial contamination, antioxidant enzyme activity, electrolyte leakage, and plant survival. South African Journal of Botany, 2021. No. 13. P. 230–240.
5. Мінеєв В.Г. Використання мідного купоросу в сільському господарстві : навчальний посібник / В.Г. Мінеєв, В.Г. Сичов, Г.П. Гамзиков. – М. : Вид-во ВНПА ім. Д.Н. Прянішнікова, 2017. – 854 с.
6. Мартинкевич А.А. Пігменти для сучасних фарбових матеріалів : навчальний посібник / А.А. Мартинкевич, Н.П. Прокопчук. – Мінськ : БДТУ, 2014. – 130 с.

7. Кароматов І.Д. Мідь та її призначення в медицині / І.Д. Кароматов, П.Т. Тураєв // Біологія та інтегративна медицина. – 2011. – № 11. – С. 207.
8. Россівал Л. Сторонні речовини і харчові добавки в продуктах : навчальний посібник / Л. Россівал, Р. Енгст, А. Соколай. – М. : Легка та харчова промисловість, 1982. – 264 с.
9. Лебідь А.Б. Отримання сульфату міді та нікеля сірчаноокислотного на ВАТ «Уралелектромід» : навчальний посібник / А.Б. Лебідь, Л.Ф. Акулич, С.С. Набойченко. – Єкатеринбург : Вид-во Урал. Ун-та, 2015. – 136 с.
10. Позін М.Е. Виробництво мінеральних солей : навчальний посібник / М.Е. Позін. – Л. : Хімія, 1974. – 792 с.
11. Збірник доповідей IV Міжнародної наукової конференції аспірантів і студентів "Охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів". – Донецьк : ДонНТУ, 2005.
12. Батура Д.О. СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ВІДДІЛЕННЯМ ВИЛУГОВУВАННЯ МІДІ З МІДНОГО БРУХТУ / Д.О. Батура, О.П. Мисов // ДВНЗ «Український держаний хіміко-технологічний університет». – Дніпро, 2020. – 2 с.
13. SCADA система Trace Mode 6 : навчальний посібник. – Казань : Вид-во Казан. держ. технол. ун-ту, 2011. – 128 с.
14. Hoffmann, M., Büscher, C., Meisen, T., Jeschke S. Continuous integration of field level production data into top-level information systems using the OPC interface standard. *Procedia CIRP*, 2016. No. 41. P. 496–501.

References

1. Osnovy modelivannia khimiko-tekhnologichnykh system : navchalnyi posibnyk / [O. M. Pakhomov, V. I. Kononov, N. Ts. Hatapova, A. N. Koliukh]. – Tambov : Vyd-vo Tambo. derzh. tekhn. un-tu, 2008. – 80 s.
2. Liaposhchenko A.A. Statychne ta dynamichne modelivannia khimiko-tekhnologichnykh protsesiv v CHEMCAD / A.A. Liaposhchenko, Yu.Iu. Basanets // Suchasni tekhnologii u promyslovomu vyrobnytstvi. – Sumy : SumDU, 2016. – Ch. 2. – S. 82.
3. Thermodynamic study of the Cu-Na-H-SO₄-Cl-HSO₄-H₂O system for the solubility of copper sulfate in acid seawater at different temperatures. Francisca J. Justel, Maria E. Taboada, Yecid P. Jimenez. *Journal of Molecular Liquids*, 2018. No. 249. P. 702–709.
4. Selien, M.K., El-Mahrouk, M.E., El-Banna, A.N., Hafez, Y.M., Dewir Y.H. Micropropagation of *Philodendron selloum*: Influence of copper sulfate on endophytic bacterial contamination, antioxidant enzyme activity, electrolyte leakage, and plant survival. *South African Journal of Botany*, 2021. No. 13. P. 230–240.
5. Mineiev V.H. Vykorystannia midnoho kuporosu v silskomu hospodarstvi : navchalnyi posibnyk / V.H. Mineiev, V.H. Sychov, H.P. Hamzykov. – М. : Vyd-vo VNIIA im. D.N. Prianishnykova, 2017. – 854 s.
6. Martynkevych A.A. Pihmenty dlia suchasnykh farbovykh materialiv : navchalnyi posibnyk / A.A. Martynkevych, N.P. Prokopchuk. – Minsk : BDTU, 2014. – 130 s.
7. Karomатов I.D. Mid ta yii pryznachennia v medytyni / I.D. Karomатов, P.T. Turaev // Biologiia ta inteiratyvna medytyna. – 2011. – № 11. – S. 207.
8. Rossival L. Storonnii rechovyny i kharchovi dobavky v produktakh : navchalnyi posibnyk / L. Rossival, R. Энгст, A. Sokolai. – М. : Lehka ta kharchova promyslovist, 1982. – 264 s.
9. Lebid A.B. Otrymannia sulfatu midi ta nikelia sirchanokislотноho na VAT «Uralelektromid» : navchalnyi posibnyk / A.B. Lebid, L.F. Akulych, S.S. Naboichenko. – Yekaterynburh : Vyd-vo Ural. Un-ta, 2015. – 136 s.
10. Pozin M.E. Vyrobnytstvo mineralnykh solei : navchalnyi posibnyk / M.E. Pozin. – L. : Khimiia, 1974. – 792 s.
11. Zbirnyk dopovidei IV Mizhnarodnoi naukovoї konferentsii aspirantiv i studentiv "Okhorona navkolyshnoho seredovyscha ta ratsionalne vykorystannia pryrodnykh resursiv". – Donetsk : DonNTU, 2005.
12. Batura D.O. Systema avtomatyzovanoho upravlinnia viddilenniam vyluhovuvannia midi z midnoho brukhtu / D.O. Batura, O.P. Mysov // DVNZ «Ukrainskyi derzhanyi khimiko-tekhnologichnyi universytet». – Dnipro, 2020. – 2 s.
13. SCADA systema Trace Mode 6 : navchalnyi posibnyk. – Kазan : Vyd-vo Kазan. derzh. tekhnol. un-tu, 2011. – 128 s.
14. Hoffmann, M., Büscher, C., Meisen, T., Jeschke S. Continuous integration of field level production data into top-level information systems using the OPC interface standard. *Procedia CIRP*, 2016. No. 41. P. 496–501.

О.І. ХИЖАН

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ
olenakhyzhan@gmail.com

К.А. НЕСТЕРОВА

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ

О.І. ХИЖАН

Інститут фізико-органічної хімії і вуглехімії ім. Л.М. Литвиненка НАН України, м. Київ

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОННОГО НАВЧАЛЬНОГО КУРСУ ПРИ ВИВЧЕННІ ХІМІЧНИХ ДИСЦИПЛІН

У роботі представлено методологію розробки курсу дистанційного навчання з органічної хімії для студентів спеціальності «Біотехнології та біоінженерія» в оболонці Moodle. Електронний навчальний курс пропонується для організації дистанційного навчання студентів. Він включає візитку курсу, загальну інформацію, 3 змістовних модулів і контролюючий блок. Курс містить різні типи елементів: лекції, презентації, глосарій, форум новин, тести, завдання.

Ключові слова: Moodle, курс дистанційного навчання, хімія.

O.I. KHYZHAN

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv

K.A. NESTEROVA

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv

O.I. KHYZHAN

L.M. Litvinenko Institute of Physical Organic and Coal Chemistry, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

FEATURES OF APPLICATION OF E-LEARNING COURSE IN THE STUDY OF CHEMICAL DISCIPLINES

Abstract The paper presents the methodology of developing a distance learning course in organic chemistry for students majoring in "Biotechnology and Bioengineering" in the Moodle shell. An e-learning course is offered to organize distance learning for students. Based on the use of Moodle modules, there is a system of learning and control over it, which is focused on the organization of interaction between teacher and students and can be effectively used for the organization of blended learning and distance learning. With the help of such a system the student can remotely, get acquainted with the study material, perform tasks and send the results of their performance for verification, pass electronic testing in the mode of self-control and control. In the period of growing relevance of distance learning, the use of such elements as video and audio clips, animations, illustrated graphics and diagrams, interactive educational games, links to Internet resources, simulations and various tools for communication, collaboration and messaging are appropriate. It includes a course business card, general information, 3 content modules and a control unit. The course contains different types of elements: lectures, presentations, glossary, news forum, tests, tasks. The task of the course is to organize distance and independent work of students and perform tests. Laboratory works are presented using video materials. The developed electronic course in the discipline is constantly evolving and focused on the needs of students with the ability to modify the presentation of the material. The course in organic chemistry for distance learning activates the independent work of students. The use of e-course in the educational process allows you to write and test in a remote format.

Keywords: Moodle, distance learning course, chemistry.

Вступ. Використання дистанційних технологій навчання у вищих навчальних закладах є необхідністю і важливим напрямком, який дозволяє якісно надавати доступ студенту до необхідної інформації при забезпеченні високої ефективності навчання. Дистанційне навчання – це індивідуальний процес набуття знань, умінь, навичок; спосіб пізнавальної діяльності людини, який відбувається за опосередкованої взаємодії віддалених один від одного учасників навчального процесу в спеціалізованому середовищі з використанням інформаційно комунікаційних технологій [1].

У Національному університеті біоресурсів і природокористування України на основі використання модулів системи Moodle функціонує система навчання та контролю за ним, яка орієнтована на організацію взаємодії між викладачем та студентами і може ефективно використовуватися для організації змішаного навчання так і дистанційного навчання. За допомогою такої системи студент може дистанційно ознайомитися з навчальним матеріалом, виконати завдання та відправити результати їх виконання на перевірку, пройти електронне тестування в режимі самоконтролю та контролю. В свою чергу, викладач має змогу самостійно створювати дистанційні електронні курси і проводити навчання дистанційно, надсилати повідомлення студентам, збирати і перевіряти завдання, вести електронний журнал обліку оцінок та відвідування, налаштовувати різноманітні ресурси навчального курсу [2].

Метою даної роботи стало створення курсу дистанційного навчання з дисципліни «Органічна хімія» для студентів спеціальності «Біотехнології та біоінженерія» на платформі Moodle.

При підготовці фахівців з біотехнології та біоінженерії необхідно враховувати, що за професійною кваліфікацією біотехнолог може займати посади біотехнолога відповідної категорії чи керівника підприємства та виконувати науково-дослідні, технологічні, аналітичні, виробничі, інспекційні та менеджерські роботи в галузі виробництва біопродуктів та біопрепаратів, а також надавати професійні послуги для різних галузей промисловості. Саме тому викладання органічної хімії, відбувається у

класичному варіанті опираючись на програму з дисципліни, але враховуючи специфіку підготовки фахівців-біотехнологів. Отримані знання повинні мати актуальність у подальшому навчанні і професійній діяльності.

Курс складено підручником і навчальними посібниками [3, 4], які використовуються для викладання дисципліни «Органічна хімія» для студентів спеціальності «Біотехнології та біоінженерія».

Курс дистанційного навчання включає такі елементи: візитка курсу, загальна інформація про курс, три змістовних модулів і контролюючий блок.

У дисципліні передбачається аудиторна (лекційні, лабораторні заняття, модульні контрольні роботи) і самостійна робота студентів. Завданням курсу є організація дистанційної і самостійної роботи студентів та виконання контрольних робіт.

У візитці подано загальну інформацію про електронний курс та його авторів, спеціальність, курс та семестр навчання, кількість кредитів ECTS та рівень доступу до курсу.

Загальну інформацію про курс представлено на рис. 1. Вона містить:

- робочу програму навчальної дисципліни, де окреслено мета та завдання вивчення курсу, передумови вивчення курсу, опис структури курсу, методичні рекомендації для студентів щодо вивчення дисципліни;

- глосарій – словник, зв'язаний гіперпосиланнями з текстом лекцій, тестів та інших ресурсів;
- календарний план проходження курсу;
- друковані та Інтернет джерела;
- критерії оцінювання, що містять інформацію щодо системи оцінювання навчальних досягнень студентів з дисципліни, як поточних, так і підсумкових. З кожного модуля вказується розподіл балів за виконання завдань та шкала оцінювання. Оцінка за кожен модуль враховує три складові: засвоєння теоретичного матеріалу, вміння практично застосовувати отримані знання, та успішність виконання завдань, винесених на самостійне опрацювання;

- новини – інформаційний форум, в якому дається інформація про новини курсу (наприклад, поповнення матеріалів курсу).



Рис. 1. Загальна інформація курсу «Органічна хімія»

У курсі з органічної хімії запропоновано такі змістовні модулі: 1. Найважливіші теоретичні положення органічної хімії. Вуглеводні аліфатичного та карбоциклічного ряду. 2. Оксигеновмісні органічні сполуки. 3. Вуглеводи. Нітрогеновмісні органічні сполуки. Гетероциклічні сполуки. Вигляд змістовного модуля представлено на рис. 2.

У цьому курсі модуль Книга використано для зберігання лекцій. Цей формат дозволяє викладачу створювати структуровані багатосторінкові текстові ілюстровані ресурси з розділами та підрозділами, зміст яких надає студенту теоретичні відомості з модуля у повному обсязі (рис. 3). У період зростання актуальності дистанційного навчання застосування таких елементів як відео і аудіо ролики, анімації, ілюстровані графіки і схеми, інтерактивні навчальні ігри, посилання на інтернет-ресурси, симуляції і всілякі інструменти для спілкування, співпраці та обміну повідомленнями є доцільними. Тому теоретичний навчальний матеріал містить також мультимедійні презентації лекцій. Лабораторні роботи подано з використанням відеоматеріалів.

Усі основні поняття, які зустрічаються у лекціях, мають гіперпосилання та занесені до глосарію. Записи глосарію можуть бути переглянуті за алфавітом або за категоріями.

Модуль 1. Найважливіші теоретичні положення органічної хімії. Вуглеводні аліфатичного та карбоциклічного ряду.

Теоретична частина

Лекція 1. Найважливіші теоретичні положення органічної хімії

Лекція 1. Основні теоретичні положення органічної хімії

1.000 Презентацій PowerPoint

Тест до лекції 1

40 з 40 Строби

Лекція 2. Вуглеводні аліфатичного ряду

Лекція 2. ВУГЛЕВОДИ

1.000 Презентацій PowerPoint

Тест до лекції 2

40 з 40 Строби

Лекція 3. Вуглеводні з подвійними зв'язками

Тест до лекції 3

40 з 40 Строби

Лекція 4. Ациклическі вуглеводні

Тест до лекції 4

47 з 45 Строби

Лекція 5. Гетероциклічні ароматичні. Терпени

Тест до лекції 5

40 з 45 Строби

Тема: Терпени

1.000 Презентацій PowerPoint

Лекція 6. Арени

Тест до лекції 6

40 з 40 Строби

Тема: Арени

1.000 Презентацій PowerPoint

Лекція 7. Арени. Вплив замісників на електрофілічне заміщення в ароматичному ядрі

Тест до лекції 7

40 з 40 Строби

Практична частина

Лаб. 1. Основні техніки безпеки. Загальні правила роботи в лабораторії. Методи розділення та очищення органічних речовин: кристалізація, сублімація. Якітний елементарний аналіз: визначення C, H, N, S та галогенів

4 з 45 Слайдів

Лаб. 2 Вуглеводні. Одрізнання та визначення властивостей метану, етилену, пропану.

Лаб. 3 Вуглеводні. Одрізнання та визначення властивостей метану, етилену, пропану.

Модульний контроль 1

17 з 10 Строби

Рис. 2. Вигляд змістовного модуля Найважливіші теоретичні положення органічної хімії. Вуглеводні аліфатичного та карбоциклічного ряду

1. 1. Теоретичні основи органічної хімії

Органічна хімія – це наука, що вивчає властивості, будову та реакції органічних сполук. Органічні сполуки – це сполуки, що містять атоми вуглецю, зв'язані між собою ковалентними зв'язками.

1. Класифікація органічних сполук

Органічні сполуки поділяються на:



Класифікація органічних сполук здійснюється за кількістю атомів вуглецю, за наявністю функціональних груп, за наявністю гетероатомів, за наявністю подвійних зв'язків, за наявністю ароматичності.

Рис. 3. Вигляд лекції 1. Найважливіші теоретичні положення органічної хімії

У матеріалах курсу є перелік лабораторних робіт у вигляді окремих ресурсів (рис. 4). До кожної роботи сформульовано мету та завдання, надано методичні рекомендації з їх виконання, форму подання результатів виконаної роботи, критерії оцінювання кожної роботи, список індивідуальних завдань. Лабораторні роботи з органічної хімії виконуються експериментально в аудиторних умовах, про що зазначається при формулюванні завдання. Результат виконання лабораторної роботи студенти надсилають викладачеві в електронній формі до навчального порталу. Після перевірки та оцінювання виконаних завдань, викладач має виставити бали у відповідну оцінювану діяльність.

Лаб. 2 Вуглеводні. Одержання та вивчення властивостей метану, етилену, ацетилену.

Мета роботи: Засвоїти основні властивості вуглеводнів. Спостережити за хімічними реакціями на практиці.

Методичні рекомендації до виконання роботи:

Кількість роботи:

1. Одержання метану та вивчення його властивостей.
2. Одержання етилену.
3. Одержання ацетилену та вивчення його властивостей.
4. Одержання броміду метану.
5. Маса одержаного метану зразка вимірюється.
6. Оформити звіт про виконану роботу.

Форми подання результатів виконання роботи - письмовий звіт у робочому зошиті або одруженим доповіді.

Звіт повинен містити:

- Назву та мету роботи.
- Хімічні реакції.
- Таблицю результатів роботи.

Критерії оцінювання:

Максимальна кількість балів - 5, з них:

- Виконання лабораторної роботи - 3 бали.
- Знання теоретичного матеріалу - 1 бал.
- Оформлення роботи - 1 бал.

Лаб. 2. Вуглеводні. Одержання та вивчення властивостей метану, етилену, ацетилену. 17 вересня 2020, 20:12

Результат оцінювання

Рис. 4. Вигляд лабораторної роботи № 2 Вуглеводні. Одержання та вивчення властивостей метану, етилену, ацетилену

З метою самоперевірки та перевірки студентам пропонується пройти тест по темі. Цей модуль надає викладачу можливість розробляти тести, які можуть містити питання різних типів, у тому числі множинного вибору, на відповідність з короткою або числовою відповідями.

Викладач може дозволити одну або декілька спроб проходження тесту, питання можуть вибиратися випадковим чином з банку питань. Також може встановлюватися обмеження часу на проходження тесту. Кожна спроба оцінюється автоматично, із записом у журналі оцінок. Студентам надається інформація про час відведений на тест, максимальну оцінку і кількість спроб, яка допускається (рис. 5). По закінченню проходження тестування висвічується вікно з результатами для студента. Якщо студент не пройшов тест на мінімально дозволenu кількість балів, йому пропонується пройти тест для ще раз після перегляду теоретичного матеріалу.

Вибрати відповідь	Відповідь
CH ₄	метан
C ₂ H ₄	етилен
C ₂ H ₂	ацетилен
CH ₃ Br	бромід метану
C ₂ H ₅ Br	бромід етану
C ₂ H ₅ Cl	хлорид етану
C ₂ H ₅ OH	етанол
C ₂ H ₅ NH ₂	етанамін
C ₂ H ₅ SH	етанотиол
C ₂ H ₅ SOH	етанотиол

Рис. 5. Вигляд тесту першого змістовного модуля. Найважливіші теоретичні положення органічної хімії

Вуглеводні аліфатичного та карбоциклічного ряду

Самостійна робота є важливою ланкою при засвоєнні матеріалу. В електронному навчальному курсі розміщено завдання для самостійного виконання. Завдання складаються з тестів до лекцій. Тести можуть бути з одним чи декількома варіантами відповіді, відкриті або на відповідність. При перевірці завдання викладач може залишити текстові відгуки.

У кінці курсу дистанційного навчання передбачається контролюючий блок з підсумковою атестацією з органічної хімії, яка складається з десяти тестових завдань різних модулів, обраних програмою в випадковому порядку, та двох теоретичних питань з різних тематичних розділів. Підсумкова атестація може бути використана при проведенні іспиту з дисципліни при дистанційному навчанні.

Висновки

Створений електронний курс з дисципліни постійно розвивається і орієнтований на потреби студентів з можливостями модифікації подання матеріалу в міру необхідності. Курс з органічної хімії для дистанційного навчання активізує самостійну роботу студентів, дозволяє проводити самоконтроль та контроль одержаних знань.

Література

1. Положення про дистанційне навчання [Електронний ресурс] : затверджено наказом Міністерства освіти і науки України 21.01.2004 № 40. – Режим доступу : <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/z0703-13#n18>
2. Морзе Н.В. Методика створення електронного навчального курсу (на базі платформи дистанційного навчання Moodle 3) : навчальний посібник / Н.В. Морзе, О.Г. Глазунова, М.В. Мокрієв. – К.,

2016. – 240 с.

3. Бухтіяров В.К., Ковшун Л.О. Органічна хімія : підручник / Бухтіяров В.К., Ковшун Л.О. – К. : НУБіП України, 2017. – 410 с.

4. Кротенко В.В. Практикум з органічної хімії / Кротенко В.В., Ковшун Л.О. – К. : НУБіП України, 2016. – 240 с.

References

1. Polozhennia pro dystantsiine navchannia [Elektronnyi resurs] : zatverdzheno nakazom Ministerstva osvity i nauky Ukrainy 21.01.2004 № 40. – Rezhym dostupu : <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/z0703-13#n18>

2. Morze N.V. Metodyka stvorennia elektronnoho navchalnoho kursu (na bazi platformy dystantsiinoho navchannia Moodle 3) : navchalnyi posibnyk / N.V. Morze, O.H. Hlazunova, M.V. Mokriiev. – K., 2016. – 240 s.

3. Bukhtiarov V.K., Kovshun L.O. Orhanichna khimiia : pidruchnyk / Bukhtiarov V.K., Kovshun L.O. – K. : NUBiP Ukrainy, 2017. – 410 s.

4. Krotenko V.V. Praktykum z orhanichnoi khimii / Krotenko V.V., Kovshun L.O. – K. : NUBiP Ukrainy, 2016. – 240 s.

МАШИНОБУДУВАННЯ, МЕХАНІКА ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

DOI 10.31891/2307-5732-2021-299-4-72-76

УДК 629;343.98

А.Л. ГАНЗЮК

Хмельницький НДЕКЦ

А.І. ГОРДЕЄВ

ORCID ID: 0000-0003-4494-4348

Хмельницький НДЕКЦ

О.В. КРАВЧУК

Хмельницький НДЕКЦ

А.С. ОЛІЙНИК

Хмельницький НДЕКЦ

**ЗАСТОСУВАННЯ СПЕЦІАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ФОТОФІКСАЦІЇ
СЛІДОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ ТРАСОЛОГІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ**

Криміналістична техніка розвивається в трьох основних напрямках: оперативно-слідча, науково-дослідна, профілактична. Найскладнішим напрямом є розвиток науково-дослідної техніки, яка застосовується в основному в лабораторних умовах висококваліфікованими фахівцями. Проаналізовано технічне обладнання для отримання криміналістичної фотографії при проведенні експертних досліджень. Запропонована конструкція обладнання для фото-фіксації слідової інформації трасологічного походження. Приведено схему загальної конструкції та вигляд основних вузлів обладнання. Наведено результати досліджень дактилоскопічної плівки при штучному навкісному освітленні із використанням пристрою для фіксації слідів трасологічного походження.

Ключові слова: спеціальне обладнання, фото-фіксація, слідова інформація, експертні дослідження.

A.L. GANZYUK, A.I. HORDEYEV, O.V. KRAVCHUK, A.S. OILYNIK

Khmelnyskyi NDEKTS

**APPLICATION OF SPECIAL EQUIPMENT FOR PHOTOFIXATION
OF TRACE INFORMATION OF TRACOLOGICAL ORIGIN**

Forensic technology is developing in three main areas: operational and investigative, research, preventive. The most difficult area is the development of research equipment, which is used mainly in the laboratory by highly qualified specialists. Forensic photography is a system of special methods, techniques and tools used to obtain new facts during forensic examinations. The technical equipment for obtaining a forensic photograph when establishing the true circumstances of a criminal case and conducting expert research is analyzed. Employees of the Department of Forensic Research of the Khmelnytskyi NDEKTS of the Ministry of Internal Affairs proposed the design of equipment for photo-fixation of trace information of trasological origin during forensic expert research. The scheme of the general design and a kind of the basic knots of the equipment is resulted. The results of researches of a dactyloscopic film at artificial oblique illumination with use of the device for fixing of traces of a trasological origin are resulted. As shown by research on photo-fixation of trace information of tracing origin, the proposed design of the equipment provides the ability to obtain high-quality digital images of the entire surface of the object for further analysis by an expert.

Key words: special equipment, photo-fixation, trace information, expert researches.

Вступ

Науково-технічні засоби криміналістики – це прилади, пристосування та матеріали, які використовуються для збирання і дослідження доказів або створення умов, що ускладнюють вчинення злочинів. Такі засоби можуть бути поділені на кілька груп: взяті без змін із різних технічних і природничо-технічних наук; спеціально пристосовані для криміналістичних цілей; спеціально розроблені для цілей криміналістики.

Основними формами застосування криміналістичної техніки є: використання науково-технічних засобів оперативними працівниками при проведенні оперативно-розшукових заходів; застосування науково-технічних засобів слідчими при проведенні слідчих дій; використання науково-технічних засобів спеціалістами та експертами під час відповідних досліджень; застосування науково-технічних засобів учасниками судового розгляду.

Криміналістична техніка розвивається в трьох основних напрямках: оперативно-слідча, науково-дослідна, профілактична. Кожний з напрямів передбачає розроблення не тільки відповідних приладів, пристосувань, інструментів, матеріалів, а й найефективніших прийомів, методів використання науково-технічних засобів.

Найскладнішим напрямом є розвиток науково-дослідної техніки, яка застосовується в основному в лабораторних умовах висококваліфікованими фахівцями. До науково-дослідної техніки належать різноманітне обладнання та апаратура, які дають змогу здійснювати дослідження в рентгенівських променях, застосовувати радіоактивні ізотопи, проводити люмінесцентний чи спектральний аналіз тощо.

На даний час система криміналістичної техніки складається з таких основних галузей: судова фотографія; судова кінематографія і відеозапис; трасологія; судова балістика; криміналістичне дослідження

письма; техніко-криміналістичне дослідження документів; ідентифікація особи за ознаками зовнішності; кримінальна реєстрація.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питаннями криміналістичної фотографії та відеозапису займаються провідні вчені криміналісти: Бірюков В.В., Біленчук П.Д., Кофанов А.В., Кобилянський О.Л., Терешкевич А.І., Скільська Л.Д., Ларін С.Л., Салтєвський М.В., Одерій О.В., Довгий Л.М., Хільченко С.В.

Судово-дослідницька фотографія – це система спеціальних методів, прийомів і засобів, що застосовуються для одержання нових фактів при провадженні судових експертиз. Дослідження з використанням засобів і методів судової фотографії передбачає виявлення слабо видимих або зовсім невидимих за звичайних умов ознак, подібності або різниці між ними. Судово-дослідницьку фотографію іноді називають експертною через те, що її методи і засоби застосовують експерти під час своїх досліджень. Об'єктами судово-дослідницької фотографії є речові докази, які піддаються експертному дослідженню, порівняльні зразки та матеріали, що використовуються під час експертизи. Така фотографія здійснюється за особливих умов освітлення, проведенням зйомки в невидимих променях, зйомкою люмінесценції, посиленням контрастів із використанням розрізнення кольорів, методом мікрофотографії тощо.

Трасологічна експертиза проводиться з метою ідентифікації різних об'єктів за ознаками зовнішньої будови, що відобразились на місці події, а також для діагностики різних обставин, які пов'язані з розслідуванням: напрямку руху, час виникнення слідів, спосіб і послідовність взаємодії об'єктів, відображення зовнішньої будови взаємодіючих об'єктів тощо. Дані експертизи призначаються для вирішення широкого кола завдань ідентифікаційного і не ідентифікаційного характеру.

При розслідуванні кримінальних справ, проведенні судового слідства, розгляді цивільних і господарських справ для з'ясування різних обставин можуть ефективно використовуватися різноманітні сліди. Своєчасне виявлення, належна фіксація і кваліфіковане дослідження таких слідів дозволяє одержати важливу доказову інформацію про подію, причетних до неї осіб, застосовані знаряддя, способи і послідовність здійснення певних дій тощо [1].

Об'єктами судово-трассологічної експертизи є матеріальні сліди (рук, ніг, взуття, шин, знарядь та інструментів тощо), серед яких вирізняються об'єкти-носії слідів (слідосприймаючі об'єкти), об'єкти, що утворили сліди (слідоутворюючі об'єкти), об'єкти-зразки.

Основними видами трассологічної експертизи є дослідження: слідів людини; слідів тварини; знарядь, інструментів, механізмів, агрегатів і утворених ними слідів; щодо встановлення цілого за окремими частинами; вузлів і петель; транспортних засобів і утворених ними слідів.

Відомі пристрої для фото-фіксації, а саме: фотограмметричний пристрій [2], що містить підставку з підйомними гвинтами, фотографічну камеру з можливістю нахилу у вертикальній площині та встановленим рівнем, яка з'єднана з теодолітом, а фотографічна камера є цифровою і розміщена у футлярі; установка «Уларус» [3] для фотографування слідів рук, що містить корпус на якому розташовано столик для встановлення предмету фотографування, кронштейн з коловим освітлювачем, фотоапарат який встановлено на кронштейні. До вад відомих пристроїв відноситься те, що немає можливості проводити макрофотографування сліду підошви взуття на прозорій або темній полімерній плівці із позбавленням виникання відблисків від нерівностей плівки.

Мета дослідження

Метою цієї роботи є ознайомлення широкого кола експертів з набутками у проектуванні інноваційної криміналістичної техніки для фотофіксації, що розроблена колективом авторів, та розглядом можливостей розвитку напрямів застосування та впровадження інноваційного вітчизняного інструментарію для проведення експертних досліджень.

Виклад основного матеріалу

При проведенні трассологічних експертиз використовується широкий спектр методів і апаратно-технічних засобів. Перевагою таких експертиз є те, що дані методи і засоби дозволяють проводити в основному неруйнівні дослідження об'єктів. Це досягається за рахунок застосування візуальних, мікроскопічних, фотографічних, магнітооптичних та інших методів. У трассології також широко застосовуються методи моделювання і реконструкції. Система методів трассологічної експертизи дозволяє встановлювати фактичні дані, що відносяться як до об'єктів, у результаті взаємодії яких утворилися сліди, так і до механізму утворення окремих слідів і комплексів слідів, взаємозв'язок між слідами, вплив на слідоутворення обстановки місця події і на цій основі одержувати інформацію про характер і способи дій осіб.

Можливості трассологічної експертизи, її видів і підвидів відображаються у переліку питань (задач), що можуть бути вирішені з використанням відповідних методик і апаратно-технічних засобів.

Незначні розміри чи нечіткість виявлених слідів не повинні розглядатися як підстави для відмови від їх вилучення і направлення на лабораторне дослідження. У слідах невеликих розмірів можуть відобразитися ознаки, достатні для ідентифікації слідоутворюючого об'єкта. Ознаки слідоутворюючого об'єкта можуть бути більш повно виявлені в лабораторних умовах при застосуванні спеціальних методів фотозйомки або за рахунок додаткової обробки. Наприклад, нечіткі або слабо виражені сліди деталей транспортних засобів на одязі можуть бути сфотографовані з достатнім контрастом при використанні ультрафіолетових, інфрачервоних променів чи спеціальних світлофільтрів.

У нечітко виражених слідах можуть міститися мікрокількості речовини слідоутворюючого об'єкта, які взагалі візуально непомітні (сліди металізації тощо). Варто також враховувати, що в нечітких слідах завжди відображаються ознаки механізму взаємодії, які несуть важливу інформацію ситуаційного характеру (наприклад, про напрямок переміщень знярядь зламу тощо).

При проведенні ідентифікаційних судово-трасологічних експертиз досліджуються ознаки зовнішньої будови слідів, що відобразилися на слідосприймаючих об'єктах, з урахуванням їхнього взаємного розташування, механізму утворення тощо. У разі необхідності проводяться відповідні експерименти.

За слідами-відображеннями можуть бути ототожнені будь-які предмети матеріального світу, які мають відносно сталу структуру, в тому числі, що варто особливо зазначити, й вироби масового виробництва (взуття фабричного виготовлення, шини й скло розсіювачів фар транспорту, кабельна продукція, гудзики, цвяхи, пляшки тощо).

Співробітниками відділу криміналістичних досліджень Хмельницького НДЕКЦ МВС запропонована конструкція обладнання для фотофіксації слідової інформації трасологічного походження при проведенні криміналістичних експертних досліджень.

Забезпечення отримання якісного зображення фотографії сліду підшви взуття на прозорій або темній полімерній плівці і позбавлення виникнення відблисків від нерівностей плівки із застосуванням розсіюваного освітлення є актуальним технічним завданням. Завдання вирішується тим, що обладнання для фотофіксації слідової інформації трасологічного походження містить корпус, закритий кришкою з отвором та панелями зсередини покритими матовою фарбою, у якому є можливість розташовувати на опорах пластину із скла з матовою поверхнею або пластину із скла з темним фоном, на корпусі встановлена стійка з регульованим кронштейном та регульована штанга, на якій кріпиться цифровий фотоапарат [4].

Технічний результат застосування запропонованого обладнання полягає в отриманні якісного цифрового зображення по всій поверхні об'єкту слідової інформації трасологічного походження завдяки застосуванню розсіюваного освітлення, що позбавляє виникнення відблисків від нерівностей плівки.

Конструкція обладнання для фотофіксації слідової інформації трасологічного походження пояснюється кресленнями, на яких зображено: на рис. 1 – головний вид обладнання; на рис. 2 – проєкція вигляду обладнання з перетином за А-А.

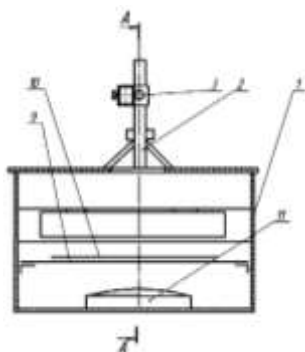


Рис. 1. Головний вид обладнання

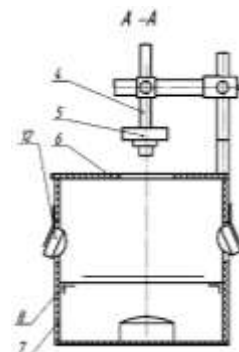


Рис. 2. Вигляд обладнання з перетином за А-А

Обладнання для фото-фіксації слідової інформації трасологічного походження (рис. 1 - рис. 2) містить корпус 1, на якому встановлена стійка 2 з регульованим кронштейном 3 та регульованою штангою 4, на якій кріпиться цифровий фотоапарат 5. Корпус 1 закритий кришкою 6 з отвором та панелями 7, зсередини покритими матовою фарбою, у якому розташовано на опорах 8 пластину із скла 9, на яку встановлюється об'єкт дослідження – полімерна плівка 10 із слідом підшви взуття. У корпусі 1 на дні встановлено лампу 11, а на стінках корпуса 1 у прорізах над пластиною із скла 8 розташовано дві лампи 12 (рис. 2).

Працює обладнання наступним чином: в залежності від виду об'єкту 10, який підлягає фотографуванню, а саме слідової інформації отриманої на прозорій або на темній плівці, встановлюється відповідно пластина 9 із матового скла або пластина з непрозорого темного скла. Корпус 1 закривається кришкою 6 з отвором. Фотоапарат 5 встановлюється на штангу 4 і фіксується. За допомогою кронштейна 3 і регулюванням його відносно стійки 2 та закріпленням фіксаторами встановлюється необхідне положення і відстань до об'єкта 10. На рис. 3 представлено фотографію вузла кріплення фотоапарату та на рис. 4 показано загальний вигляд робочого зразка обладнання.



Рис. 3. Вузол кріплення та переміщення цифрового фотоапарату



Рис. 4. Загальний вигляд обладнання

В залежності від виду об'єкта 10 (темна плівка) включається лампа 11 або (прозора плівка) включаються лампи 12. Конструкція пристрою забезпечує паралельність площини об'єкта 10 до горизонтальної осі фотоапарату 5.

Проводиться фотографування об'єкта 10 та потім електронний файл переноситься на персональний комп'ютер. Завдяки панелями, з внутрішньої частини покритими матовою фарбою та розташуванню ламп, отримується розсіяне освітлення об'єкту, що фотографується, та відсутність виникнення відблисків на поверхні об'єкту.

При практичному застосуванні запропонованого обладнання отримані наступні результати. При дослідженні дактилоскопічної плівки при звичайному освітленні отримали її вигляд, показаний на рис. 5.



Рис. 5. Фотографія вигляду дактилоскопічної плівки, що була виявлена в упаковці при звичайному освітленні

При дослідженні дактилоскопічної плівки при штучному навкісному освітленні із використанням пристрою для фіксації слідів трасологічного походження, на її слідокопіювальній поверхні виявлено один статичний слід нашарування низу підшви взуття, утворений речовиною сірого та коричневого кольорів (рис. 6).



Рис. 6. Фотографія вигляду сліду на дактилоскопічній плівці (в дзеркальному вигляді) при штучному навкісному освітленні у запропонованому обладнанні

Висновки. Криміналістична фотозйомка служить одним з ефективних засобів і методів наочної фіксації експертних досліджень і результатів. Вона є надійним засобом і методом наочної зйомки слідів злочину, окремих предметів та інших матеріальних об'єктів, що мають значення для справи, а також дослідження деяких речових доказів, і тим самим сприяє вирішенню завдання об'єктивізації доказування.

Як показали дослідження по фотофіксації слідової інформації трасологічного походження, запропонована конструкція обладнання [4] забезпечує можливість отримання якісного цифрового зображення всієї поверхні об'єкта для подальшого його аналізу експертом.

Література

1. Інструкція з організації функціонування криміналістичних обліків експертної служби МВС : затверджена наказом МВС України від 10.09.2009 № 390, зареєстрована в Міністерстві юстиції України 15.10.2009 № 963/16979.
2. Пат. 10215 Україна, МПК: G01C 11/00. Фотограмметричний пристрій / А .Ф. Данкевич, С. Д.

Крячок, Л. І. Ліщитович ; заявник та володар патенту Національний авіаційний університет. – № u200502188 ; заяв. 10.02.2005р. ; Опубл. 15.11.2005. Бюл. № 11.

3. Дубовой О.П. Криміналістичне дослідження слідів рук : науково-практичний посібник / О.П. Дубовой, В. Я. Лукашенко, Я. В. Рибалко та ін. ; за редакцією Я. Ю. Кондратьєва. – К. : Атіка, 2000. – 152 с.

4. Пат. 129470 Україна, МПК: G06T 7/00. Пристрій для фото-фіксації слідової інформації трасологічного походження / О. А. Гордєєв, А. С. Олійник. – № u201806254 ; заяв. 04.06.2018 р. ; Опубл. 25.10.2018. Бюл. № 20.

References

1. Instruction on the organization of the functioning of forensic records of the expert service of the Ministry of Internal Affairs, approved by the order of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine dated 10.09.2009 № 390, registered in the Ministry of Justice of Ukraine 15.10.2009 № 963/16979.

2. Pat. 10215 Ukraine, IPC: G01C 11/00. Photogrammetric device / A.F. Dankevich, S.D. Kryachok, L.I. Lishchitovich. Applicant and patent holder National Aviation University. - № u200502188; application. February 10, 2005; Published on November 15, 2005. Bull. №11.

3. Dubovoyi O.P. Forensic examination of handprints: Scientific and practical manual / O. P. Dubovoyi, V. Ya. Lukashenko, Ya. V. Rybalko and others. Edited by Ya. Yu. Kondratiev. K. : Atika, 2000.–152 p.

4. Pat. 129470 Ukraine, IPC: G06T 7/00. Device for photo-fixation of trace information of trasological origin / O.A. Gordeev, A.S. Oliynyk. - № u201806254; application. 04.06.2018; Publ. 25.10.2018. Bull. №20.

А.Р. СТАРИЙ

Хмельницький національний університет

А.І. ГОРДЕЄВ

ORCID ID: 0000-0003-4494-4348

Хмельницький національний університет

АНАЛІЗ АНАЛІТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ВІБРАЦІЙНОГО ПРИВОДУ МАШИНИ ДЛЯ МИЙКИ І ОЧИСТКИ ПУЛЬСУЮЧИМ СТРУМЕНЕМ РІДИНИ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ ЙОГО РОБОТИ

Запропоновано дві аналітичні моделі для опису роботи робочого органу вібраційної машини – камери пульсації з насадком для створення пульсуючого струменя рідини. Головним фактором у процесі мийки та очищення забруднень виступає швидкість струменя або максимальний його тиск при взаємодії із забрудненням та сили тертя потоку при розтіканні по поверхні, що очищується. Проведено експериментальні дослідження впливу частоти коливань приводу на зміну максимального тиску пульсуючого струменя на зрізі сопла за допомогою датчика динамічного тиску та апаратурою для реєстрації. З аналізу результатів отриманих з аналітичних моделей та експериментальним шляхом, які представлені на порівняльному графіку, встановлені коефіцієнти корегування аналітичних моделей, які будувалися з певними припущеннями та складністю достатньо коректно аналітично описати кавітаційні процеси у камері пульсації вібраційної машини. Результатом проведених експериментальних досліджень є рекомендації по виборі частотного діапазону роботи приводу машини, який знаходиться від 14 до 16 Гц при діаметрі камери пульсації 0,1 м, діаметрі насадка 0,01 м та амплітуді коливань приводу 0,002 м.

Ключові слова: очистка, мийка забруднень, вібраційна машина, максимальний тиск струменя, експериментальні дослідження режимів роботи вібраційного приводу.

A.R. STARIY, A.I. HORDEYEV

Khmelnitskyi National University

ANALYSIS OF ANALYTICAL MODELS OF VIBRATION DRIVE OF THE MACHINE FOR WASHING AND CLEANING BY PULSATING STREAM OF LIQUID AND EXPERIMENTAL RESEARCH OPERATING MODES

Two analytical models are proposed to describe the operation of the working body of the vibrating machine - a pulsation chamber with a nozzle to create a pulsating jet of liquid. The analysis of analytical models which describe change of parameters of a pulsating stream in a nozzle of a working body of the vibrating car for washing and cleaning of parameters of work of its drive and constructive dependences is carried out. The main factor in the process of washing and cleaning of contaminants is the speed of the jet or its maximum pressure when interacting with the contamination and the friction force of the flow when spreading on the surface to be cleaned. Experimental studies of the influence of the frequency of oscillations of the drive on the change of the maximum pressure of the pulsating jet at the nozzle section at certain design parameters using a sensor with recording equipment. As a result of experimental studies, it was found that the use of a diaphragm check valve, which connects the pulsation chamber with the bath for washing and cleaning, allows to increase the maximum pressure of the immersed pulsating fluid jet by reducing the volume of cavitation bubbles in the pulsation chamber liquid. This in turn allows you to increase the maximum pressure of the liquid jet from the nozzle. From the analysis of the results obtained from analytical models and experimentally presented on the comparative graph, the adjustment coefficients of analytical models are established, which were built with certain assumptions and complexity. The result of the experimental research is the recommendations for choosing the frequency range of the machine drive, which is from 14 to 16 Hz with a pulsation chamber diameter of 0.1 m, a nozzle diameter of 0.01 m and amplitude of oscillations of the drive of 0.002 m.

Keywords: cleaning, washing of pollution, vibrating machine, maximum jet pressure, experimental researches of operating modes of the vibrating drive.

Вступ

На поверхні деталей і складальних вузлів в процесі їх виготовлення, експлуатації машин і устаткування утворюються технологічні та виробничі забруднення. При технічному обслуговуванні та ремонті виникає необхідність очищення та мийки деталей при їх збиранні у вузли. Якісне очищення об'єктів від забруднень досягається комплексним фізико-хімічним і механічним впливом на нього, перше – забезпечується використанням хімічних речовин, що впливають на забруднення, друге – використанням механічної енергії впливу на забруднення (скребки, щітки, струмені рідини, струмені абразиву). Частка спеціального обладнання, яке виготовляється для миття та очищення деталей досить висока але в умовах дрібносерійного виробництва для ремонту устаткування придбання вартісного обладнання стає недоцільно. Тому виникає потреба розроблення простих за конструкцією та недорогих машин для миття та очищення деталей різноманітних по конструкції конкретного класу з певною конфігурацією.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питаннями теорії та практики очистки і мийки деталей при виготовленні та ремонті займалися багато вчених дослідників, а саме: Ю.С. Козлов, А.А. Куликов, А.П. Садовський, М.Ф. Тельнов, Р. І. Сілін та ін. [1–4] але поява нових технологічних процесів виготовлення деталей, нових вимог до якості ремонту різноманітних об'єктів техніки призводить до пошуку нових технологій і методів та створення нових конструкцій установок для очистки та мийки деталей об'єктів, особливо дрібносерійному та одиничному типах виробництва при виготовленні деталей і ремонту обладнання. Якісне очищення об'єктів досягається за

рахунок комплексної взаємодії фізико-хімічного та механічного впливу миючого струменя на забруднення. Останнім часом зростання ефективності очищення машин при використанні технологій струминного очищення досягається за рахунок збільшення кінетичної енергії струменя шляхом підвищення тиску подачі миючої рідини. З метою очистки конкретного забруднення розробляються технології очистки, які здійснюють зрив забруднюючого матеріалу під дією додаткових напружень, створених на поверхні, що очищається, потоком миючої рідини та кавітаційними пухирцями і за допомогою частинок полімерної крихти або металевих кульок. Для мийки забруднень перспективним є застосування вібраційних приводів в машинах та явище кавітації, яке має значну руйнівну енергією, а газові пухирці, що не сплеснулись, збільшують силу тертя газорідного потоку на поверхні деталей із забрудненням [5].

Відомі способи та конструкції машин та пристроїв з вібраційним приводом для очистки та мийки деталей і вузлів від забруднень різних по природі, які виникають при виробництві або ремонті обладнання та техніки [6, 7]. Відома кавітаційна форсунка [8, 9] (рис. 1,а) для мийки, яка дозволяє отримувати струмінь із кавітаційними пухирцями при витіканні з камери Лавалю при значних швидкостях та тисках рідини (рис. 1,б).

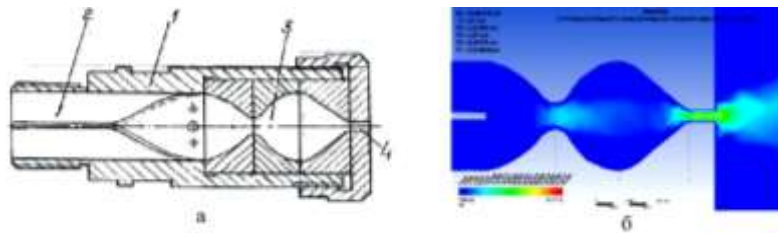


Рис. 1. Схема кавітаційної форсунки та розподіл потоку миючої рідини: (а) 1 – корпус; 2 – камера закрутки струменя; 3 – камера Лавалю; 4 – сопло; (б) – оцінка кавітаційного поля миючої рідини з насадка

При проведенні експериментальних досліджень [4] по візуалізації процесу коливання рідини у робочому органі вібраційної машини було встановлено, що при певних режимах роботи вібраційної машини виникає пульсуючий струмінь з насадка із включенням кавітаційних пухирців (рис. 2). Авторами таке явище було запропоновано для застосування у вібраційній машині для процесу мийки забруднень.

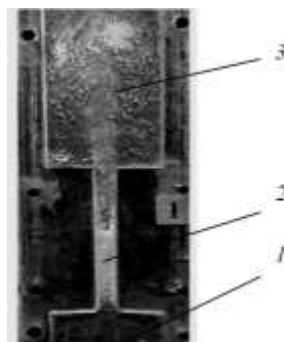


Рис. 2. Фотографія прозорого стенду та процесу отримання пульсуючого струменя з включенням кавітаційних пухирців: 1 – камера пульсації; 2 – насадок; 3 – пульсуючий струмінь із кавітаційними пухирцями

Проведений аналіз руху двофазного потоку рідини з кавітаційними пухирцями [5], при розтіканні його по поверхні деталі із забрудненням показав, що виникає турбулентний режим руху рідини з частинками, який розтікається повздовж поверхні із забрудненням, відбувається енергійне хаотичне перемішування рідини та збільшуються дотичні напруження тертя зануреного потоку рідини. В загальному випадку осереднений турбулентний потік одночасно має молекулярну й турбулентну в'язкість. Тому повне сумарне дотичне напруження тертя потоку рідини на поверхні із забрудненням без включень визначається за формулою:

$$\tau = (\mu + A) \frac{d\bar{u}}{dy}, \quad (1)$$

де μ – динамічний коефіцієнт в'язкості несучої фази; A – коефіцієнт пропорційності, що називається динамічним коефіцієнтом турбулентного обміну; $\frac{d\bar{u}}{dy}$ – градієнт швидкості.

Для двофазних середовищ (рідини з включеннями газових пухирців або твердих частинок) широке розповсюдження має поправка Ейнштейна до динамічного коефіцієнта несучої фази.

Врахувавши її, тоді узагальнений динамічний коефіцієнт несучої фази можна виразити через відповідні коефіцієнти: μ – для чистої несучої фази; μ^* – для домішок твердих частинок із сферичною

формою.

Тоді динамічний коефіцієнт в'язкості несучої фази прийме вигляд:

$$\mu^* = \mu \left(1 + \frac{5}{2} \alpha \right), \quad (2)$$

де α – об'ємна доля домішок твердих частинок.

З урахуванням (2) дотичні напруження тертя турбулентного потоку несучої фази з включеннями твердих частинок можна представити наступним виразом:

$$\tau = \left[\mu \left(1 + \frac{5}{2} \alpha \right) + A \right] \frac{d\bar{u}}{dy}. \quad (3)$$

З аналізу (3) витікає, що дотичні напруження тертя турбулентного потоку несучої фази з включеннями твердих частинок значно більше і залежать від об'ємної долі домішок твердих частинок, наприклад, полістиролової крихти (ПС) або металевих кульок. Окрім збільшення дотичних напружень між потоком рідини та забрудненням можливий процес вдавлювання твердої частки у забруднення, а потім ініціювання процесу зрушення елемента забруднення завдяки наявності гострих крайок на ПС при подальшому розтіканню потоку по поверхні.

Створення вібраційного обладнання з пульсуючим робочим тілом на основі гідропульсатора, у якому робоче тіло виступає як інструмент, стримується недостатністю експериментальних досліджень в цій області.

Актуальність дослідження

Створення нових конструкцій вібраційних машин для мийки та очистки від забруднень, побудова їх аналітичних моделей з метою отримання розрахункових залежностей та методики розрахунку вібраційного приводу машин для очищення та миття деталей машин є актуальним науково-технічним завданням.

Виклад основного матеріалу

Режими очистки та мийки поверхні деталі потоком миючої рідини (оптимальну технологію) визначають, виходячи з аналізу гідродинамічної взаємодії миючої рідини з частинками та існуючого забруднення на деталях, а також на підставі аналізу результатів експериментальних досліджень. Не применшуючи при цьому значення фізико-хімічних факторів, обумовлених активністю миючого середовища, вважається, що процес механічного впливу рідини на забруднення є однією з основних умов, що визначає ефективність очистки та мийки. Процес очистки та мийки поверхні виробу потоком рідини з твердими частинками можна розділити на наступні, зв'язані між собою, елементарні процеси: формування пульсуючого струменя рідини з твердими частинками, подача потоку рідини до поверхні, що очищується, відрив частинок забруднень та їх змивання з поверхні, що очищається, зависання забруднень у потоці рідини, транспортування забруднень до фільтруючого пристрою.

Розглянемо мийку та очистку, як окремі процеси, з погляду на особливості механічної дії потоку миючої рідини на забруднення поверхонь. В процесі мийки в основному проходить зрив частинок забруднення потоком миючої рідини завдяки силам тертя та підвищеного ступеня турбулентності потоку. При очистці забруднень, при механічному впливі на забруднення, додатково починають діяти інерційні сили твердих частинок, які створюють процеси мікрорізання та збільшують нормальні та дотичні напруження в шарі забруднення.

Як відомо [1–4] найбільша продуктивність процесу мийки характеризується максимальним значенням тиску зануреного пульсуючого струменя (або швидкості) на поверхні яка промивається, ступенем його турбулізації, а продуктивність процесу очистки залежить, як від максимального тиску пульсуючого струменя, так і від кількості та масової характеристики частинок, що взаємодіють із забрудненням.

Запропонована конструкція вібраційної машини [10], що містить ванну для очищення забруднень пульсуючим потоком твердих частинок та ванну для мийки пульсуючим струменем кавітаційних пухирців. Створення пульсуючого струменя в обох ваннах отримується за допомогою коливання мембрани з дисками у камері пульсації з насадком при роботі вібраційного приводу машини.

Основними завданнями аналітичних та експериментальних досліджень було: визначення залежності максимального тиску зануреного пульсуючого струменя рідини з насадка від режимів роботи приводу, а саме від частоти та амплітуди коливань, взаємозв'язку конструктивних параметрів вібраційної машини та співвідношення діаметра насадка до діаметра камери пульсації. Для побудови аналітичної моделі розроблено схему робочого органу вібраційної машини для мийки від забруднень поверхонь деталей машин пульсуючим зануреним потоком рідини з кавітаційними пухирцями, яка показана на схемі рис. 3.

Як показано на рис. 2 при імпульсному витіканні рідини з насадка при певних умовах утворюються кавітаційні пухирці, які не сплеснулися та у струмені рідини вони попадають на поверхню, котра промивається та збільшують нормальні та дотичні напруження у шарі забруднення, що сприяє покращення умов процесу та підвищує продуктивність мийки забруднень.

Розглянемо основні етапи роботи робочого органу вібраційної машини (рис. 3). При руху мембрани з дисками уверх 6 створюється максимальний тиск у камері пульсації 7. Пульсуючий потік зануреної рідини з насадка 8 створюється за рахунок руху мембрани з дисками 6, які приєднано штоком до віброприводу 4. При ході мембрани з дисками 3 униз рідина 9 втягується у камеру пульсації 7. При ході мембрани з дисками

Зверху рідина 9 виштовхується з насадка 4, у якому виникає кавітаційна кільцева порожнина заповнена кавітаційними пухирцями. При певних режимах роботи приводу ця порожнина руйнується та пухирці викидаються у пульсуючому струмені рідини на поверхню 10, що промивається.

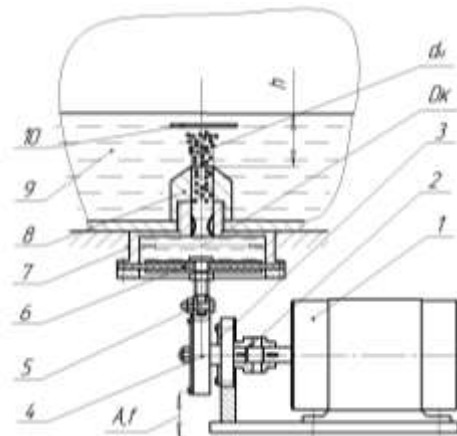


Рис. 3. Схема моделі робочого органу вібраційної машини для мийки забруднень потоком пульсуючим струменем рідини з кавітаційними пухирцями: 1 – електродвигун постійного струму; 2 – муфта; 3 – стійка; 4 – обойма ексцентрика з підшипником; 5 – вісь; 6 – пружна мембрана з дисками; 7 – камера пульсації; 8 – насадок; 9 – рідина; 10 – поверхня, що промивається

Тиск рідини, який створюється у камері пульсації, витрачається на утворення натиску пульсуючого вертикального зануреного струменя рідини з урахування глибини занурення насадка та визначається за залежністю:

$$\Delta P = \frac{\rho \cdot V_{\max}^2}{2} - \rho \cdot g \cdot h, \quad (4)$$

де ρ – щільність рідини (998 кг/м³); V – швидкість струменя рідини; h – глибина занурення насадка.

Розглянемо два варіанти аналітичного опису механізму утворення пульсуючого зануреного струменя рідини з насадка з певними припущеннями, які дають можливість визначити вплив конструктивних параметрів вібраційної машини та режимів її роботи на величину тиску зануреного пульсуючого струменя рідини.

Розглянемо перший варіант побудови аналітичної моделі руху ідеальної рідини зануреного пульсуючого струменя з насадка у вібраційній машині із застосуванням теорії виникнення гідроудару у камері пульсації без урахування явища виникнення кавітаційних пухирців.

При роботі приводу машини, за період коливання мембрани вгору, у рідині в камері пульсації, виникає максимальний тиск завдяки гідроудару, який визначається за формулою:

$$\Delta P = \rho \cdot V_{\max} \cdot C - \rho \cdot g \cdot h, \quad (5)$$

де ΔP – перепад натиску; ρ – щільність рідини (998 кг/м³); C – швидкість розповсюдження ударної хвилі (1350 м/с); $V_{\max} = A_n \cdot f$ – максимальна швидкість рідини у насадку.

Для зміни тиску струменя у насадку робочого органу вібраційної машини можна записати залежність:

$$\Delta P = \rho \cdot A_n \cdot f \cdot C - \rho \cdot g \cdot h, \quad (6)$$

де f – частота коливань віброприводу A_n – амплітуда коливань рідини у насадку $A_n = \frac{D_k^2 A_k}{d_n^2}$,

D_k – діаметр камери; d_n – діаметр насадка; A_k – амплітуда коливань мембрани у камері пульсації.

З урахуванням звуження потоку рідини у насадку, максимальна швидкість у ньому визначається за залежністю:

$$V_{\max} = \frac{\xi \cdot D_k^2 \cdot A_k \cdot f}{d_n^2}, \quad (7)$$

де $\xi = 0,39$ – коефіцієнт звуження потоку у насадку.

З урахуванням формули (7) перепад тиску за формулою (5) у камері пульсації робочого органу вібраційної машини можна записати наступним чином:

$$\Delta p = \rho \frac{\xi \cdot D_k^2 \cdot A \cdot f}{d_n^2} C - \rho \cdot g \cdot h. \quad (8)$$

Згідно ф.(8) проведено підстановку чисельних значень параметрів та отримано аналітичну залежність зміни величини максимального тиску від частоти коливань віброприводу (рис. 4). Виходячи з того, що у рідині присутнє розчинене повітря та газу і при роботі машини виникають кавітаційні процеси, величина реального перепаду тиску повинна бути значно менша. Тому для визначення фактичного перепаду тиску пульсуючого зануреного струменя рідини далі необхідно провести експериментальні дослідження.

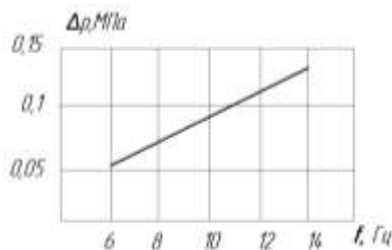


Рис. 4. Залежність гідроударного тиску від частоти коливань: $A = 0,002$ м; $D = 0,1$ м; $d = 0,01$ м

Проведемо аналіз другого варіанту аналітичної моделі, запропонованої раніше [11], руху рідини у насадку при роботі приводу вібраційної машини. Треба відмітити, що із складністю опису процесу виникнення кавітаційних пухирців у моделі, при її побудові застосовано диференційні рівняння, у яких було враховано вплив об'єму газу, розчиненого у рідині, пружні властивості двофазного середовища без виникнення гідроудару у камері пульсації. Згідно, запропонованої аналітичної моделі руху рідини у насадку при роботі приводу вібраційної машини [11] та отриманої амплітудно-частотної характеристики, побудовано графік зміни тиску пульсуючого струменя у насадку. Знаючи величину амплітуди A коливання струменя у насадку при певній частоті коливань за хід мембрани уверх (стиснення рідини у камері пульсації) можна розрахувати швидкість руху рідини у насадку за формулою:

$$V = \varphi \sqrt{2gH}, \quad (9)$$

де φ – коефіцієнт швидкості, $\varphi = 0,97$; g – прискорення сили тяжіння; H – геометричний натиск рідини, $H = A$.

Розрахункові значення зміни динамічного тиску рідини струменя у насадку від частоти знайдено за формулою (4) та побудовано графічну залежність, яка представлена на рис. 7 (крива 2).

Для визначення реального максимального тиску рідини у насадку було проведено дослідження на експериментальному стенді вібраційної машини із застосуванням датчика тиску, який був розташований над насадком у початковій ділянці струменя на відстані 20 мм. Дослідження проводились без установки зворотного клапана та із зворотним клапаном, який з'єднує порожнину камери пульсації з ванною для промивання (рис. 5). Для виконання операції очистки пульсуючим струменем із твердими частинками установка клапана в камеру пульсації дає можливість уникнути виникнення значного об'єму кавітаційних пухирців у камері пульсації при ході мембрани униз, збільшує об'єм рідини у струмені, що викидається за цикл ходу мембрани з дисками уверх і збільшує його динамічний тиск. Схема з'єднання зворотного клапана 1 з камерою пульсації 5 показана на рис. 5.

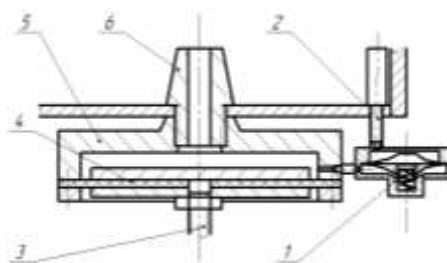


Рис. 5. Схема з'єднання зворотного клапана з камерою пульсації: 1 – зворотний клапан; 2 – трубопровід; 3 – шток вібраційного приводу; 4 – пружна мембрана з дисками; 5 – камера пульсації; 6 – насадок

Для вимірювання миттєвого значення гідродинамічного тиску затопленого пульсуючого струменя рідини з насадка застосовано тензометричний датчик тиску MPM489 (рис. 6) і USB осцилограф BM8020, який з'єднаний з персональним комп'ютером через порт USB і обслуговується програмним продуктом «DiSco».

У результаті аналізу запропонованих аналітичних моделей та результатів проведених експериментальних досліджень зміни величини максимального тиску затопленого пульсуючого струменя рідини з насадка вібраційної машини було побудовано графіки зміни максимального тиску від частоти

коливань вібраційного приводу при певних конструктивних його параметрах (рис. 7).



Рис. 6. Фотографія датчика для вимірювання миттєвого тиску пульсуючого струменя:
1 - датчик MPM489; 2 – корпус датчика, заповнений рідиною;
3 – мембрана; 4 - кришка

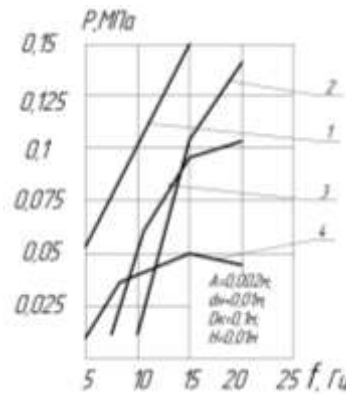


Рис. 7. Порівняльні графіки динамічного натиску рідини струменя на виході з насадки за різними моделями та експериментальними результатами: 1 – за теорією гідроудару; 2 – за моделлю руху рідини у насадку вібраційної машини; 3 – експериментальні результати із зворотним клапаном; 4 – експериментальні результати без зворотного клапану

У результаті проведеного дослідження встановлено, що першу аналітичну модель можна застосовувати для розрахунків параметрів приводу вібраційної машини для мийки з кавітаційними пухирцями. З аналізу графіків 1 та 4 рис. 7 для практичного використання у методиці розрахунку параметрів вібраційного приводу для процесу мийки струменем з кавітаційними пухирцями введено коефіцієнт корегування k зміни розрахункового тиску у формулу (5), що дасть можливість користуватися нею при проектуванні вібраційного приводу для визначення реального перепаду тиску у насадку вібраційної машини для мийки ($k = 0,38$ в межах від 10 до 14 Гц). Тоді розрахункова залежність (8) для практичного використання у методиці розрахунку параметрів вібраційного приводу для мийки приймає вигляд:

$$\Delta P = k \cdot \rho \cdot \frac{\xi \cdot D_k^2 \cdot A \cdot f}{d_n^2} C - \rho \cdot g \cdot h. \quad (10)$$

Для практичного використання у методиці розрахунку параметрів вібраційного приводу для процесу очистки струменем з твердими частинками із застосуванням зворотного клапана більше підходить аналітична модель [11], у якій зміна тиску пульсуючого струменя визначається за допомогою його амплітудно-частотної характеристики. З аналізу графіків 2 та 3 рис. 7 значення коефіцієнта корегування k_1 зміни дійсного тиску пульсуючого струменя рідини визначено, як $k_1 = 1,5$ в межах від 14 до 18 Гц. Тоді розрахункова залежність (1) для практичного використання у методиці розрахунку параметрів вібраційного приводу для очистки приймає вигляд:

$$\Delta P = k_1 \cdot \frac{\rho \cdot V_{\max}^2}{2} - \rho \cdot g \cdot h. \quad (11)$$

Проведений аналіз, запропонованих аналітичних моделей показав, що при проектуванні вібраційних машин для мийки та очищення від забруднень та вибору їх конструктивних параметрів, визначення режимів роботи приводу застосовувати їх можливо із коефіцієнтами коригування, які отримані експериментально, тому що дуже складно аналітично описати процес зародження кавітаційної порожнини у камері пульсації приводу вібраційної машини. Застосування аналітичних моделей для визначення максимального перепаду тиску можливо при попередніх розрахунках, а остаточні значення параметрів необхідно визначати при налагоджуванні вібраційного приводу шляхом корегування частоти або амплітуди в рекомендованих межах.

Висновки

1. Запропоновано аналітичні моделі визначення режимів роботи робочого органу вібраційної машини для створення пульсуючого струменя рідини. Проведено аналіз аналітичних моделей, які описують зміну тиску пульсуючого струменя у насадку робочого органу вібраційної машини для мийки та очистки від параметрів роботи її приводу та конструктивних залежностей.

2. У результаті проведених експериментальних досліджень встановлено, що застосування зворотного клапану мембранного типу, який з'єднує камеру пульсації з ванною для мийки та очистки, дозволяє збільшити величину максимального тиску зануреного пульсуючого струменя рідини завдяки зменшенню об'єму кавітаційних пухирців у камері пульсації при втягуванні у неї рідини. Це в свою чергу дозволяє отримати збільшення максимального тиску струменя рідини у насадку та підвищення продуктивності очистки вібраційної машини.

3. Аналіз результатів, отриманих за допомогою аналітичних моделей та експериментальним

шляхом, з порівняльного графіку, надав можливість встановити величини коефіцієнтів корегування аналітичних моделей, які будувалися з певними припущеннями та складністю достатньо коректно аналітично описати кавітаційні процеси у камері пульсації вібраційної машини.

4. У результаті проведених експериментальних досліджень запропоновано рекомендації по вибору частотного діапазону роботи вібраційного приводу машини, який знаходиться від 14 до 18 Гц при діаметрі камери пульсації 0,1 м, діаметрі насадка 0,01 м та амплітуді коливань приводу 0,002 м.

Література

1. Козлов Ю. С. Очистка изделий в машиностроении / Ю.С. Козлов, О.К. Кузнецов, Н.Ф. Тельнов. – М. : Машиностроение, 1982. – 261 с.
2. Тельнов Н.Ф. Технология очистки сельскохозяйственной техники / Н.Ф. Тельнов. – М. : Колос, 1983. – 256 с.
3. Садовский В. И. Очистка деталей гидравлическими струями при ремонте тракторов, автомобилей и сельскохозяйственных машин : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 / В. И. Садовский. – М., 1972. – 146 с.
4. Сілін Р. І. Вібраційне обладнання на основі гідропульсатора : монографія / Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв. – Хмельницький : ХНУ, 2007. – 386 с.
5. Гордєєв А. І. Аналіз процесу взаємодії газорідного середовища з поверхнею деталей при мийці перед нанесенням покриттів. Проблеми довговічності матеріалів, покриттів та конструкцій / А.І. Гордєєв, А.Р. Старий // Тези доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції. 13–15 верес. 2018 р. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – С. 14-15.
6. А. с. 1130422 СССР, МКИ³ В 08 В 3/10. Устройство для мойки мелких изделий / А.И. Гордеев, Р.И. Силин, Н.А. Сивченко (СССР). – № 3613130/28–12; заявл. 15.04.83; опубл. 23.12.84, Бюл. № 47.
7. Пат. на корисну модель 116030 України, МПК В03В 5/02. Вібраційна машина для мийки радіотехнічних виробів / А.І. Гордєєв, О.А. Гордєєв, В.Г. Мігаль (Україна); заявник і патентовласник Хмельницький нац. ун-т. – у 2016 10059; Заяв. 03.10.2016; Опубл. 10.05.2017, Бюл. № 9.
8. Патент RU 2414308. В08В3/10. Способ гидрокавитационной очистки деталей и устройство для его осуществления / Родионов В. П. (RU) подача заявки: 2009.11.06. Публикация патента 20.03.2011.
9. Громаковский Д. Г. Разработка кавитационного оборудования для мойки деталей / Д.Г. Громаковский, С. В. Шигин // Высокие технологии в машиностроении : материалы XVII Всероссийской научно-технической конференции. – Самара, 2018. – С. 5–7.
10. Пат. на корисну модель № 132837, МПК В08В 3/10. Вібраційна машина для очистки забруднень потоком твердих часток та мийки деталей при ремонті обладнання / М.Є. Скиба, А.Р. Старий, А.І. Гордєєв, О.А. Гордєєв. – U201810344; Заявл. 19.10.2018. Опубл. 11.03.2019. Бюл. № 5.
11. Старий А. Р. Обґрунтування параметрів динамічних процесів очистки та мийки у вібраційній машині зануреним пульсуючим струменем рідини з твердими частинками / А.Р. Старий, А.І. Гордєєв // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2020. – № 6. – С. 84–92.

References

1. Kozlov Yu. S., Kuznetsov O. K., Telnov N. F. Cleaning products in mechanical engineering. Moscow: Mechanical Engineering, 1982. – 261 p.
2. Telnov N. F. Technology of cleaning of agricultural machinery. M. : Kolos, 1983. – 256 p.
3. Sadovskiy V.I. Cleaning of parts with hydraulic streams in the repair of tractors, automobiles and agricultural machines: dis. cand. tech. sciences: 05.02.08. - M., 1972. - 146 p.
4. Silin R. I., Hordeev A. I. Vibration equipment on the basis of a hydropulse: a monograph. Khmelnytsky: KhNU, 2007. – 386 p.
5. s. 1130422 USSR, MKI³ at 08 V 3/10. Device for washing small articles / A.I. Hordeev, R.I. Silin, N.A. Syvchenko (USSR). – №.3613130 / 28-12; stated. 04.15.83; published 23.12.84, Bull. № 47.
6. s. 880519 USSR, MKI³ at 08 V 3/10. Device for product rinsing / R.I. Silin, V.P. Koshel, A.I. Hordeev (USSR). - No. 2869224 / 28-12; stated. 17.12.79. Published 10.15.81. Bull. № 42.
7. Pat. to utility model 116030 of Ukraine, IPC B03B 5/02. Vibration machine for sinking radio products / A.I. Hordeev, O.A. Hordeev, V.G. Migal. Applicant and patent holder Khmelnytsky National un - u 2016 10059; Application 03.10.2016; Published 05.10.2017, Bul. № 9.
8. Patent RU 2414308. B08B3 / 10. Method of hydrocavitation cleaning of parts and device for its implementation / V.P. Rodionov (RU) application filing: 2009.11.06. Publication of the patent on 03.20.2011.
9. Gromakovskiy D. G., Shigin S. V. Development of cavitation equipment for washing parts. High technologies in mechanical engineering: materials of the XVII All-Russian scientific and technical conference. Samara. 2018.pp. 5-7.
10. Pat. for utility model No. 132837, МПК В08В 3/10 Vibration machine for purification of contaminations by a stream of solid particles and washing of details at repair of equipment. / M.E. Skyba, A.R. Stariy, A.I. Hordeev, O.A. Hordeev. U201810344; Declared 19.10.2018. Published 03.11.2019. Bull №5.
11. Stariy A. R., Gordeev A.I. Substantiation of parameters of dynamic processes of cleaning and washing in the vibrating machine by the immersed pulsating stream of liquid with firm particles. Bulletin of KhNU. Technical sciences. №6. 2020. pp.84-92.

М.М. КОСІЮК

Хмельницький національний університет

ORCID ID: 0000-0003-4823-7800

e-mail: tech_i@ukr.net

А. М. КОСІЮК

Хмельницький національний університет

ORCID ID: 0000-0002-2241-9414

e-mail: sdgroup.ua@gmail.com

В. С. КРАВЧУК

Хмельницький національний університет

ORCID ID: 0000-0003-0229-3444

e-mail: vital.kravchuk.95@gmail.com

КОМБІНОВАНА СИЛОВА УСТАНОВКА АВТОМОБІЛЯ

В роботі наведено результати розробки комбінованої силової установки автомобіля із застосування комбінації декількох двигунів, що працюють за різними фізичними принципами. Основний силовий агрегат використовує енергію палива в режимі двигуна внутрішнього згоряння, а допоміжний силовий агрегат виконаний у вигляді оборотної машини об'ємного витіснення з коливальним рухом робочих органів, використовує енергію стиснутого повітря. Для утилізації теплової енергії відпрацьованих газів основного силового агрегату комбіновану силову установку додатково оснащують двигуном Стірлінга або модулем парогенерації і паровим двигуном, а для рекуперації енергії гальмування автотранспортного засобу її додатково оснащують гідро- або електричним приводом. Це дозволяє суттєво знизити витрату палива, підвищити енергетичний потенціал, коефіцієнт корисної дії та поліпшити екологічні показники автотранспортного засобу.

Ключові слова: комбіновані силові установки автомобіля, двигун внутрішнього згоряння, пневмодвигун, електро-гідропривід, двигун Стірлінга, паровий двигун, ефективність використання.

KOSIYUK MYKOLA, KOSIYUK ARTEM, KRAVCHUK VITALY

Khmelnitskyi National University

COMBINED POWER PLANT OF A MOTOR VEHICLE

Currently, the most promising areas of development of motor transport are an increase of the horsepower characteristic of their power plants as well as increase of fuel efficiency, and reduction of the toxicity level of exhaust fumes. An internal combustion engine as a power unit of the car in a number of operation modes (supplemental motion, small work load, idling, etc.) works extremely inefficiently and contains the high concentration of harmful components in the exhaust fumes. Additionally, in a context of growing shortage of carbohydrate fuels and increase in their value, the problem of the fuel-burn improvement is especially acute. To improve the environmental compatibility and efficiency of power plants of the vehicles, combined cycle power plants are used. One of the most important problems that the machine construction faces is the creation of environmentally friendly and economical power plants. A hybrid power plant, which contains several power units operating on different physical principles, is proposed by the authors. The main power unit uses the energy of liquid or gaseous fuel in the mode of an internal combustion engine; the auxiliary power unit which is made as a reverse volumetric driving machine with swinging motion of the work tools (forcers or blades), uses air power which comes from a pneumocylinder through a cooler and / or pneumatic air tank. The auxiliary power unit is equipped with a reversible inverter of the driving direction, made on the basis of a spherical slider-crank mechanism. This insures the operation of the auxiliary power unit in the mode of a pneumatic motor or compressor in accordance with the algorithm generated by the electronic control unit of the combined power plant of the vehicle. To utilize the heat energy of the exhaust fumes of the main power unit, the combined power plant is additionally equipped with a Stirling engine or steam generation module and a steam engine; in order to break energy recuperation of the vehicle it is additionally equipped with a hydraulic or electrodrive. Naturally, when choosing the specific forms of application of combined cycle power plants, any combinations of auxiliary power units are possible. They can be supplemented and / or specified based on the knowledge of specialists. Combined cycle power plants are technically complete solution. Their industrial applicability is obvious and is substantiated by experiments. Nowadays, the creation of a combined cycle power plants of a vehicle, which are a combination of several engines operating on different physical principles is the task of great economic importance. Combined power plants this allows to reduce fuel consumption per 100 km significantly, increase energy potential, horsepower characteristic and improve the environmental performance of the vehicle. The work is planned to be continued in the direction of optimization synthesis of auxiliary power units that work on different physical principles.

Key words: combined power plants of the car, internal combustion engine, pneumatic motor, electro- hydraulic drive, Stirling engine, steam engine, efficiency of use.

Постановка проблеми

На сьогоднішній день найбільш перспективними напрямками розвитку автомобільного транспорту є збільшення ККД їх силових установок, підвищення паливної економічності, зниження токсичності відпрацьованих газів. Двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ) як силовий агрегат автомобіля на ряді експлуатаційних режимів працює вкрай неекономно і з підвищеним вмістом шкідливих компонентів у відпрацьованих газах. В умовах зростаючого дефіциту вуглеводних палив й збільшення їх вартості гостро постає питання зменшення витрати цього виду палива. У зв'язку із цим, створення більш екологічно чистих й економічних силових установок для автотранспортних засобів (АТЗ) є надзвичайно актуальним завданням. Для підвищення екологічності та економічності силових установок для АТЗ використовуються комбіновані силові установки (КСУ), які є комбінацією декількох двигунів, що працюють за різними фізичними принципами [1].

Аналіз останніх джерел

Необхідність розвитку гібридних силових агрегатів заснована на цілому ряді об'єктивних причин. Сучасний АТЗ має досить хороші показники паливної економічності і екологічності при рівномірному русі в досить широкому діапазоні робочих швидкостей. У той же час, при русі в режимі міського циклу, що представляє собою постійне чергування фаз розгону, рівномірного руху, уповільнення і стоянки на холостому ходу, ці ж показники істотно погіршуються. Крім того, сучасні ДВЗ мають ККД близько 42%. Більша ж частина енергії «вилітає в трубу» разом з вихлопними газами. Значні втрати енергії з відпрацьованими газами ДВЗ змушують шукати шляхи її використання (утилізації). Високий термічний потенціал цієї енергії свідчить про можливість і доцільності трансформації її в інші види енергії, що володіють високою якістю. Утилізація тепла вихлопних газів ДВЗ, будучи енергозберігаючою технологією, значно збільшує загальний коефіцієнт використання палива (до 85–90%) і забезпечує ефективне використання теплової енергії. При гальмуванні втрачається від 15 до 60% кінетичної енергії, переданої автомобілю двигуном. Якщо цю енергію акумулювати і потім використовувати в режимах руху з перевантаженням, то можна заощадити до 30% палива. Про це свідчать інтенсивні науково-дослідні роботи, що проводяться у провідних країнах світу [1–4].

Таким чином, проведення дослідно-конструкторських робіт зі створення ефективних гібридних АТЗ є на сьогоднішній день актуальним і перспективним завданням, яке має надзвичайно велике економічне значення.

Метою роботи є узагальнення результатів роботи зі створення КСУ автотранспортного засобу, яка є комбінацією декількох двигунів, що працюють за різними фізичними принципами.

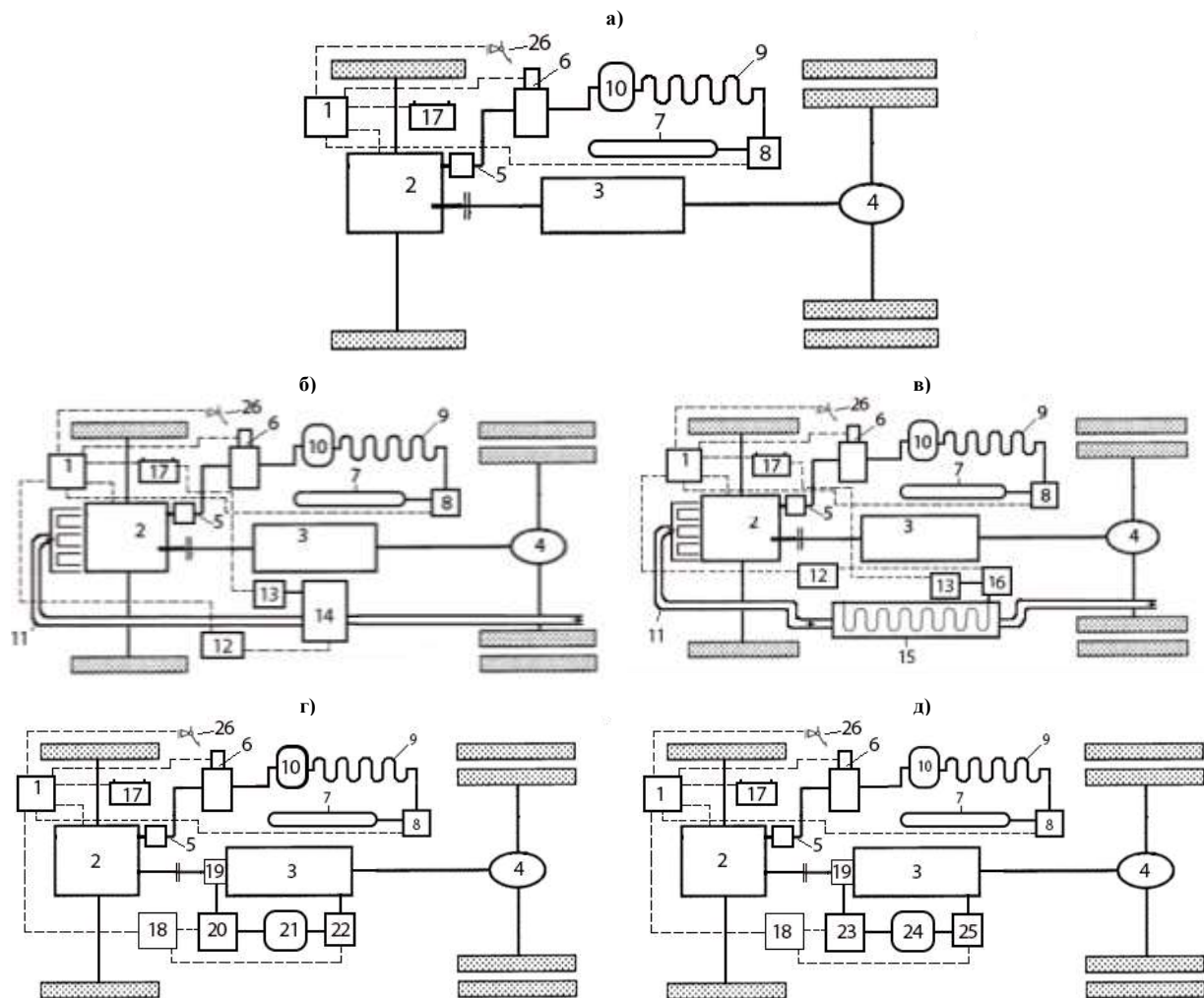


Рис. 1. Блок схеми комбінованої силової установки автотранспортного засобу:

а) головна блок схема КСУ; б) блок схема КСУ з додатковим силовим агрегатом (двигун Стірлінга), який використовує теплову енергію відпрацьованих газів основного силового агрегату; в) блок схема КСУ з додатковим силовим агрегатом (паровий двигун), який використовує теплову енергію відпрацьованих газів основного силового агрегату; г) блок схема КСУ з додатковим силовим агрегатом (гідропривід), який використовує рекуперацію енергії гальмування (холостого ходу) АТЗ; д) блок схема КСУ з додатковим силовим агрегатом (електропривід), який використовує рекуперацію енергії гальмування (холостого ходу) АТЗ.

Виклад основного матеріалу

Авторами пропонується КСУ автотранспортного засобу, зокрема, для автобусів і вантажних

автомобілів, яка містить декілька силових агрегатів, працюючих за різними фізичними принципами. На рис. 1 зображено блок схеми КСУ, де 1 – електронний блок керування АТЗ; 2 – основний силовий агрегат (двигун внутрішнього згоряння); 3 – механізм трансмісії; 4 – задній ведучий міст з колесами; 5 – механізм відбору потужності; 6 – допоміжний силовий агрегат з оборотним перетворювачем руху і блоком керування; 7 – пневмобалон; 8 – автоматичний регулятор тиску; 9 – теплообмінник; 10 – повітряний ресивер; 11 – приймальна труба глушника ДВЗ; 12 – блок керування; 13 – електрогенератор; 14 – двигун Стірлінга; 15 – автономний модуль парогенерації; 16 – паровий двигун; 17 – електроакумулятор АТЗ; 18 – блок керування; 19 – механізм відбору потужності; 20 – гідравлічний насос; 21 – гідроакумулятор; 22 – гідродвигун; 23 – електрогенератор; 24 – електроакумулятор; 25 – електродвигун; 26 – педаль.

Загальне керування силовими агрегатами АТЗ здійснюється електронним блоком керування 1. Енергоносієм у основному силовому агрегаті 2 є рідке або газоподібне паливо. Він забезпечує основне енергопостачання АТЗ і передачу крутного моменту через механізм трансмісії 3 на задній ведучий міст з колесами 4. Основний силовий агрегат оснащений механізмом відбору потужності 5, що забезпечує прийом крутного моменту від допоміжного силового агрегату 6 (при роботі в режимі пневмодвигуна) або відбір потужності на допоміжний силовий агрегат 6 (при роботі в режимі компресора) від основного силового агрегату 2, наприклад, у режимі рекуперації енергії гальмування (в режимі холостого ходу) АТЗ. Погодження роботи основного силового агрегату 2 і допоміжного силового агрегату з оборотним перетворювачем руху і блоком керування 6 в різних режимах забезпечується електронним блоком керування 1 у відповідності до алгоритму їх функціонування. На рис. 2 зображені просторові схеми оборотного перетворювача руху і допоміжного 4-поршневого силового агрегату з оборотним перетворювачем руху на основі сферичного кривошипно-повзунного механізму.

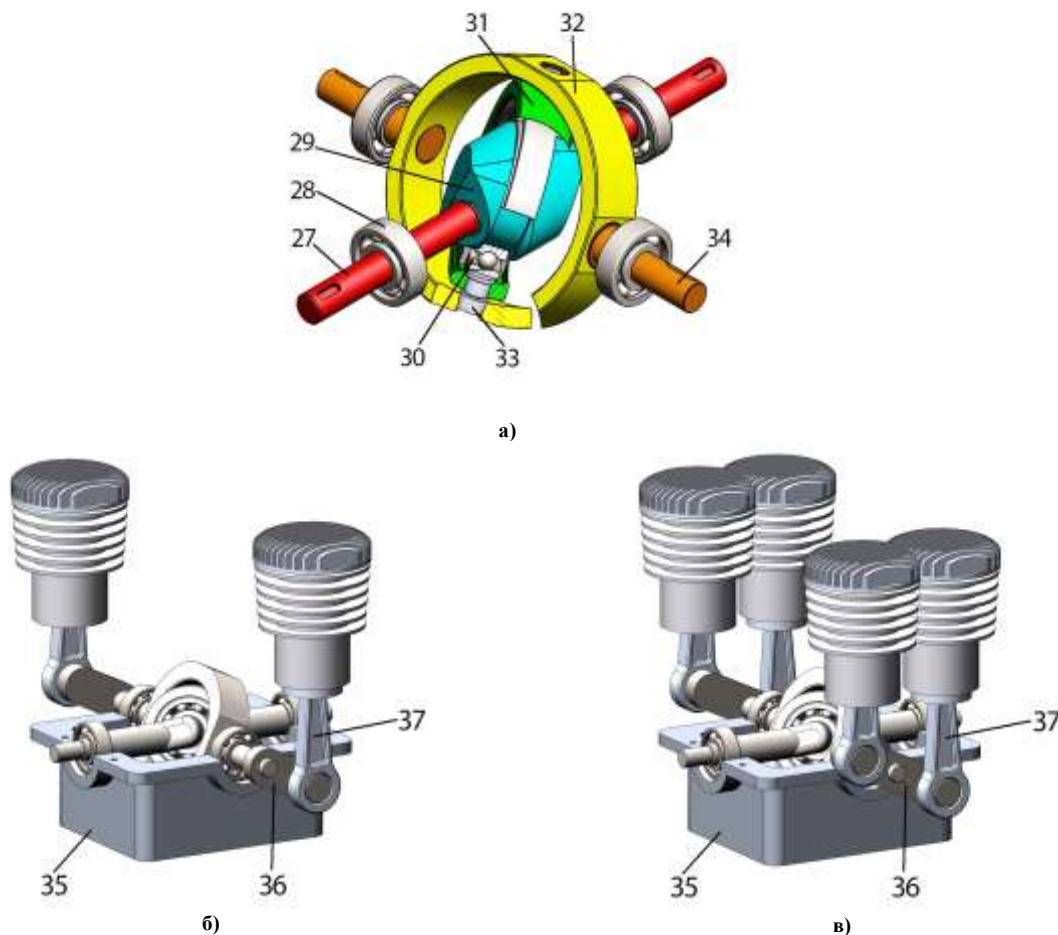


Рис. 2. Просторові схеми:

а) оборотного перетворювача руху на основі сферичного кривошипно-повзунного механізму; б) допоміжного 2-поршневого силового агрегату з оборотним перетворювачем руху; в) допоміжного 4-поршневого силового агрегату з оборотним перетворювачем руху, де 27 – вал, 28 – підшипник; 29 – кривошип; 30 – підшипник; 31 – повзун; 32 – обойма; 33 – стрижневий елемент; 34 – вал; 35 – оборотний перетворювач руху; 36 – важіль; 37 – робочий орган допоміжного силового агрегату

Перетворювач руху в допоміжному силовому агрегаті 6 виконано на основі сферичного кривошипно-повзунного механізму, у якому геометричні осі усіх установлених з можливістю обертання деталей перетинаються в одній «центральної» точці і який має вал 27, що встановлений у корпусі в двох протилежних співвісних підшипниках 28, рознімний кривошип 29, що жорстко зв'язаний з валом 27 у його середній частині і оснащений посадочним місцем для внутрішнього кільця підшипника 30, площина

симетрії якого нахилена до геометричної осі вала під кутом, що перевищує 0° , але менший 90° і містить у собі згадану «центрально» точку, повзун 31, що виконаний на основі зовнішнього кільця підшипника 30, коливальну кінематичну ланку виконану у вигляді обойми 32, що з безперервним зазором вільно охоплює повзун 31, має щонайменше один стрижневий проміжний елемент 33 кінематичного зв'язку з ним, жорстко зв'язану з двома співвісними додатковими валами 34, які виступають за межі корпусу оборотного перетворювача руху 35 з його протилежних сторін. Вали 34 механічно пов'язані важелями 36 з робочими органами 37 додаткового силового агрегату 6. Оборотний перетворювач напрямку руху здатний при коливному русі робочих органів (поршнів або лопатей) 36 обертати вал 27 з кривошипом 29 або при обертанні вала 27 з кривошипом 29 приводити робочі органи 36 допоміжного силового агрегату 6 в коливний рух. Це дозволяє забезпечити роботу допоміжного силового агрегату з оборотним перетворювачем руху і блоком керування 6 в режимі пневматичного двигуна або компресора. Як показує практика використання пневматичних поршневих двигунів їх доцільно виготовляти з відношенням ходу поршня до діаметру циліндра $S/D = 0,5-0,7$. Цим досягається зменшення розмірів двигуна в напрямі осей циліндра і велика частота циклів при меншій середній швидкості поршня.

Енергоносієм у допоміжному силовому агрегаті 6 є стиснуте повітря. Стиснуте до високого тиску (наприклад, 25–30 МПа) повітря, що зберігається в пневмобалоні 7 при температурі навколишнього середовища. Повітря, що надходить з балона 7, дроселюється в автоматичному регуляторі тиску 8 до робочого тиску 0,5–1,0 МПа зі значним зниженням температури нижче температури навколишнього середовища. Для підвищення енергетичної активності стисненого повітря, його необхідно попередньо підігріти. Тому з газового редуктора 8 повітря надходить у теплообмінник з навколишнім середовищем 9. Для підвищення температури повітря до рівня, що перевищує температуру навколишнього середовища (наприклад, понад 100°C) можна використовувати теплоносії, наприклад, рідину системи охолодження і/або відпрацьовані гази основного силового агрегату 1 і/або відпрацьовану пару парового двигуна 16. У процесі підігріву щільність стисненого повітря зменшується, а, отже, зменшується витрата робочого тіла для виконання робочого циклу в пневмодвигуні. Зниження питомої витрати повітря на відтворення одиниці потужності пневмодвигуном приводить до підвищення ККД останнього й КСУ в цілому, а також дозволяє збільшити пробіг АТЗ.

Стиснене повітря накачується в пневмобалон 7 у стаціонарних умовах. Стисне повітря накачується в повітряний ресивер 10 від допоміжного силового агрегату 6, який працює в режимі компресора. Це дозволяє поповнювати запаси повітря в ресивері 10 КСУ в процесі гальмування або в режимі холостого ходу АТЗ.

Керування роботою елементів КСУ здійснюється в такій послідовності. Водій за допомогою педалі циклової подачі палива 26 задає необхідне тягове зусилля основного силового агрегату 2. Погоджування роботи основного силового агрегату 2 і допоміжного силового агрегату з оборотним перетворювачем руху і блоком керування 6 в режимі пневмодвигуна або компресора, забезпечує електронний блок керування 1 АТЗ, що одержує інформацію про тягове зусилля основного силового агрегату 2 та сигналу датчиків, що реєструють режими роботи основного 2 і допоміжного 6 силових агрегатів, наявність стисненого повітря в пневмобалоні 7 і повітряному ресивері 10. Після обробки отриманих сигналів електронний блок керування 1, забезпечує оптимальні режими роботи основного 2 і допоміжного 6 силових агрегатів, наприклад, забезпечуючи мінімальну питому витрату палива або максимальний крутний момент.

З рівня техніки відомо, що в двигунах внутрішнього згоряння від 30 до 40% енергії згорілого палива уноситься з викидами. Значні втрати енергії з відпрацьованими газами ДВЗ змушують шукати шляхи її використання (утилізації). Високий термічний потенціал цієї енергії свідчить про можливість і доцільності трансформації її в інші види енергії, що володіють високою якістю. Утилізація тепла вихлопних газів ДВС, будучи енергозберігаючою технологією, значно збільшує загальний коефіцієнт використання палива (до 85–90%) і забезпечує ефективне використання теплової енергії.

Найбільш раціональним варіантом використання додаткової потужності, отриманої від утилізації, є приводи різних агрегатів (систем) АТЗ – вентиляторів, насосів, компресорів і т.п. Очевидно, що найбільш ефективно цей привід здійснювати не механічно, а з допомогою електроенергії.

Однією з утилізаційної систем, що дозволяє досить ефективно реалізувати цю ідею, є система, що містить приймальну трубу глушника ДВЗ 11, блок керування 12, електрогенератор 13, двигун Стірлінга 14 або автономний модуль парогенерації 15 і паровий двигун 16, суміщених з електричним генератором.

В рівні техніки гібридний привід відомий як ефективна система рекуперації енергії гальмування (холостого ходу). Для рекуперації енергії гальмування (холостого ходу) АТЗ його КСУ додатково оснащують блоком керування 18, механізмом відбору потужності 19 від трансмісії автотранспортного засобу 3, допоміжним силовим агрегатом, який включає в себе пов'язаний з механізмом відбору потужності 19, гідравлічний насос 20 гідропроводу із замкнутою схемою циркуляції, гідроаккумулятор 21, гідродвигун 22 і/або пов'язаний з механізмом відбору потужності 19, електрогенератор 23, електроаккумулятор 24, електродвигун 25, причому гідродвигун 22 і електродвигун 25 пов'язані з трансмісією 3 АТЗ.

У разі гальмування (холостого ходу) гідравлічний вузол (електропривід) експлуатується як гідравлічний насос (електрогенератор), завдяки чому в гідроаккумуляторі (електроаккумуляторі) створюється тиск (електроенергія). Цей тиск (електроенергія) може використовуватися для подальшого прискорення транспортного засобу. У разі прискорення гідравлічний вузол (електропривід) експлуатується як

гідродвигун (електродвигун), щоб віддавати в трансмісію транспортного засобу додатковий крутний момент і тим самим розвантажувати двигун внутрішнього згоряння. Завдяки цій рекуперації енергії гальмування (холостого ходу) можлива суттєва економія палива.

Погодження роботи основного і допоміжних силових агрегатів в режимі пневмодвигуна, або компресора, двигуна Стірлінга, парового, гідравлічного і електричного двигунів здійснюється у відповідності до алгоритму, сформованого електронним блоком керування КСУ 1 і блоками керування 12 і 18, що одержують інформацію про тягове зусилля основного силового агрегату 2, режиму його роботи та сигналу датчиків, що реєструють режими роботи допоміжних силових агрегатів, які працюють за різними фізичними принципами.

Природно, що при виборі конкретних форм практичного використання КСУ можливі довільні комбінації використання допоміжних силових агрегатів, які можуть бути доповнені і/або уточнені з використанням звичайних знань фахівців. КСУ є технічно завершеним рішенням. Її промислова придатність очевидна та підтверджується проведеними випробуваннями.

Висновки

Створення ефективних КСУ автотранспортного засобу є надзвичайно актуальним завданням і має велике економічне значення. Практичне використання КСУ, яка є комбінацією декількох двигунів, дозволяє суттєво знизити вартість пробігу, поліпшити енергетичні та екологічні показники АТЗ. Роботу планується продовжити у напрямку оптимізаційного синтезу допоміжних силових агрегатів, які працюють за різними фізичними принципами.

Література

1. Савченко А. Будущее за гибридными автомобилями / А. Савченко // Автостроение за рубежом. – 2006. – № 8. – С. 3–5.
2. Гібридні автомобілі / [Бажинов О. В., Смирнов О. П., Серіков С. А., Гнатов А. В., Колесніков А. В.]. – Харків : Крок, 2008. – 327 с.
3. Зайцева, Е. Ю. Гибридные силовые установки / Е. Ю. Зайцева, И. В. Ищенко, В. Г. Комков // Ученые заметки ТОГУ. – 2019. – Т. 10. – № 4. – С. 305–312.
4. Кубіч В. І. Гібридні силові установки легкових автомобілів : навчальний посібник / Кубіч В. І. – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2021. – 193 с.
5. Косіюк М.М. Модульна оборотна машина об'ємного витіснення / М.М. Косіюк, А.М. Косіюк, В.С. Кравчук // Вісник Хмельницького національного університету. – 2020. – № 3. – С. 105–108.
6. Патент 143170 Україна, МПК F01C 9/00, F04C 9/00. Оборотна машина об'ємного витіснення з коливальним рухом робочих органів / Косіюк М.М., Косіюк А.М., Кравчук В.С. – № u 2020 01307 ; заявл. 27.02.2020 ; опубл. 10.07.2020, Бюл. № 13.
7. Косіюк М.М. Проектування оборотного перетворювача напрямку руху / М.М. Косіюк, А.М. Косіюк, В.С. Кравчук // Вісник Хмельницького національного університету. – 2020. – № 6. – С. 56–61.

References

1. Savchenko A. Budushee za gibridnymi avtomobilyami / A. Savchenko // Avtostroenie za rubezhom. – 2006. – № 8. – S. 3–5.
2. Hibrydni avtomobili / [Bazhynov O. V., Smyrnov O. P., Sierikov S. A., Hnatov A. V., Koliesnikov A. V.]. – Kharkiv : Krok, 2008. – 327 s.
3. Zajceva, E. Yu. Gibridnye silovye ustanovki / E. Yu. Zajceva, I. V. Ishenko, V. G. Komkov // Uchenye zametki TOGU. – 2019. – T. 10. – № 4. – S. 305–312.
4. Kubich V. I. Hibrydni sylovi ustanovky lehkovykh avtomobiliv : navchalnyi posibnyk / Kubich V. I. – Zaporizhzhia : NU «Zaporizka politekhnika», 2021. – 193 s.
5. Kosiuk M.M. Modulna oborotna mashyna obiemnoho vytisnennia / M.M. Kosiuk, A.M. Kosiuk, V.S. Kravchuk // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. – 2020. – № 3. – S. 105–108.
6. Patent 143170 Ukraina, MPK F01C 9/00, F04C 9/00. Oborotna mashyna obiemnoho vytisnennia z kolyvalnym rukhom robochykh orhaniv / Kosiuk M.M., Kosiuk A.M., Kravchuk V.S. – № u 2020 01307 ; zaivl. 27.02.2020 ; opubl. 10.07.2020, Biul. № 13.
7. Kosiuk M.M. Proektuvannia oborotnoho peretvoriuvacha napriamku rukhu / M.M. Kosiuk, A.M. Kosiuk, V.S. Kravchuk // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. – 2020. – № 6. – S. 56–61.

А.В. ГОРОШКО

Хмельницький національний університет
ORCID ID: 0000-0002-1386-2326
email: iftommm@ukr.net

І.В. ДРАЧ

Хмельницький національний університет
ORCID ID: 0000-0003-0590-9814
email: cogitare410@gmail.com

В.П. ТКАЧУК

Хмельницький національний університет
ORCID 0000-0003-0640-2740
email: iftommm@ukr.net

ВПЛИВ МОМЕНТНОЇ НЕЗРІВНОВАЖЕНОСТІ ТА ПОЛОЖЕННЯ ЦЕНТРУ ЖОРСТКОСТІ НА ВІБРОАКТИВНІСТЬ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ БАРАБАННИХ МАШИН

В роботі на прикладі конструкції пральної машини досліджено вплив моментної незрівноваженості та положення центру жорсткості на віброактивність системи бак–барабан. Створено математичну модель системи у вигляді рівнянь коливань багатозв'язної системи бак–барабан на пружних підвісах. Модель перевірялась експериментально, а відповідна імітаційна модель досліджувалась у Simulink. Сформульовано основні вимоги до конструкції горизонтальних роторних машин барабанного типу з погляду їх мінімальної віброактивності.

Ключові слова: вібрація, барабан, горизонтальний ротор, жорсткість.

ANDRII V. GOROSHKO

Khmelnyskyi National University

ILONA V. DRACH

Khmelnyskyi National University

VITALII P. TKACHUK

Khmelnyskyi National University

The issues of reducing the vibration caused by rotating rotors at the frequency of the first rotor harmonic (so-called rotor vibration) are among the most important in the design, manufacture and operation of almost all types of modern rotary machines. The washing machine as an object of study of the dynamics and reduction of vibration and noise is of particular interest due to the constant presence of randomly located and wandering imbalance of laundry in the drum and low requirements for accuracy of its manufacture and assembly of parts and assemblies.

A mathematical model of oscillations of a multiconnected tank-drum system on elastic suspensions for the main types of machines and spin centrifuges with a horizontal axis of rotation is created. The model is developed in a linear formulation based on the Lagrange equation of the II kind for a washing machine. The accuracy and adequacy of the mathematical model was tested directly on the field object by measuring noise, vibration, forces in the supports and stress distribution in the individual elements and components of the machine in the entire range of drum speeds.

Studies of the nature of system oscillations depending on the change in position and attachment points of elastic and damping elements were performed using simulation in the Simulink environment. As a result of research, the basic requirements for the layout of horizontal rotary machines of the drum type were experimentally confirmed: the center of mass of the tank must lie on the axis of rotation of the drum; the axis of rotation of the drum should be the main central axis of inertia of the tank; the center of mass of the tank must coincide with the center of mass of the loaded drum; the center of rigidity of the system of elastic supports must coincide with the center of gravity of the tank, and the main axes of rigidity - with the main central axes of inertia of the tank; the main axes of the constant viscous friction must coincide with the main central axes of inertia of the tank.

The results of the theoretical study were applied to the problem of evaluating the efficiency of a liquid auto-balancing device for a proper squeezing machine depending on its dynamics.

Keywords: vibration, drum, horizontal rotor, stiffness.

Постановка проблеми

Роторні механізми застосовуються в багатьох областях сучасної промисловості: від машинобудування до комп'ютерної та побутової техніки. Ці механізми часто повинні функціонувати на високих швидкостях, тому сильні вібрації, викликані зміщенням центру ваги ротора, можуть стати серйозною проблемою і навіть призвести до поломки механізму.

Питання зниження вібрації, спричиненої обертовими роторами на частоті першої роторної гармоніки (так званої роторної вібрації), відносяться до найважливіших при конструюванні, виготовленні та експлуатації практично всіх видів сучасних роторних машин. Роторна вібрація в значній мірі визначає надійність таких машин, для яких характерні високі частоти обертання, відносно мала жорсткість конструкції, а критичні режими часто розташовуються в межах робочих діапазонів кутових швидкостей.

Пральна машина як об'єкт дослідження динаміки і зниження вібрацій і шуму викликає особливий інтерес через постійну присутність випадково розташованого і блукаючого дисбалансу білизни в барабані і невисоких вимог до точності її виготовлення і складання деталей і вузлів, щоб не здорожувати вартість.

Аналіз останніх досліджень

Розв'язання задач, пов'язаних з проблемами зниження роторної вібрації, ґрунтується на базі лінійної теорії механічних коливань. Теорія вказує і основні напрямки боротьби з вібрацією: віброізоляція [1]; демпфірування [2]; динамічне гасіння коливань [3]; вдосконалення методів балансування роторів [4], в тому

числі і з урахуванням їх гнучкості [5].

У багатьох роботах досліджуються електромагнітні балансувальні пристрої у вигляді електромагнітних підшипників [6] і електромагнітних кілець [7]. До валу може бути прикладена синхронна радіальна сила, щоб зрівноважити дисбаланс [8]. Широке застосування отримали методи оптимального управління вібрацією [9]. Значна частина наукових робіт присвячена дослідженню явища пасивного автоматичного балансування з допомогою кулькових, маятникових автобалансирів [10] і за рахунок вільного руху рідини. Наприклад в роботі [11] аналізується явище самобалансування ротора за допомогою текучого середовища, що рухається в частково заповнених нею порожніх камерах, що виконують функції пасивних регуляторів, котрі мають потреби в системі енергопостачання та управління. В роботі [12] створена математична модель динамічної системи пральної машини, яка використовувалась для аналізу динаміки і оптимізації параметрів машини за технологією жорстко-гнучкого з'єднання. В роботі [13] досліджуються роторно-динамічні ефекти для горизонтальних пральних машин з фронтальним завантаженням. Заслужують також на увагу методи демпфування пральних машин з використанням магніто- і електрореологічних рідин [14].

Мета досліджень. Незважаючи на те, що останнім часом дослідники досягли значних успіхів у створенні активних і пасивних методів і засобів зниження вібрацій пральних машин, рівень небажаних вібрацій може бути також знижений за рахунок оптимальної компоновки складових конструкції машини. Зокрема, потребує подальших досліджень вплив горизонтального зміщення центра мас по довжині ротора, що викликає моментну нерівноваженість. Недостатньо вивченими є питання положення центру жорсткості на віброактивність машини, що часто зустрічається на практиці.

Результати досліджень.

Математична модель системи бак-барабан. Розглянемо коливання пружно-підвішеного бака, що містить в собі консольно-закріплений нерівноважений барабан. Така схема притаманна машинам з горизонтально розташованим баком для білизни, наприклад, «LG», «Electrolux» тощо.

Допущення в ході схематизації об'єкта дослідження такі, що реальна типова конструкція замінена розрахунковою схемою (динамічною моделлю), в якій абсолютно тверде тіло (бак маси m_1) пружно пов'язане з корпусом довільним числом опор і здатне переміщатися в просторі, маючи 6 ступенів свободи (рис. 1). У цьому тілі є порожнина, в якій з кутовою швидкістю ω обертається ротор (барабан), масою m_2 , що спирається на абсолютно жорсткі опори, розташовані в цьому ж тілі.

За узагальнені координати, які задають положення цієї системи в просторі, прийняті три декартові координати центру інерції бака машини (осі a_1, b_1, c_1 є головними центральними осями) і три кути α, β, γ , що задають повороти цих осей координат відносно нерухомих, зв'язаних з корпусом, осей координат X_1, Y_1, Z_1 , або паралельних їм осей X, Y, Z , які сходяться в центрі мас бака O , що в загальному випадку не лежить на осі обертання барабана (рис. 2).

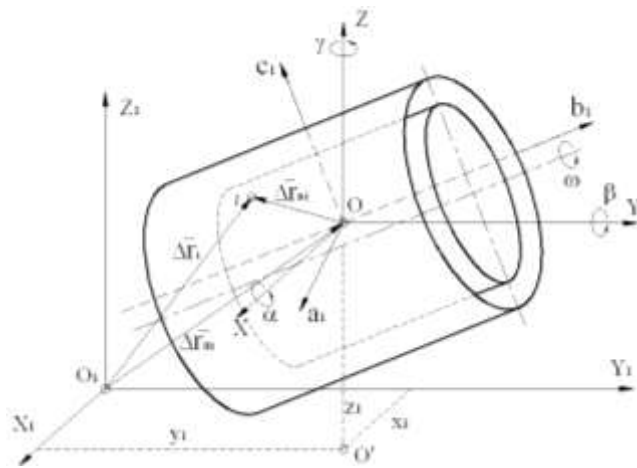


Рис. 1. Розрахункова схема системи бак-барабан

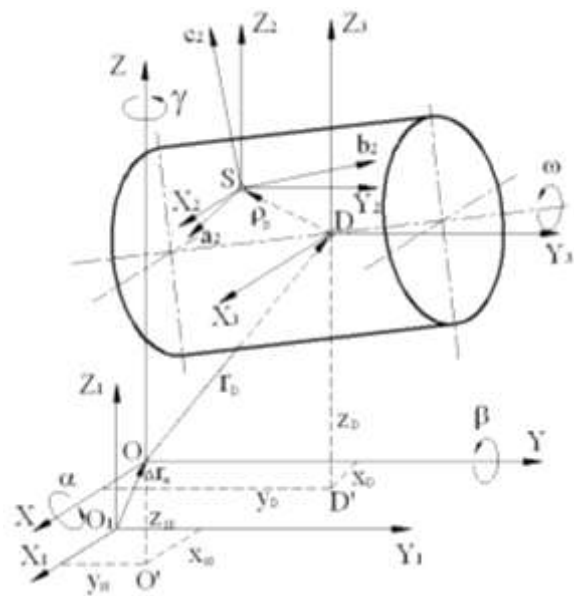


Рис. 2. Переміщення барабана в загальному випадку

Початок відліку т. D отримаємо як результат перетину осі обертання барабана з площиною, проведеною через центр мас т. S перпендикулярно до осі обертання барабана. У вихідному положенні і при відсутності ексцентриситету ($e=0$) т. S співпадає з т. D . Припускаємо, що у вихідному стані осі Y, Y_1, Y_2, Y_3 і b_1, b_2, b_3 є паралельними осі обертання барабана.

Диференціальні рівняння коливань системи бак-барабан Було отриманий виходячи з рівняння Лагранжа II роду з урахуванням розсіювання енергії при демпфіруванні по Релею [15]. Отримана система з шести диференціальних рівнянь в матричній формі має вигляд:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{q}} + (\mathbf{G} + \mathbf{D})\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{A}\mathbf{q} = \mathbf{Q}, \quad (1)$$

де $\mathbf{M} = [P_{ij}]_1^6$ – матриця інерційних коефіцієнтів; $\mathbf{G} = [g_{ij}]_1^6$ – матриця гіроскопічних коефіцієнтів; $\mathbf{D} = [\alpha_{ij}]_1^6$ – матриця коефіцієнтів демпфування; $\mathbf{A} = [\alpha_{ij}]_1^6$ – матриця коефіцієнтів жорсткості; $\mathbf{q} = [x, y, z, \alpha, \beta, \gamma]^T$ – матриця-стовпець узагальнених координат; $\mathbf{Q} = [Q_x, Q_y, Q_z, Q_\alpha, Q_\beta, Q_\gamma]^T$ – матриця-стовпець узагальнених силових факторів.

Працездатність, адекватність і точність розробленої математичної моделі перевірялась за допомогою натурних випробувань. Для цього використовувався лабораторний стенд, що містить побутову пральну машину (рис. 4). Теоретично розраховані власні частоти коливальної системи пральної машини відрізнялись від експериментально отриманих не більше 10%. Розрахована амплітуда вертикальних коливань підвісної частини при штучному дисбалансі барабана 1800 г·мм склала 3,7 мм, а експериментально виміряна при тому ж дисбалансі – 4 мм.

Динамічна симуляція та аналіз моделі. Перевірка сформульованих вимог до конструкції проводилась шляхом моделювання поведінки підвісної частини пральної машини із використанням інтерактивного інструменту *Simulink* та пакету прикладних програм *Matlab*. Динамічна модель машини представлена на рис. 3. Підвісна частина машини кріпиться за допомогою двох пружин і двох демпферів. Динамічні характеристики пральної машини представлені у таблиці 1.

В ідеальному випадку, коли центр мас зрівноваженого барабана співпадає з центром мас бака, а вісь обертання барабана проходить через його центр мас ($e=0$), права частина рівняння $\mathbf{Q}=0$ і коливання підвісної частини відсутні при будь-яких значеннях кутової швидкості обертання ω . На практиці через випадковий характер розподілу завантаженої білизни у барабані центр мас барабана завжди буде лежати не на осі обертання, що характеризується ексцентриситетом e . Встановлено, що найбільший ексцентриситет при розкладанні білизни в барабані складає $e = 0.08R_\phi$, де R_ϕ – радіус барабана. Для досліджуваної моделі пральної машини прийнято $e = 14,8$ мм. У таблиці 1 наведено основні динамічні характеристики досліджуваної пральної машини.

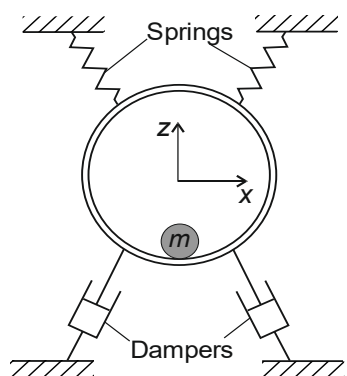


Рис. 3. Динамічна модель пральної машини

Таблиця 1

Динамічні характеристики пральної машини	
Маса баку m_1 , кг	48,2
Маса барабана m_2 , кг	12,5
Жорсткість кожної з двох пружин підвіски c , Н/мм	6,0
Кут нахилу пружин	75°
Коефіцієнт демпфування кожного демпфера h , Н·с/м	175
Кут нахилу демпферів	70°
Ексцентриситет e , мм	14,8
Довжина барабана L_ϕ , мм	190

На рис. 4 представлено амплітудно-частотну характеристику (АЧХ), одержану для вертикальних коливань підвісної частини пральної машини з врахуванням, що центр мас бака лежить на осі обертання барабану і барабан має лише статичний дисбаланс, що характеризується ексцентриситетом e . В цьому разі узагальнені силові фактори $Q_y = Q_\alpha = Q_\beta = Q_\gamma = 0$, а $Q_x, Q_z \neq 0$. Внаслідок силового збурення вздовж осей OX і OZ виникають поперечні коливання в площині XOZ .

Врахування моментної невірноваженості. Умова $x_D = z_D = 0$, згідно з якою центр мас бака повинен лежати на осі обертання барабану, може бути з достатньою точністю виконана конструктивно та технологічно і не порушиться в процесі роботи системи, а тому надалі її невиконання не розглядатиметься. Проте внаслідок випадкової розкладки білизни центр мас завантаженого барабана окрім ексцентриситету може мати повздовжнє зміщення y_D вздовж осі OY , що викликає моментну невірноваженість ротора. Питання розрахунку значення y_D розглянуті у роботі [16], де встановлено, що величина повздовжнього зміщення зростає з ростом завантаженості барабана і довжини барабана. Автори показали, що максимальна величина зміщення $y_{Dmax} = 0,476L_\phi$, де L_ϕ – довжина барабана. Для досліджуваної в цій роботі моделі було прийнято $y_{Dmax} = 90$ мм.

Для розробленої моделі для випадку $y_D = 0 \dots 90$ мм проведено симуляцію моделі у всьому діапазоні робочих частот, яка показала незначний вплив зміщення на величину поперечних вібрацій у зарезонансній зоні. На рис. 5 представлена залежність амплітуди вібраційних коливань у повздовжньому напрямі OY підвісної частини від величини горизонтального зміщення у діапазоні робочих частот. Отримані результати показали, що зміщення центра ваги завантаженого барабана на робочих частотах у закритичній області майже не впливає на рівень поперечних коливань, але суттєво підвищує повздовжні коливання підвісної частини. На критичній частоті збільшення повздовжніх коливань сягає максимуму. Цей факт пояснюється

зростанням моменту дії відцентрової сили, що призводить до зростання кутових коливань відносно осей OX та OZ внаслідок дії узагальнених силових факторів по координатам α і γ : $Q_\alpha = m_2 \omega^2 e y_D \cos \omega t$ і $Q_\gamma = -m_2 \omega^2 e y_D \sin \omega t$. При цьому матриця інерційних коефіцієнтів \mathbf{M} набуває вигляду, відмінного від діагонального. Зростання кутових коливань викликає ріст зміщення підвісної частини, яке є результатом поступального і обертового руху. Ця обставина може негативно впливати на працездатність підшипникового вузла і знижувати його ресурс.

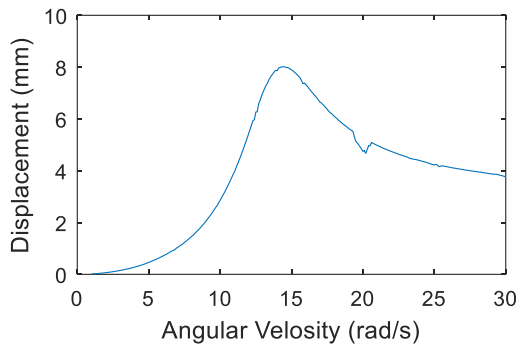


Рис. 4. АЧХ (поперечні коливання в напрямі осі OZ)

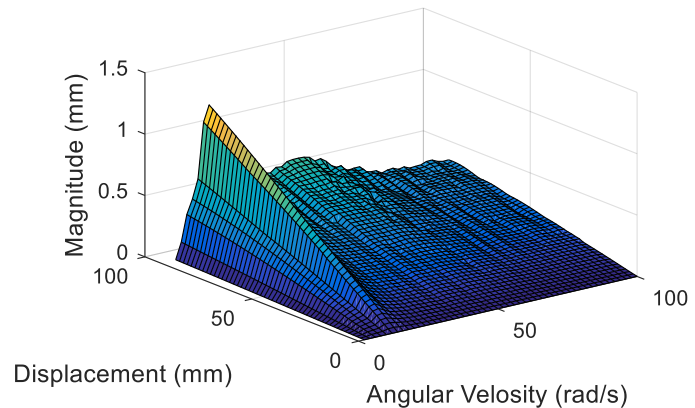


Рис. 5. Амплітуда коливань у повздовжньому напрямі OY

Вплив координат приєднання опор на зміщення положення центру жорсткості. Матриця жорсткості \mathbf{A} є недіагональною, якщо відмінними від нуля є статичні і відцентрові моменти жорсткостей. Аналіз показує, що зміна координат x_i, z_i i -ї пружини не впливає на положення рівнодійної паралельних сил реакції опор вздовж осей, а отже, і на положення осі жорсткості підвіски. Аналогічні висновки можна зробити і щодо матриці демпфування \mathbf{D} . Проте вісь жорсткості підвіски не буде співпадати з центром ваги бака, якщо головні осі жорсткості не будуть співпадати з головними центральними осями симетрії бака, а це спостерігається за умови, коли координата i -ї пружини $y_i \neq 0$.

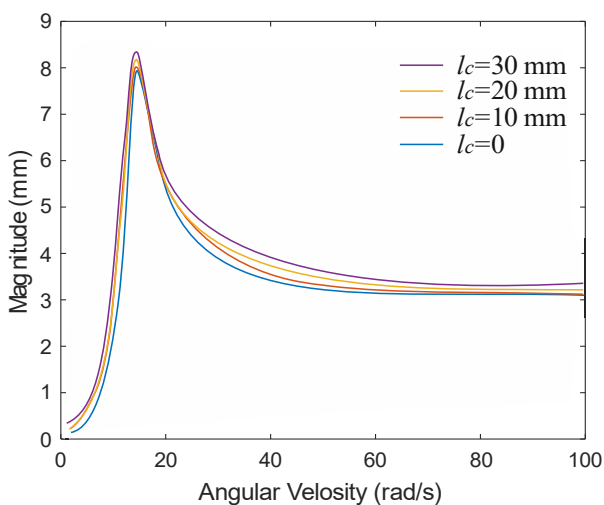


Рис. 6. АЧХ підвісної частини при $y_D = 0$ (вертикальні коливання)

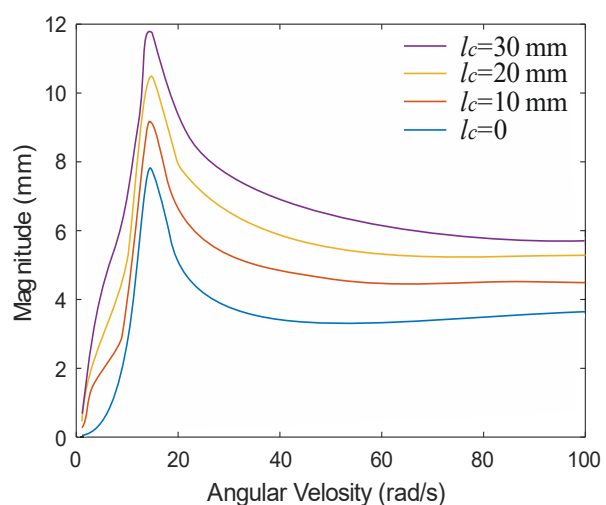


Рис. 7. АЧХ підвісної частини при $y_D = 90$ мм (вертикальні коливання)

З метою вивчення впливу неспівпадиння центру жорсткості пружних опор з центром ваги бака проведено симуляцію моделі у всьому діапазоні робочих частот під час зміни центру жорсткості в напрямі осі OY . На рис. 8 і 9 представлені результати симуляції системи бак-барабан при різних значеннях відхилення l_c положення центру жорсткості пружних опор підвісної частини від центру ваги бака. Залежності отримані для випадку $y_D = 0$, коли центр мас завантаженого барабана лежить в площині XOZ , де розташований центр мас бака (рис. 6) і коли центр мас завантаженого барабана є зміщеним по осі OY на величину y_{Dmax} (рис. 7). Зростання амплітуди вертикальних вібрацій пов'язано з появою у матриці жорсткостей \mathbf{A} крутильних жорсткостей a_{44}, a_{66} відносно осей OX і OZ , статичних моментів жорсткостей $a_{16} = a_{61}, a_{34} = a_{43}$ відносно координатної площини XOZ ; а також відцентрових моментів жорсткостей $a_{45} = a_{54}, a_{56} = a_{65}$ відносно пар координатних площин.

Аналогічні дослідження щодо впливу неспівпадиння центру демпфування з центром ваги баку та головних осей постійних в'язкого тертя демпферів з головними центральними осями інерції підвісної

частини показали, що цей вплив є незначним.

Вплив повороту пружних і демпферних опор на зміщення положення центру жорсткості. У разі повороту пружної (демпферної) опори на кут φ відносно площини XOZ система опор є нерівножорсткою, а матриця жорсткості (демпфування) – недіагональною.

Для пружинної опори бака з осью жорсткістю C , зображеної на рис. 8, виконується співвідношення

$$C = \sqrt{C_x^2 + C_y^2 + C_z^2}.$$

Жорсткість пружини вздовж осей координат визначається як

$$C_x = C \cos \chi \cos \varphi,$$

$$C_y = C \cos \chi \sin \varphi,$$

$$C_z = C \sin \chi \cos \varphi,$$

де χ – кут нахилу пружини, φ – кут повороту пружини відносно площини XOZ . Отже, для пружини з осью жорсткістю C і кутом нахилу χ її проєкції C_x і C_z будуть максимальними лише тоді, коли пружини лежатимуть у площині OXZ , що відповідає $\varphi=0$.

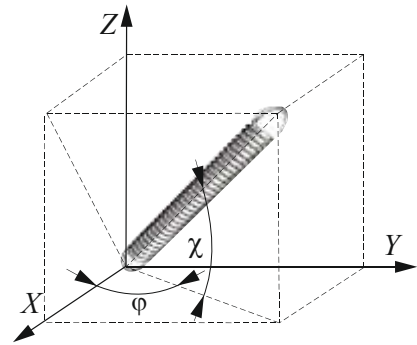


Рис. 8. Пружинна опора підвісної частини

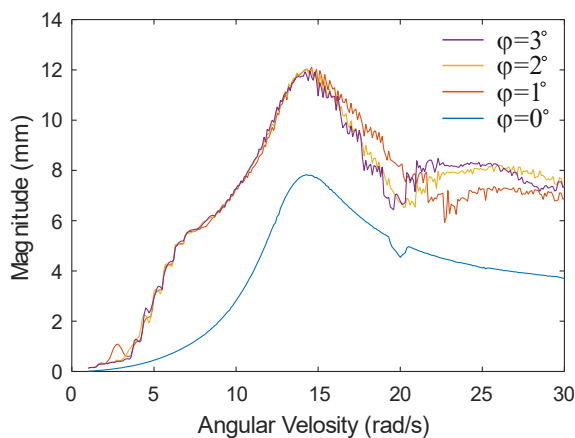


Рис. 9. АЧХ підвісної частини при y_{Dmax} для різних кутів повороту пружин (вертикальні коливання)

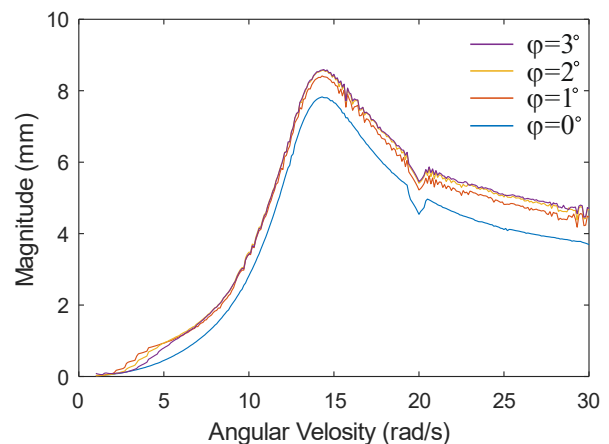


Рис. 10. АЧХ підвісної частини при y_{Dmax} для різних кутів повороту демпфера (вертикальні коливання)

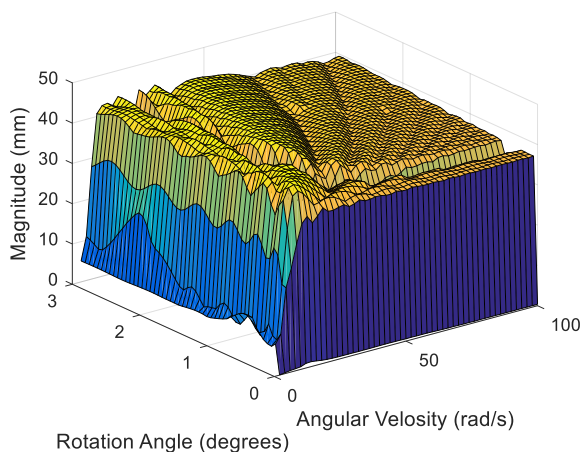


Рис. 11. Залежність амплітуди повздовжніх коливань від частоти і кута повороту φ пружини при зміщенні y_{Dmax}

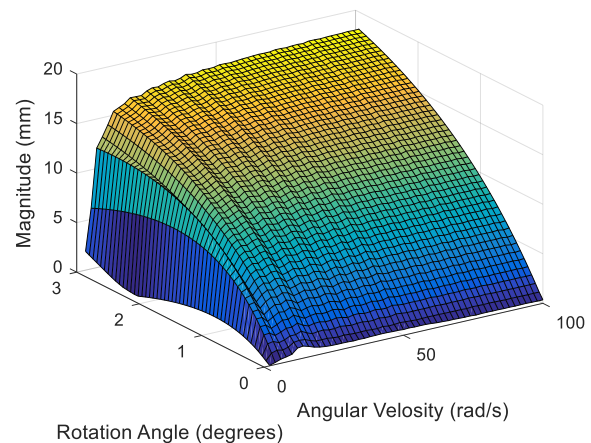


Рис. 12. Залежність амплітуди повздовжніх коливань від частоти і кута повороту φ демпфера при зміщенні y_{Dmax}

За умови малих значень кута φ і відсутності повздовжнього зміщення центра ваги завантаженого барабана ($y_D = 0$) коливання, що виникають під час обертання барабана у всьому діапазоні робочих частот змінюються незначно. Наявність горизонтального зміщення $y_D \neq 0$ і кута повороту пружини $\varphi \neq 0$ через додаткову зв'язність коливань призводить до підвищення їх амплітуди. Аналогічна картина спостерігається і при аналізі впливу кута повороту демпфера. Залежності амплітуди вертикальних коливань від частоти обертання барабана, одержані під час симуляції моделі для кутів повороту пружин і демпферів від 0 до 3° представлені на рис. 9 і 10.

Найбільш чутливими до зміни кутів повороту пружин і демпферів є повздовжні коливання. На рис. 11 і 12 представлені залежності амплітуди вібрацій підвісної частини вздовж осі OY у діапазоні робочих частот в залежності від величини кута повороту φ пружини та демпфера при зміщенні центра ваги барабана з білизною на y_{Dmax} вздовж осі барабана.

Результати проведеного теоретичного дослідження були застосовані до задачі оцінювання ефективності рідинного автобалансувального пристрою для правильно-віджимної машини залежно від її динамік. В роботі [15] доведено, що покращення динаміки роторної машини значно підвищує ефективність автоматичного балансування.

Висновки

В результаті проведених досліджень були одержані теоретично і підтверджені експериментально основні вимоги до компонування горизонтальних роторних машин барабанного типу: центр мас бака повинен лежати на осі обертання барабана; вісь обертання барабана повинна бути головною центральною вісю інерції бака; центр мас бака повинен збігатися з центром мас завантаження барабана; центр жорсткості системи пружних опор повинен збігатися з центром тяжкості бака, а головні осі жорсткості - з головними центральними осями інерції бака; головні осі постійних в'язкого тертя повинні збігатися з головними центральними осями інерції бака.

Доведено, що проведене удосконалення експериментальної установки для зменшення її віброактивності підвищує ефективність застосування рідинних автобалансирів прямої дії. Показано, що рідинні АБП ефективно знижують вібрації роторних машин не тільки в зарезонансній зоні обертання, але й при переході через резонанс.

Фінансування

Дослідження фінансувалось МОН України (Проект № 0120U102067).

Література

1. Ribeiro, E. A., Pereira, J. T., & Bavastri, C. A. (2015). Passive vibration control in rotor dynamics: optimization of composed support using viscoelastic materials. *Journal of Sound and Vibration*, 351, 43–56.
2. Osinski, Z. (Ed.). (2018). *Damping of vibrations*. CRC Press.
3. Shen, Y., Chen, L., Yang, X., Shi, D., & Yang, J. (2016). Improved design of dynamic vibration absorber by using the inerter and its application in vehicle suspension. *Journal of Sound and Vibration*, 361, 148–158.
4. MacCamhaoil, M. (2016). Static and dynamic balancing of rigid rotors. *Bruel & Kjaer application notes*, BO, 0276-12.
5. Goroshko, A., Ostaševičius, V., & Royzman, V. (2016). Balancing of turbomachine rotors by increasing the eccentricity identification accuracy. *Mechanics*, 22(3), 206–211.
6. Wan, S. K., Li, X. H., Su, W. J. et al. Active damping of milling chatter vibration via a novel spindle system with an integrated electromagnetic actuator. *Precision Engineering*, 2019, 57: 203–210.
7. Fan, H. W., Zhi, J. J., Shi, B. J. et al. Adaptive rotor balancing algorithm and single-disk rotation test for electromagnetic balancer. *Journal of Xi'an Jiaotong University*, 2018, 52(8): 15–21, 29.
8. Pan, X., Lu, J., Huo, J. et al. A Review on Self-Recovery Regulation (SR) Technique for Unbalance Vibration of High-End Equipment. *Chin. J. Mech. Eng.* 33, 89 (2020). <https://doi.org/10.1186/s10033-020-00514-7>
9. Peng, C., He, J. X., Zhu, M. T. et al. Optimal synchronous vibration control for magnetically suspended centrifugal compressor, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 2019, 132: 776–789.
10. Goncharov, V., Filimonikhin, G., Dumenko, K. et al. Studying the peculiarities of balancing of flexible double-support rotors by two passive automatic balancers placed near supports. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2016, 4(7): 4–9.
11. Royzman, V., Drach, I., Tkachuk, V., Pilkauskas, K., Čižauskas, G., & Šulginas, A. (2018). Operation of passive fluid self-balancing device at resonance transition regime. *Mechanics*, 24(6), 805–810.
12. Xiao, L., Zhang, S. (2017). Analysis and optimization of drum washing machine vibration isolation system based on rigid-flexible virtual prototype model. *Journal of Vibroengineering* Vol. 19, Issue 3. P. 1653–1664
13. Drüke, S., Bicker, R., Schuller, B., Henke, C., Trächtler, A. (2019) Rotordynamic Instabilities in Washing Machines. In: Cavalca K., Weber H. (eds) *Proceedings of the 10th International Conference on Rotor Dynamics – IFToMM. IFToMM 2018. Mechanisms and Machine Science*, vol 61. Springer, Cham
14. Ulaszay, A., Lazoglu, I. Design and analysis of a new magneto rheological damper for washing machine. *J Mech Sci Technol* 32, 1549–1561 (2018). <https://doi.org/10.1007/s12206-018-0308-4>
15. Drach I., Goroshko A., Dwornicka R. Design Principles of Horizontal Drum Machines with Low Vibration. *Advances in Science and Technology Research Journal*. 2021; 15(2): 258–268. <https://doi.org/10.12913/22998624/136441>
16. Fetisov, V. G., Alekhin, S. N., & Petrosov, S. P. (2012). Study of Nonhomogeneous Equations with Variable Coefficients Describing Washing Machines Vibration. *European Researcher*, (5-2), 609–612.

М. Г. ЗАЛЮБОВСЬКИЙ

ЗВО «Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна»

ORCID ID: 0000-0001-6258-0088

e-mail: markzalubovskiy@gmail.com

І. В. ПАНАСЮК

Київський національний університет технологій та дизайну

ORCID ID: 0000-0001-6671-4266

e-mail: panasjuk1961@gmail.com

В. В. МАЛИШЕВ

ЗВО «Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна»

ORCID ID: 0000-0003-2756-3236

e-mail: viktor.malyshev.igic@gmail.com

АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОТУЖНОСТІ, ЯКА СПОЖИВАЄТЬСЯ НА ВЕДУЧОМУ ВАЛУ ГАЛУВАЛЬНОЇ МАШИНИ ЗІ СКЛАДНИМ РУХОМ РОБОЧОЇ ЄМКОСТІ

Робота присвячена аналітичному дослідженню енергетичних параметрів машини зі складним рухом робочої ємкості. Зокрема, були виконані аналітичні дослідження динамічного моменту опору, що утворюється від просторового переміщення рухомих ланок машини. Встановлено, що при роботі машини зі складним рухом робочої ємкості момент опору на ведучому валу змінюватиметься декілька разів за один його оберт і може мати від'ємні значення. Таке явище зумовлене просторовим рухом ємкості та різкою зміною положення робочого сипкого масиву відносно її стінок. У результаті аналітичних досліджень отримано рівняння для визначення максимального значення динамічного моменту опору, створеного просторовим переміщенням рухомих ланок машини. Встановлено, що повний максимальний момент опору на ведучому валу машини визначається як векторна сума максимальних моментів усіх сил, що діють на завантажений сипкий масив до ємкості та на рухомі ланки машини, які виконують просторовий рух відносно відповідного центру рівноваги машини. Аналітично отримано загальний вираз для визначення максимальної потужності, що споживається машиною зі складним рухом робочої ємкості на її ведучому валу. Отримані результати досліджень можуть бути використані конструкторськими бюро відповідних машинобудівних підприємств на стадії проектування галтувальних типів обладнання.

Ключові слова: робоча ємкість, потужність, момент опору, сипкий масив.

MARK G. ZALYUBOVSKYI

Open International University of Human Development "Ukraine"

IGOR V. PANASYUK

Kyiv National University of Technology and Design

VIKTOR V. MALYSHEV

Open International University of Human Development "Ukraine"

ANALYTICAL INVESTIGATION OF POWER CONSUMED ON THE DRIVE SHAFT OF A REPLACING MACHINE WITH COMPLEX MOVEMENT OF WORK CAPACITY

The work is devoted to the analytical study of the energy parameters of a machine with a complex movement of the working capacity. In particular, analytical studies of the dynamic moment of resistance formed by the spatial movement of the moving parts of the machine were performed. It is established that when operating a machine with a complex movement of the working capacity, the moment of resistance on the drive shaft will change several times during one revolution and may have negative values. This phenomenon is due to the spatial movement of the tank and a sharp change in the position of the working environment relative to its walls. As a result of analytical research, an equation is obtained to determine the maximum value of the dynamic moment of resistance created by the spatial movement of the moving parts of the machine. It is established that the total maximum moment of resistance on the driving shaft of the machine is defined as the vector sum of the maximum moments of all forces acting on the loaded working medium to the tank and on the moving parts of the machine. Analytically, a general expression is obtained to determine the maximum power consumed by a machine with a complex movement of the working capacity on its drive shaft. The obtained research results can be used by design bureaus of relevant machine-building enterprises at the stage of designing rolling types of equipment.

Keywords: working capacity, power, moment of resistance, bulk array.

Постановка задачі. На сьогоднішній день галтувальні машини знайшли своє застосування практично в усіх галузях промисловості. Таким способом обробляють деталі, використання яких не потребує дотримання їх розмірів за параметрами високої точності, а якість їх обробки можна визначити на основі органолептичного методу. Наприклад, у легкій промисловості так обробляються більшість фурнітурних деталей після лиття [1] та ті, що пройшли механічну обробку [2]: шліфуються та поліруються поверхні гудзиків [3], відділяються від ливників металеві деталі замка "блискавка" [4], відділяються від ливників та облою полімерні деталі взуття, а саме підбори, набійки, задники підосви. Таким само способом піддаються обробці різноманітні деталі, які використовуються у різних галузях машинобудування та приладобудування. Наприклад, очищаються від продуктів корозії різні металеві деталі тощо. Аналогічні типи конструкцій обладнання з рухомими ємкостями з різним характером руху застосовуються і для змішування дрібнодисперсних сипких речовин [5].

Для таких технологічних операцій використовуються різні типи галтувального обладнання [6]. Як

зазначалося, деякі типи обладнання [7] є застарілими та малоефективними, інші [8] – використовуються для «вузького» спектру технологічних операцій. У свою чергу, одним з найбільш перспективних типів обладнання вважаються машини зі складним просторовим рухом робочих ємкостей [9, 10].

Для будь-якого типу галтувального обладнання актуальним є дослідження потужності, яка споживається при виконанні відповідних технологічних операцій. Зокрема, якщо при роботі звичайних барабаних змішувачів, за рахунок простого обертання барабану, виникає сталий момент опору на ведучому валу [11], котрий не змінюється за один повний оберт барабану і визначається на основі відносно тривіальних формул, то при роботі машини зі складним рухом робочої ємкості момент опору ведучого валу змінюватиметься декілька разів за один його повний оберт, при чому, навіть досягатиме від'ємних значень. Аналогічний характер зміни буде мати і потужність, яка споживається на ведучому валу такої машини. Саме тому методика визначення потужності, що споживається при роботі обертових барабанів [12] не придатна для використання при визначенні потужності, що споживається на ведучому валу машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості.

Таким чином, проведення аналітичних досліджень потужності, що споживається на ведучому валу машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості є актуальною задачею для подальшого розвитку промисловості України в цілому.

Аналіз досліджень та публікацій. У роботах [11, 12] представлені вирази для визначення потужності, що споживається при роботі обертових барабанів. Також відомі дослідження енергетичних параметрів галтувальних машин зі складним просторовим рухом робочих ємкостей. Зокрема, у роботі [13] виконані дослідження статичного моменту опору ведучого валу галтувальної машини, у роботі [14] також досліджувався статичний момент опору на ведучому валу, однак, який створювався масою сипкого масиву, який завантажений до робочої ємкості. У статті [15] наведені результати досліджень динамічного моменту опору на ведучому валу, утвореного переміщенням сипкого масиву у ємкості.

Виділення невирішених частин. Таким чином, постає актуальною задача щодо отримання узагальненої методики визначення енергетичних параметрів галтувальних машин, у яких робоча ємкість виконує складний просторовий рух, отримання загального рівняння, використовуючи яке, можна розрахувати потужність, яка споживається на ведучому валу таких типів машин в залежності від зміни різних факторів впливу. Все це потребує проведення подальших аналітичних та експериментальних досліджень енергетичних параметрів вищеприписаних галтувальних машини.

Формулювання цілей. Метою даної роботи є аналітичне дослідження потужності, яка споживається на ведучому валу галтувальної машини зі складним рухом робочої ємкості.

Виклад основного матеріалу

Дослідження даних енергетичних параметрів виконувалося аналітично із застосуванням САПР SolidWorks. Модель досліджуваної конструкції машини, що змодельована у САПР SolidWorks, а також кінематична її схема представлені на рис. 1 (а) та рис. 2 (б) відповідно.

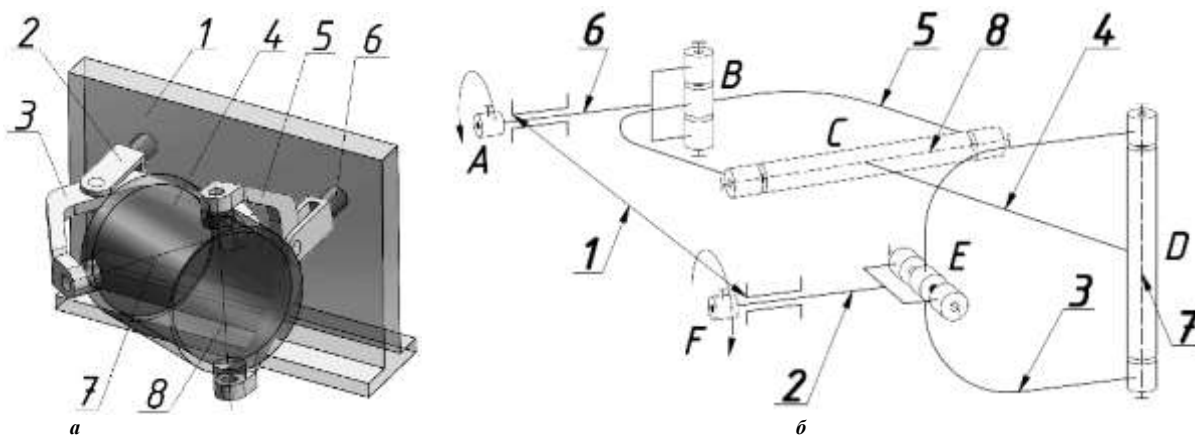


Рис. 1. Конструкція машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості:
а – модель машини, б – кінематична схема

Машина містить станину 1, ведучий 2 та ведений 6 вали, які встановлені у станині 1 паралельно в одній площині та з'єднані між собою подвійним просторовим шарніром, що виконаний у вигляді ведучого шатуна 3, веденого шатуна 5 та робочої ємкості 4 (проміжного шатуна), закріпленої між ведучим та веденим шатунами на діаметрально взаємно перпендикулярних геометричних осях 7 та 8 відповідно. Рухомі ланки машини утворюють собою просторовий шестиланковий механізм [16] з обертальними кінематичними парами.

Під час виведення рівняння, що характеризує загальний момент опору на ведучому валу машини, окрім сил інерції, що діють на сипкий масив, необхідно також врахувати сили інерції, створені переміщенням рухомих ланок машини. Таким чином, необхідно записати окреме рівняння для визначення моменту опору створеного цими силами відносно відповідного центру рівноваги машини, місце розташування яких визначено у роботах [13, 14]. Аналогічно до попередніх частин було прийнято, що

вектори сил інерції будуть брати свій початок у точках E та F (рис. 2 (а) та рис. 2 (б)).

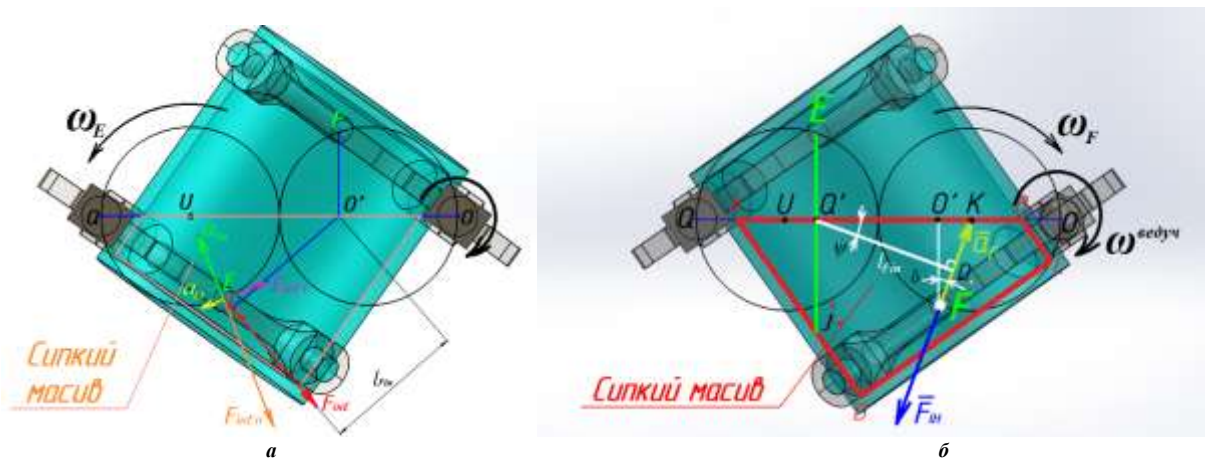


Рис. 2. Розрахункова схема в проекції на вертикальну площину

Встановити положення робочої ємкості, при якому буде виникати максимальне значення моменту опору на ведучому валу, створеного силами інерції рухомих ланок, надзвичайно складно, оскільки для кожного кута повороту ведучого валу напрям векторів сил інерції та довжини плечей будуть різними, окрім того, зі збільшенням кутової швидкості ведучого валу змінюватиметься значення кута його повороту, яке відповідатиме виникненню максимального моменту опору в зв'язку з тим, що нерівномірне переміщення точки E викликає тангенціальну складову прискорення, яка впливатиме на зміну напрямку повного прискорення точки E .

Приймаючи до уваги результати досліджень, які опубліковані у працях [13–15], максимальні значення статичних моментів опору ведучого валу (при завантаженні ємкості сипким масивом та без завантаження) та максимальне значення динамічного моменту опору при завантаженні ємкості сипким масивом утворюються при кутах повороту ведучого валу в 54° та 126° . Таким чином, значення динамічного моменту опору на ведучому валу, створеного силами інерції рухомих ланок, також будемо розраховувати для цих само кутів повороту ведучого валу машини.

Виведемо рівняння для розрахунку динамічного моменту опору на ведучому валу машини, створеного силами інерції, від переміщення рухомих ланок відносно відповідного центру рівноваги машини, яке є векторною сумою моментів сил інерції точок F та E відносно цього ж центру рівноваги машини. При цьому, аналогічно до [14] керуватимемося розподілом сумарної маси рухомих ланок між двома точками E та F :

$$\overline{M}_{\text{оп.}F_{\text{ін}}} = \sum \overline{M}_{F_{\text{ін}}}^{O'(Q')} \quad (1)$$

$$\overline{M}_{\text{оп.}F_{\text{ін}}} = \overline{M}_{F_{\text{ін}}}^F + \overline{M}_{F_{\text{ін}}}^E \quad (2)$$

Рівняння для визначення моменту сили інерції прикладеної в точці F отримано у роботі [14]. Запишемо його, але ще й з урахуванням маси рухомих ланок:

$$\overline{M}_{F_{\text{ін}}}^F = 0,42m_{\Sigma}(\omega^{\text{ведуч}})^2 l_{QO}^2 \quad (3)$$

де m_{Σ} – сумарна маса сипкого масиву та півмаси ланок, котрі виконують просторовий рух, $\omega^{\text{ведуч}}$ – кутова швидкість ведучого валу, l_{QO} – відстань між осями ведучого та веденого валів машини.

У свою чергу, запишемо вираз для визначення сумарної маси сипкого масиву та півмаси ланок, котрі виконують просторовий рух:

$$m_{\Sigma} = m_C + m_F \quad (4)$$

$$m_F = m_E \quad (5)$$

де m_C – сумарна маса сипкого масиву, завантаженого до робочої ємкості, $m_F (m_E)$ – половина сумарної маси ланок машини, які виконують просторовий рух.

Запишемо рівняння для визначення моменту сили інерції прикладеної в точці E :

$$\overline{M}_{F_{\text{ін}}}^E = \overline{F}_{\text{ін}}^E l_{F_{\text{ін}}} \quad (6)$$

де $\overline{F}_{\text{ін}}^E$ – модуль сили інерції, прикладений у точці E , $l_{F_{\text{ін}}}$ – плече сили інерції прикладеної в точці F .

Модуль сили інерції в точці $\overline{F}_{\text{ін}}^E$ можна визначити як:

$$\overline{F}_{\text{ін}}^E = m_E \overline{a}_E \quad (7)$$

де a_E – повне прискорення точки E .

Модуль повного прискорення a_E є векторною сумою нормального та тангенціального прискорень,

однак, оскільки миттєва тангенціальна складова прискорення точки E при такому положенні буде значно меншою за нормальну складову, крім того її визначення викликає значні труднощі, то умовно вважали, що на точку E буде діяти лише нормальна складова прискорення, а отже вираз (7)(3.79) матиме вигляд:

$$\overline{F}_{in.}^E = m_E \overline{a}_{nE}. \quad (8)$$

де a_{nE} – нормальна складова прискорення точки E .

У свою чергу, нормальну складову прискорення точки E можна визначити за виразом:

$$a_{nE} = (\omega^{\text{веден}})^2 l_{QO}. \quad (9)$$

де $\omega^{\text{веден}}$ – кутова швидкість веденого валу машини.

У роботі [13] встановлено, що миттєве значення кутової швидкості веденого валу, що відповідає куту повороту ведучого валу в 54° (126°) рівне значенню постійної кутової швидкості ведучого валу, тому:

$$\omega_{54^\circ(126^\circ)}^{\text{веден}} = \omega^{\text{ведуч}}. \quad (10)$$

З рахуванням рівності (10) вираз (9) матиме вигляд:

$$a_{nE} = (\omega^{\text{ведуч}})^2 l_{QO}. \quad (11)$$

Рівняння (8) з урахуванням виразу (11) матиме вигляд:

$$\overline{F}_{in.}^E = m_E (\omega^{\text{ведуч}})^2 l_{QO}. \quad (12)$$

Визначимо плече сили інерції точки E . Умовно було прийнято, що точка E буде рухатися рівномірно (без тангенціальної складової прискорення). Отже, довжина плеча сили інерції прикладеної в точці E буде фактично рівною відстані $l_{UQ'}$ (рис. 2 (б)). З роботи [15] відомо, що значення $\cos\psi$ при такому положенні рухомих ланок машини майже рівне одиниці, в свою чергу:

$$l_{F_{in}} = l_{UQ'} = l_{OK}. \quad (13)$$

Враховуючи те, що траєкторії обертання точок E та F дотикаються у точці (рис. 2 (б)), котра співпадає з серединою відстані між осями ведучого та веденого валів машини l_{QO} , то для визначення відстані l_{OK} справедливим буде вираз:

$$l_{OK} = l_{QK} - l_{QO'} = \frac{3}{4} l_{QO} - \frac{2}{3} l_{QO} = \frac{1}{12} l_{QO}. \quad (14)$$

Рівняння (13) з урахуванням виразу (14) буде мати вигляд:

$$l_{F_{in}} = \frac{1}{12} l_{QO}. \quad (15)$$

Підставимо вирази (12) та (15) у рівняння (6):

$$\overline{M}_{F_{in}}^E = 0,08 m_E (\omega^{\text{ведуч}})^2 l_{QO}^2. \quad (16)$$

Далі, підставимо вирази (3) та (16) у рівняння (2):

$$\overline{M}_{оп.F_{in}} = (\omega^{\text{ведуч}})^2 \cdot l_{QO}^2 (0,42 m_\Sigma + 0,08 m_E). \quad (17)$$

У результаті отримано загальне рівняння для визначення максимального динамічного моменту опору на ведучому валу машини з урахуванням маси ланок, які виконують просторовий рух та маси сипкого масиву, завантаженого до робочої ємкості.

З роботи [14] відомо, що максимальний момент опору на ведучому валу машини визначається як векторна сума максимальних моментів усіх сил, що діють на завантажений сипкий масив до робочої ємкості та на рухомі ланки машини, які виконують просторовий рух відносно відповідного центру рівноваги машини при встановленому їх положенні:

$$\overline{M}_{оп}^{MAX} = \sum \overline{M}_{F_i}^{O'(Q')}. \quad (18)$$

або

$$\overline{M}_{оп}^{MAX} = \overline{M}_{оп} + \overline{M}_{оп.Gm} + \overline{M}_{оп.F_{in}}. \quad (19)$$

Підставимо у рівняння (19) вираз для розрахунку статичної складової моменту опору створеного масою рухомих ланок, який отриманий у роботі [13], вираз для розрахунку статичної складової моменту опору створеного масою сипкого масиву завантаженого до робочої ємкості, який отриманий у роботі [14], а також рівняння (17) та отримаємо вираз для визначення модуля максимального моменту опору на ведучому валу машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості:

$$\overline{M}_{оп}^{MAX} = 0,33 m_F g l_{QO} + \sigma_{x\%} m_C g l_{QO} + (\omega^{\text{ведуч}})^2 l_{QO}^2 (0,42 m_\Sigma + 0,08 m_E). \quad (20)$$

Після арифметичних перетворень рівняння (20) матиме вигляд:

$$\overline{M}_{оп}^{MAX} = l_{QO} \left(0,33 m_F g + \sigma_{x\%} m_C g + (\omega^{\text{ведуч}})^2 l_{QO} (0,42 m_\Sigma + 0,08 m_E) \right) \quad (21)$$

Також відомо [12], що максимальну потужність, що споживається машиною на її ведучому валу

P_{MAX} , можна визначати на основі максимального моменту опору:

$$P_{MAX} = M_{OP}^{MAX} \omega^{ведуч}, \quad (22)$$

де M_{OP}^{MAX} – максимально можливий момент опору, який виникає на ведучому валу машини; $\omega^{ведуч}$ – кутова швидкість ведучого валу машини.

Запишемо вираз для визначення максимальної потужності, що споживається на ведучому валу машини зі складним рухом робочої ємкості, підставивши рівняння (21) у (22):

$$P_{MAX} = l_{QO} \left(0,33 m_F g + \sigma_{X\%} m_C g + (\omega^{ведуч})^2 l_{QO} (0,42 m_\Sigma + 0,08 m_E) \right) \omega^{ведуч}, \quad (23)$$

де l_{QO} – відстань між осями ведучого та веденого валів, [м]; m_F (m_E) – половина сумарної маси ланок машини, які виконують просторовий рух, [кг]; g – прискорення вільного падіння, [м/с²]; $\sigma_{X\%}$ – коефіцієнт, що характеризує габаритні параметри машини; m_C – маса сипкого масиву завантаженого до робочої ємкості, [кг]; $\omega^{ведуч}$ – кутова швидкість ведучого валу машини, [рад/с]; m_Σ – маса сипкого масиву завантаженого до робочої ємкості та половина сумарної маси ланок машини, які виконують просторовий рух, [кг];

На основі визначеної за рівнянням (23) максимальної потужності, що споживається на ведучому валу машини, виникає можливість підібрати електродвигун з необхідним стандартним значенням потужності та спроектувати відповідний привод, після чого можна сформулювати технічну характеристику машини із зазначеною кутовою швидкістю обертання ведучого валу та максимально дозволеною масою сипкого масиву, яка завантажується до робочої ємкості.

Висновки

1. Виконані аналітичні дослідження потужності, яка споживається на ведучому валу галтувальної машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості.
2. Отримано рівняння для визначення максимального значення динамічного моменту опору, створеного просторовим переміщенням рухомих ланок машини, а також встановлено, що повний максимальний момент опору на ведучому валу машини визначається як векторна сума максимальних моментів усіх сил, що діють на завантажений сипкий масив до ємкості та на рухомі ланки машини, які виконують просторовий рух відносно відповідного центру рівноваги машини.
3. Отримано загальний вираз для визначення максимальної потужності, що споживається машиною зі складним просторовим рухом робочої ємкості на її ведучому валу.

Література

1. Виробництво литих деталей та виробів з полімерних матеріалів у взуттєвій та шкіргалантерейній промисловості : монографія / [О.П. Бурмістенков, Б.М. Злотенко, В.П. Коновал, І.В. Панасюк, М.Є. Скиба, О.М. Синюк]. – Хмельницький, 2007. – 255 с.
2. Копин В.А. Обработка изделий из пластмасс / Копин В.А., Макаров В.Л., Ростовцев А.М. – М. : Химия, 1988. – 176 с.
3. Zalyubovskiy M.G. Experimental investigation of the handling process of polymeric units in a machine with a compacted space movement of working capacity / Zalyubovskiy M.G., Panasyuk I.V., Smirnov Y.I., Klaptsov Y.V., Malyshev V.V. // Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design – 2019. – Vol. 2 (132). – P. 24 – 32.
4. Залюбовський М.Г. Експериментальне дослідження впливу геометрії металевих відливок деталей замка «блискавка» на особливості їх обробки в галтувальній машині / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну – 2020. – № 2 (144). – С. 24–32.
5. Marigo M. Developing Mechanistic Understanding of Granular Behaviour in Complex Moving Geometry using the Discrete Element Method. Part A: Measurement and Reconstruction of Turbulent Mixer Motion using Positron Emission Particle Tracking / Marigo M., Cairns D. L., Davies M., Cook M., Ingram A., Stitt E. H. // CMES: Computer Modeling in Engineering & Sciences – 2010. – No. 3 (Vol. 59), 217–238.
6. Залюбовський М.Г. Машини зі складним рухом робочих ємкостей для обробки полімерних деталей : монографія / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк, В.В. Малишев. – К. : Університет «Україна», 2018. – 228 с.
7. Першин В.Ф. Машини барабанного типа: основы теории, расчета и конструирования / В.Ф. Першин. – Воронеж : Изд-во ВГУ, 1990. – 168 с.
8. Шумакова Т.А. Инструмент для виброабразивной обработки деталей: монография / Т.А. Шумакова, В.И. Шаповалов, Ю.И. Гутько ; Восточноукр. нац. ун-т им. В. Даля. – Луганск : Ноулидж, 2011. – 59 с.
9. Zalyubovskii M. G. On the study of the basic design parameters of a seven-link Spatial mechanism of a part processing machine / M. G. Zalyubovskii, I. V. Panasyuk // International Applied Mechanics, 56, issue 1, April 2020, 54–64.
10. Zalyubovskii M. G. Studying the main design parameters of linkage mechanisms of part-processing machines with two working barrels / M. G. Zalyubovskii, I. V. Panasyuk // International Applied Mechanics, 56, issue 6, November 2020, 762–772.
11. Модестов В.Б. Определение мощности смесителя, необходимой при смешивании сыпучих

материалов. / В.Б. Модестов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2003. – № 3. – С. 7–8.

12. Модестов В.Б. Смесители сыпучих и пастообразных материалов : монография / В. Б. Модестов ; МОНМС Украины, Восточнукр. нац. ун-т им. В. Даля, Технол. ин-т. – Луганск, 2011. – 353 с.

13. Залюбовський М.Г. Дослідження статичного моменту опору ведучого валу галтувальної машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості / М.Г. Залюбовський // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2021. – № 1 (293). – С. 86–92.

14. Залюбовський М.Г. Визначення статичного моменту опору ведучого валу галтувальної машини, створеного масою сипкого середовища у робочій ємкості / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки – 2021. – № 2 (295). – С. 116–122.

15. Залюбовський М.Г. Дослідження динамічного моменту опору ведучого валу галтувальної машини, утвореного переміщенням сипкого масиву у робочій ємкості / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк, В.В. Малишев // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2021. – № 3 (297). – С. 94–99.

16. Zaliubovskiy M. G. Synthesis and research of the tumbling machine spatial mechanism / M. G. Zaliubovskiy, I. V. Panasiuk, Yu. I. Smirnov, V. V. Malyshev // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. – 2020. – 178, issue 4. – P. 69–75.

References

1. Vyrobnystvo lytykh detalei ta vyrobiv z polimernykh materialiv u vzuttivii ta shkirhalantereinii promyslovosti : monohrafiia / [O.P. Burmistenkov, B.M. Zlotenko, V.P. Konoval, I.V. Panasiuk, M.Ie. Skyba, O.M. Syniuk]. – Khmelnytskyi, 2007. – 255 c.
2. Kopin V.A. Obrabotka izdelij iz plastmass / Kopin V.A., Makarov V.L., Rostovcev A.M. – M. : Himiya, 1988. – 176 s.
3. Zalyubovskiy M.G. Experimental investigation of the handling process of polymeric units in a machine with a compacted space movement of working capacity / Zalyubovskiy M.G., Panasyuk I.V., Smirnov Y.I., Klapptsov Y.V., Malyshev V.V. // Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design – 2019. – Vol. 2 (132). – P. 24 – 32.
4. Zaliubovskiy M.H. Eksperymentalne doslidzhennia vplyvu heometrii metalevykh vidlyvok detalei zamka «blyskavka» na osoblyvosti yikh obrobky v haltuvalni mashyni / M.H. Zaliubovskiy, I.V. Panasiuk // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu – 2020. – № 2 (144). – S. 24–32.
5. Marigo M. Developing Mechanistic Understanding of Granular Behaviour in Complex Moving Geometry using the Discrete Element Method. Part A: Measurement and Reconstruction of Turbulent Motion using Positron Emission Particle Tracking / Marigo M., Cairns D. L., Davies M., Cook M., Ingram A., Stitt E. H. // CMES: Computer Modeling in Engineering & Sciences – 2010. – No. 3 (Vol. 59), 217–238.
6. Zaliubovskiy M.H. Mashyny zi skladnym rukhom robochykh yemkosti dlia obrobky polimernykh detalei : monohrafiia / M.H. Zaliubovskiy, I.V. Panasiuk, V.V. Malyshev. – K. : Universytet «Ukraina», 2018. – 228 s.
7. Pershin V.F. Mashyny barabannogo tipa: osnovy teorii, rascheta i konstruirovaniya / V.F. Pershin. – Voronezh : Izd-vo VGU, 1990. – 168 s.
8. Shumakova T.A. Instrument dlya vibroabrazivnoy obrabotki detalej: monografiya / T.A. Shumakova, V.I. Shapovalov, Yu.I. Gutko ; Vostochnoukr. nac. un-t im. V. Dalia. – Lugansk : Noulidzh, 2011. – 59 c.
9. Zalyubovskii M. G. On the study of the basic design parameters of a seven-link Spatial mechanism of a part processing machine / M. G. Zalyubovskii, I. V. Panasyuk // International Applied Mechanics, 56, issue 1, April 2020, 54–64.
10. Zalyubovskii M. G. Studying the main design parameters of linkage mechanisms of part-processing machines with two working barrels / M. G. Zalyubovskii, I. V. Panasyuk // International Applied Mechanics, 56, issue 6, November 2020, 762–772.
11. Modestov V.B. Opredelenie moshnosti smesitelya, neobhodimoy pri smeshivanii sypuchih materialov. / V.B. Modestov // Himicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie. – 2003. – № 3. – S. 7–8.
12. Modestov V.B. Smesiteli sypuchih i pastobraznykh materialov : monografiya / V. B. Modestov ; MONMS Ukrainy, Vostochnoukr. nac. un-t im. V. Dalia, Tehnol. in-t. – Lugansk, 2011. – 353 c.
13. Zaliubovskiy M.H. Doslidzhennia statychnoho momentu oporu veduchoho valu haltuvalnoi mashyny zi skladnym prostorovym rukhom robochoi yemkosti / M.H. Zaliubovskiy // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2021. – № 1 (293). – S. 86–92.
14. Zaliubovskiy M.H. Vyznachennia statychnoho momentu oporu veduchoho valu haltuvalnoi mashyny, stvorenoho masoiu sypkoho seredovyscha u robocchii yemkosti / M.H. Zaliubovskiy, I.V. Panasiuk // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky – 2021. – № 2 (295). – S. 116–122.
15. Zaliubovskiy M.H. Doslidzhennia dynamichnoho momentu oporu veduchoho valu haltuvalnoi mashyny, utvorenoho peremishchenniam sypkoho masivu u robocchii yemkosti / M.H. Zaliubovskiy, I.V. Panasiuk, V.V. Malyshev // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2021. – № 3 (297). – S. 94–99.
16. Zaliubovskiy M. G. Synthesis and research of the tumbling machine spatial mechanism / M. G. Zaliubovskiy, I. V. Panasiuk, Yu. I. Smirnov, V. V. Malyshev // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. – 2020. – 178, issue 4. – R. 69–75.

ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕНЕРГЕТИКА

DOI 10.31891/2307-5732-2021-299-4-101-107

УДК 621.373.52:539.1.078

О.В. МОЙСЮК, А.П. САМІЛА

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

ORCID ID: 0000-0001-8279-9116

e-mail: a.samila@chnu.edu.ua

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТОПОЛОГІЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ
СПІРАЛЕПОДІБНОЇ КОТУШКИ ЯКР-ДЕТЕКТОРА ВИБУХОВИХ ТА
НАРКОТИЧНИХ РЕЧОВИН**

Перспективним методом для виявлення переважної більшості вибухових та наркотичних речовин, які у своєму складі містять атоми азоту (^{14}N) або хлору (^{35}Cl , ^{37}Cl), є метод ядерного квадрупольного резонансу. В роботі наведено результати досліджень топології напруженості електромагнітного поля спіралеподібної котушки, призначеної для використання у якості передавально-приймальної антени портативного детектора вибухонебезпечних предметів та наркотичних речовин, принцип дії якого ґрунтується на реєстрації сигналів ізотопу ^{14}N методом ядерного квадрупольного резонансу. З метою визначення топології електромагнітного поля створено розрахункову область, що являється моделлю фізичної конструкції спіралеподібної котушки. Методом кінцевих елементів проведено числове моделювання у середовищі COMSOL Multiphysics. Моделювання проводилось на частоті 3,4 МГц, що наближається до значення частоти виявлення сигналу спаду вільної індукції від нітриту натрію 3,41 МГц. Найкращі результати показала модель котушки з п'ятьма витками, внутрішнім радіусом 25 мм, зовнішнім радіусом 225 мм.

Ключові слова: ядерний квадрупольний резонанс, спіралеподібна котушка, топологія електромагнітного поля, моделювання.

OLEKSANDR V. MOISIUK, ANDRII. P. SAMILA

Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University

**INVESTIGATION ABOUT ELECTROMAGNETIC FIELD TOPOLOGY OF THE SPIRAL COIL FOR NQR
DETECTOR OF EXPLOSIVE AND NARCOTIC SUBSTANCES**

Given the increased likelihood of dangerous situations in Ukraine and abroad related to the intensification and scale of terrorist acts, it is important not only to quickly locate and eliminate the terrible consequences, but also to prevent, including prevent destabilizing factors. That is why remote detection of explosives and drugs is relevant and promising in the direction of strengthening the fight against terrorism and increasing national security.

A promising method for detecting the vast majority of explosives and narcotics that contain nitrogen (^{14}N) or chlorine atoms (^{35}Cl , ^{37}Cl) is the nuclear quadrupole resonance method. In the presence of a gradient of high-frequency field strength inside the sample in the process of forming the response signal is "blurring" the vector of the total spin magnetization, which leads to the expansion of the resonant signal and reduce its amplitude. Increasing the homogeneity of the high-frequency field is especially important for the detection of weak signals observed in the study of substances with a low natural prevalence of magnetoactive nuclei.

The paper presents the results of research on the topology of the electromagnetic field strength of a helical coil designed for use as a transmitting and receiving antenna of a portable detector of explosives and drugs, the principle of which is based on the registration of ^{14}N isotope signals by nuclear quadrupole resonance. To determine the topology of the electromagnetic field, a computational domain was created, which is a model of the physical structure of the spiral coil. The finite element method performed numerical simulations in COMSOL Multiphysics. The simulation was performed at a frequency of 3.4 MHz, which is close to the value of the detection frequency of the attenuation signal of free induction from sodium nitrite 3.41 MHz. The best results were shown by the model of the coil with five turns, internal radius of 25 mm, external radius of 225 mm. The obtained magnetic field diagrams indicate better resistance to radio frequency interference when working in a real experiment. Based on the data obtained during the simulation, a multilayer (Multislice) model of the electric field and the isosurface of the electromagnetic field of the studied model were created, which demonstrate the dynamics and density of the electromagnetic field around the coil. From the obtained graphical dependences it is possible to draw a conclusion about the normalized attenuation of the intensity of electric field radiation from the geometric center of the coil, which, in turn, makes it clear exactly how to place the sample.

Keywords: nuclear quadrupole resonance, spiral coil, topology of the spiral coil, simulation.

Постановка задачі дослідження

В умовах підвищеної ймовірності виникнення небезпечних ситуацій в Україні та за її межами, пов'язаних з активізацією та розмахом терористичних актів, важливим є не лише швидка локалізація та ліквідація жакливих наслідків, але й запобігання, зокрема попередження дестабілізуючих факторів. Саме тому, актуальним і перспективним у напрямі посилення боротьби з тероризмом та підвищення національної безпеки є дистанційне виявлення вибухонебезпечних предметів та наркотичних речовин.

Незважаючи на інтенсивний розвиток науки і техніки, на даний час основними пристроями для виявлення вибухонебезпечних предметів все ще є електромагнітні металошукачі, перші прототипи яких використовувались ще під час Другої світової війни. Металошукачі даного типу мають ряд недоліків. Через те, що електромагнітний сигнал відбитий від протипіхотної міни набагато слабший, оператор повинен підвищувати чутливість детектора. Однак, при більш високій чутливості набагато більше інших металевих об'єктів, таких як цвяхи та уламки корпусів, створюють перешкоди для детектора. Оператор змушений

працювати при дуже високій чутливості та позначати будь-яку тривогу, як потенційну міну. На жаль, наступний крок є найскладнішим – потрібно відокремити наземні міни від “помилкових тривог”. В даний час це визначення “помилкових тривог” все ще робиться за допомогою механічного зондування. Сапер виконує дуже делікатне вилучення із загостреною паличкою для класифікації джерела відбитого сигналу: наземна міна, фальсифікація або просто іржавий цвях. У цьому сенсі пошук мін достатньо легкий, однак, відокремлення їх від інших предметів є важким і надзвичайно небезпечним [1]. Іншим суттєвим недоліком електромагнітних металопішукачів є неможливість виявлення вибухонебезпечних предметів у неметалевих контейнерах (ручні поклажі, конверти, пластикові контейнери та інше) [2].

Альтернативним методом виявлення вибухових речовин є застосування високочутливих парових детекторів. Проте, випаровування вибухових речовин, що використовуються у наземних мінах досить низьке. Також сучасні міни виготовляють з герметично запечатаною вибуховою речовиною в полімерному корпусі. Пари і частинки вибухових речовин досить липкі, тому просочування вибухової речовини через корпус а потім через землю відбувається повільно і неефективно. Проведені дослідження свідчать про те, що в польових умовах навіть високочутливі парові детектори можуть не виявити шлейф випаровування від мін [3].

Перспективним методом для виявлення переважної більшості вибухових та наркотичних речовин, які у своєму складі містять атоми азоту (^{14}N) або хлору (^{35}Cl , ^{37}Cl), є метод ядерного квадрупольного резонансу (ЯКР) [2, 4]. На основі проведеного аналізу та з врахуванням явних переваг методу (неруйнівний вплив, можливість дослідження неоднорідних сумішей, експрес-аналіз без попередньої підготовки зразків) встановлено, що розроблення апаратно-програмних засобів виявлення небезпечних речовин на основі ЯКР є більш доцільним порівняно з іншими методами.

Метою даної роботи є розроблення моделі прийнятно-передавальної антени ЯКР-детектора для виявлення протипіхотних і протипанцирних мін в умовах розмінування та дослідження топології електромагнітного поля в її робочій зоні.

Модель спіралеподібної котушки в середовищі Comsol Multiphysics

Антену ЯКР-детектора представляє собою спіральну радіочастотну котушку, яка працює в ближньому полі [5]. З метою адаптації до функціональних вимог розмінування, розмір котушки вибрано пропорційним розміру протипанцирних мін, з чого слідує, що діаметр котушки становить приблизно 400 мм. Крім того, котушку пропонується виготовити з доступної мідної трубки із зовнішнім діаметром 8 мм та товщиною 2 мм, що забезпечує малу вагу та низьку вартість, а також спрощує процес виготовлення котушки.

Для моделювання та обробки результатів числової моделі були застосовані комп'ютерні програми, які працюють на методах скінченних елементів [6]. Широке застосування просторового моделювання зумовлене складністю формулювання задачі та відсутністю теоретичного обґрунтування розрахунку електричного та магнітного полів, особливо в випадках, коли задачі виходять за рамки класичної теорії електромагнітного поля. В першу чергу це стосується постановки задач розрахунку електромагнітного поля щодо векторних магнітних та скалярних електричних потенціалів [7]. Топологія електричного поля спіралеподібної котушки була проаналізована в середовищі COMSOL Multiphysics, яке пропонує широкі можливості в галузі моделювання електромагнітного, теплового, механічного, акустичного та інших полів [8].

Запропонована геометрична модель спіралеподібної котушки зображена на рис. 1. На торцях котушки з'єднана з прямокутними поверхнями, які являють собою контактні клеми. Два прямокутники, які вступають в ролі затискачів представляють паралельну конфігурацію порту збудження та конденсатора паралельного коливального контуру вхідного кола ЯКР-детектора (рис. 1,а). Котушка геометрично являє собою спіраль із заданими внутрішнім і зовнішнім радіусами, з нульовим осьовим кроком та п'ятьма витками. Також геометрія котушки може бути представлена кривою Безьє з відносним допуском 1Е-5.

З метою імітації ідеальних умов поглинання енергії електромагнітного випромінювання та унеможливлення помилкових відбиттів, геометрична модель котушки інкапсульована повітряною кулею радіусом 1000 мм і перерізом шару 100 мм, визначеною як ідеально узгоджений шар (PML) (рис. 1,б).

Для чисельного моделювання використано високочастотний модуль програмного середовища. Зокрема, для обчислення реакції моделі, яка піддається гармонічному збудженню, використовується дослідження частотної області та адаптивна частотна розгортка для більш точної роздільної здатності за частотою. Хвильове рівняння (1) описує область повітряної сфери PML та область товщини мідної трубки. Доменом порожнистої трубки, яка насправді містить повітря, можна знехтувати, оскільки він відіграє мінімальне значення при розрахунку розподілу електромагнітного поля за межами зони виявлення. Таким чином, вимоги до обчислювальних ресурсів суттєво зменшуються.

$$\nabla \times \mu_r^{-1} (\nabla \times E) - k_0^2 \left(E_r - \frac{j\sigma}{\omega \epsilon_0} \right) E = 0. \quad (1)$$

Для представлення контактних клем котушки додаються металеві провідники без втрат, що з'єднують порт збудження з торцевими клемами котушки, використовуючи граничну умову (2) ідеального електричного провідника (ПЕС)

$$n \times E = 0. \quad (2)$$

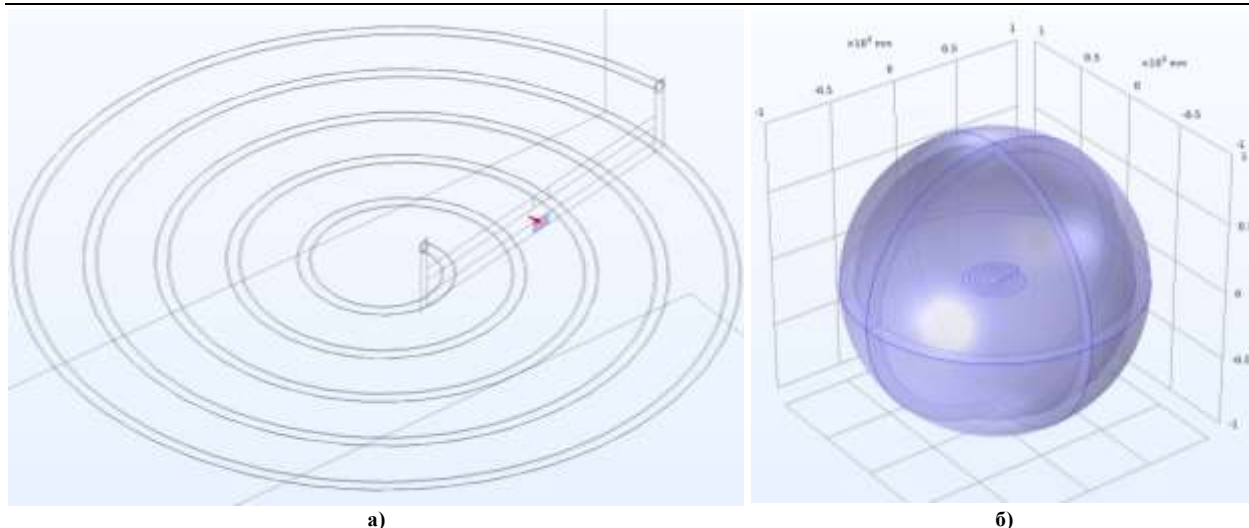


Рис. 1. Геометрична модель спіралеподібної котушки: а) загальний вигляд з торцевими клемами, портом збудження та відповідним конденсатором; б) котушка інкапсульована повітряною кулею радіусом 1000 мм і PML шаром 100 мм

Для гармонійного збудження котушки, на перетині металевих клем котушок (PEC) із характерним імпедансом 50 Ом визначається рівномірний порт із зосередженими параметрами. Для зосередженого елемента та порта вводимо рівняння закону Ома (3)

$$Z = \frac{V_1}{I_1}. \quad (3)$$

Для гармонійного збудження котушки Lumped Port розміщується між клемами котушок з характеристичним опором 50 Ом. Його клеми слугують для формування лінії передавання модульованого Гаусового імпульсу різної частоти. Центральна частота на якій проводились моделювання становить 3,4 МГц, що наближається до значення частоти виявлення нітриту натрію 3,41 МГц. Незначна різниця частот 0,01 МГц не становить проблем для аналізу результатів моделювання, оскільки є не значною щодо характеристик випромінювання при порівняльному оцінюванні котушок з різною геометрією. Отже, для того, щоб дослідити імпеданс на частоті 3,4 МГц ємнісний Lumped Element додається паралельно Lumped Port на перетині меж Perfect Electric Conductor.

На попередньому етапі до моделювання остаточної геометричної моделі, створення та розрахунку електромагнітних параметрів було проведено попередній аналіз чутливості сітки. Параметри сітки повинні бути такими, які б забезпечували компроміс між часом моделювання та точністю результатів. З цією метою був визначений глобальний параметр сітки (h1), який би дробово розподілявся по всіх доменах та межах створеної моделі. Також параметр (h1) повинен бути сумісним розмірами остаточної параметризованої моделі: спіральна котушка з п'ятьма витками, внутрішній радіус (tr) 25 мм, зовнішній радіус (br) 225 мм і повітряна куля радіусом 1000 мм із шаром PML 100 мм. Також було розраховано ємність конденсатора коливального контуру, яка складає 394 пФ. Для того, щоб оцінити остаточне значення (h1) та отримання оптимальних параметрів сітки було розпочато параметричне дослідження частотного домену щодо розміру сегментів сітки, точністю та часом моделювання для параметризованих значень в діапазоні від 15 мм з розміром кроку 0,1 мм. Було встановлено, що максимальними значеннями, які не могли б суттєво погіршити отримані дані, є: максимальний розмір елемента 200 мм, мінімальний розмір елемента 4 мм, максимальний крок приросту розміру елемента 1,5 мм, коефіцієнт кривизни 0,6 і роздільна здатність вузьких областей 0,5. Наведені значення повинні бути підібрані окремо для кожної геометричної форми для підвищення ефективності моделювання та запобігання перетину елементів сітки в місцях викривлення геометрії моделі.

Сказане вище особливо актуальне у випадку імпорту геометричної моделі з інших програмних засобів. Для імпортованих моделей найкращим рішенням буде застосування булевих операцій поєднання та різниці.

Зовнішній вигляд параметричної сітки накладеної на геометрію спіралеподібної котушки зображено на (рис. 2,а) та збільшений вигляд сітки на (рис. 2,б).

Аналіз результатів

Оброблення результатів здійснено вбудованими засобами COMSOL з допомогою об'єктів і опцій пункту «Results». В цьому пункті автоматично створюються файли результатів моделювання, які надалі будуть використані, як об'єкти необхідні для графічного представлення результатів після завершення розрахунку. У вікні «Graphics» графічно відображаються представлені результати чисельного моделювання. Параметри відображення задаються окремо для кожного графічного результату, і в основному залежать від побажань користувача.

Для того, щоб знайти резонансні режими для різних геометрій котушок дослідження частотної області було розпочато з кроком 1 МГц. Для знайдених режимів проводилось повторне дослідження частотної області з кроком 0,1 МГц. Найкращу геометрію котушки та більш точні резонансні режими було знайдено із застосуванням адаптивних частотних розмахів з кроком 0,01 МГц. Досліджувані моделі було

адаптовано до частотної області 3,4 МГц (що є відповідною частотною областю, що представляє інтерес для виявлення ЯКР) за допомогою ємнісного Lumped Element, розміщеного паралельно щодо Lumped Port.

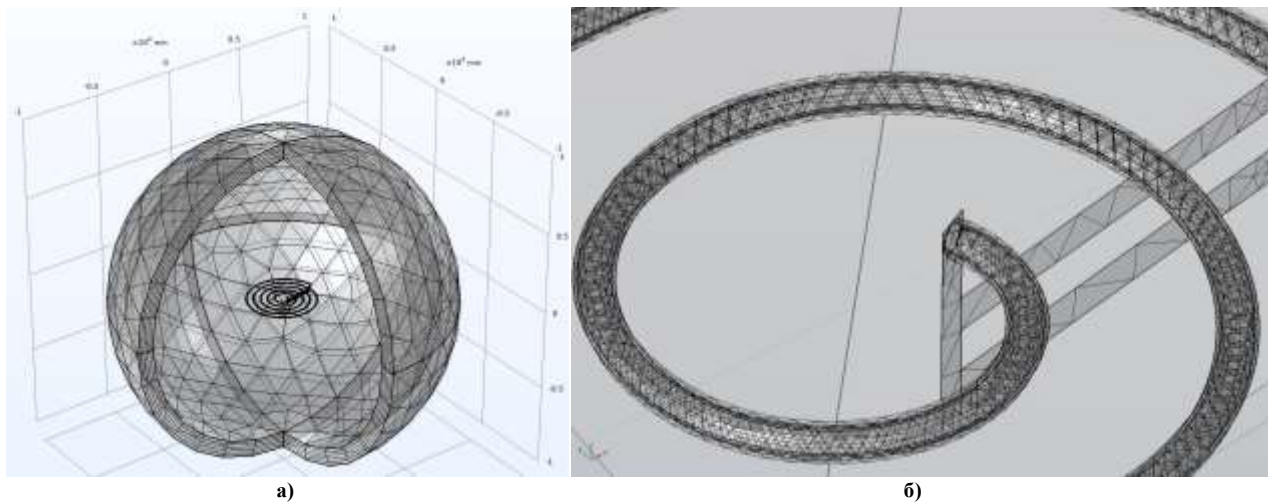


Рис. 2. Сітка кінцевих елементів отримана унаслідок тріангуляції розрахункової області: а) загальний вид; б) деталізоване представлення фрагменту котушки

З отриманих під час моделювання даних було створено багатопланову (Multislice) модель електричного поля (рис. 3) та ізоповерхні електромагнітного поля (рис. 4) досліджуваної моделі. Ізоповерхні зазвичай відображаються за допомогою комп'ютерної графіки і використовуються як методи візуалізації даних при обчислювальній динаміці рідин та полів, що дозволяє інженерам вивчати особливості потоку поля навколо об'єктів, таких як антени. Ізоповерхні, як правило, є популярною формою візуалізації для об'ємних наборів даних, оскільки, їх можна відтворити за допомогою простої полігональної моделі, яку можна дуже швидко відобразити графічно на екрані.

Наведені зображення демонструють динаміку та щільність електромагнітного поля навколо котушки. Пучність довкола Lumped port (порт живлення) та Lumped element (ємнісний елемент) зумовлені їх близьким розташуванням відносно один одного та їхньою близькістю до котушки. В реальних умовах пучність не буде спостерігатись, внаслідок віддаленості котушки від обчислювального пристрою.

З усіх досліджених моделей найкращі параметри вибіркості, коефіцієнту напрямленої дії та діаграм напрямленості має геометрія котушки з параметрами внутрішнього радіусу 25 мм, зовнішнього радіусу 225 мм, зовнішнім діаметром трубки 8 мм і внутрішнім діаметром трубки 6 мм. Для параметричного моделювання котушки було підібрано конденсатор ємністю 394 пФ. Результати моделювання частотної залежності імпедансу порту наведені на рис. 5.

В процесі моделювання також були отримані графіки інтенсивності випромінювання електромагнітного поля в робочій зоні котушки на відстанях 40 мм (рис. 6) та 100 мм (рис. 7).

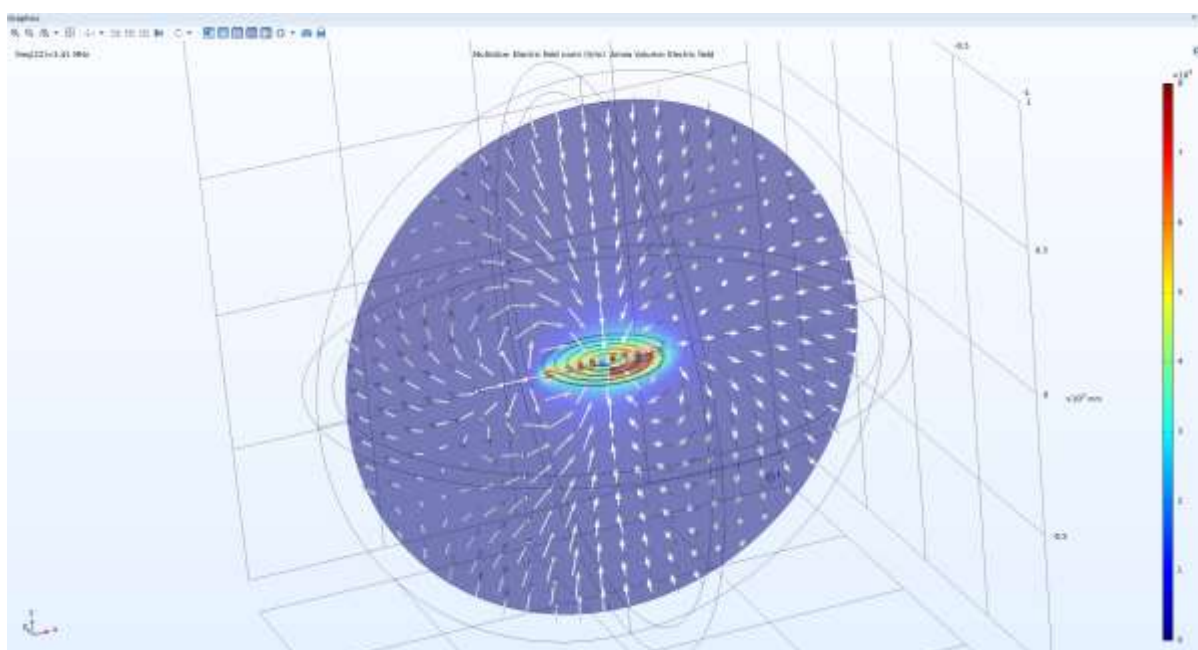


Рис. 3. Multislice модель електричного поля в COMSOL Multiphysics

З наведених графіків можна зробити висновок про нормалізоване затухання інтенсивності випромінювання електричного поля від геометричного центру котушки, що своєю чергою дає зрозуміти, як саме необхідно розмістити досліджуваний зразок [9].

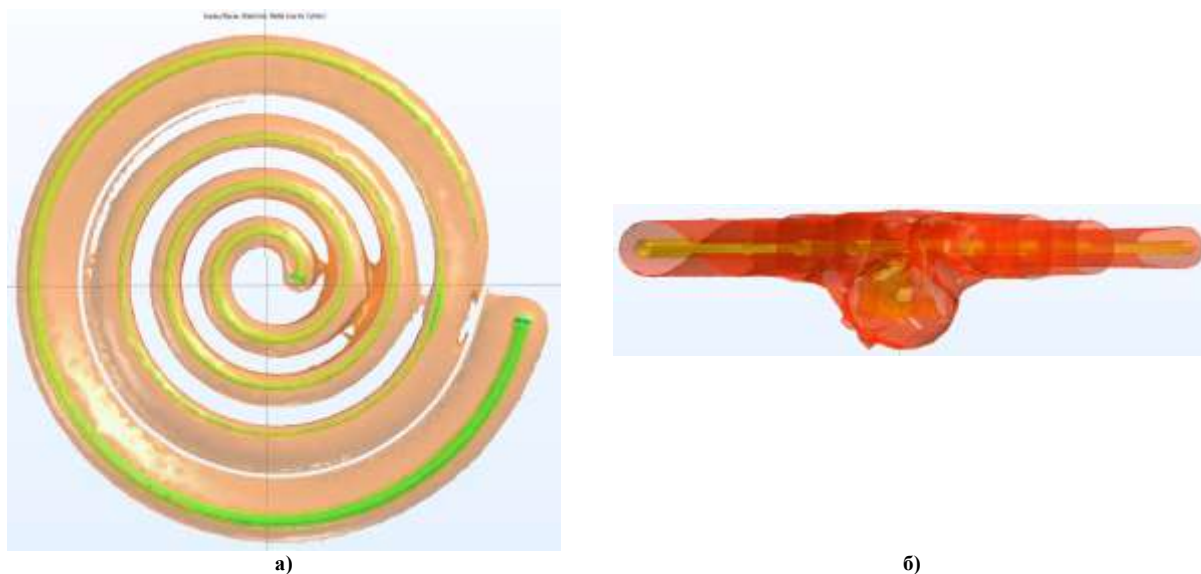


Рис. 4. Ізоповерхня електromагнітного поля досліджуваної моделі: а) вигляд зверху; б) вигляд збоку

Не зважаючи на те, що спроектована котушка виконує функції передавально-приймальної антени, при моделюванні вона налаштовувалась лише в режимі передавання. Обґрунтування цього підходу полягає у використанні “теореми взаємності”. Практично, вклад у отриманий сигнал відгуку від речовини-зразка пропорційний імпульсу збудження в такому ж положенні, як і у випадку роботи даної котушки в режимі передавання [10].

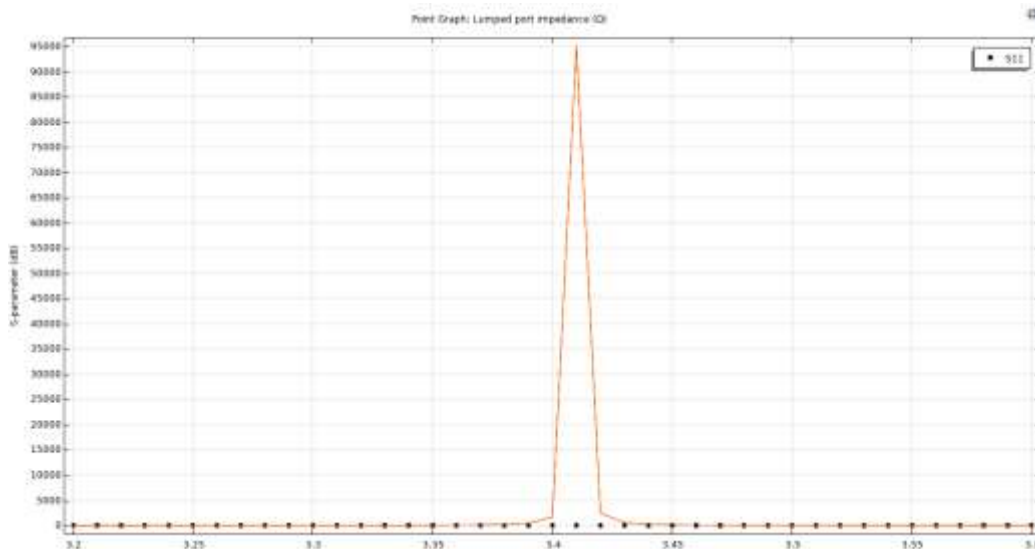


Рис. 5. Частотна залежність імпедансу порту при ємності конденсатора 394 пФ

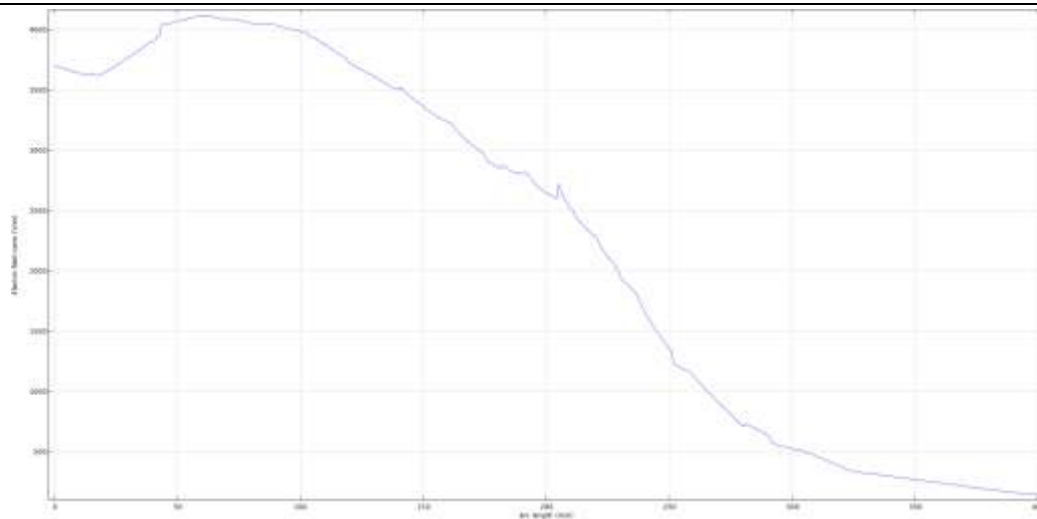


Рис. 6. Графік інтенсивності випромінювання електричного поля від центру котушки. На відстані від котушки 40 мм та частоті 3,41 МГц

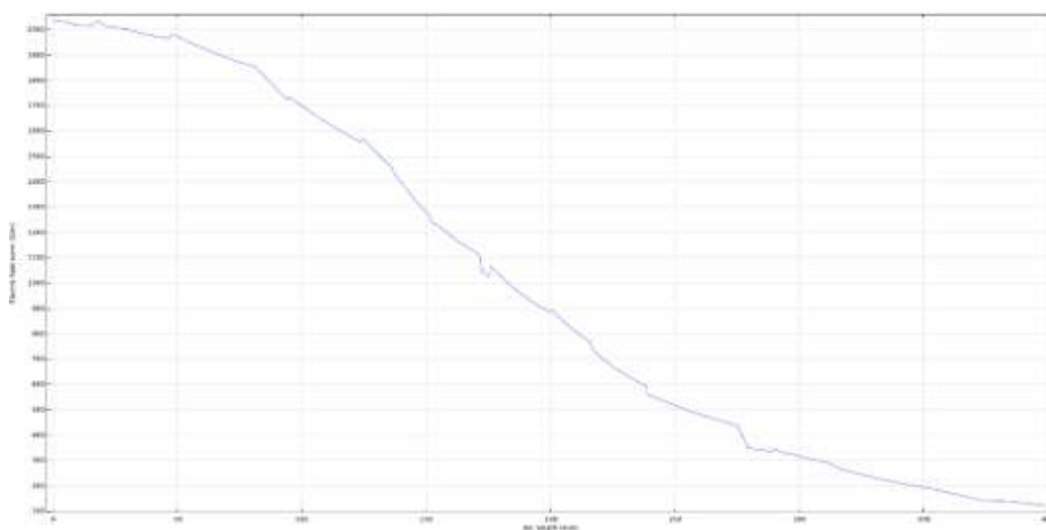


Рис. 7. Графік інтенсивності випромінювання електричного поля від центру котушки. На відстані від котушки 100 мм та частоті 3,41 МГц

Висновки

У даній роботі представлено концептуальні етапи електромагнітного моделювання спіральної радіочастотної передавально-приймальної котушки ЯКР-детектора для виявлення вибухонебезпечних та наркотичних матеріалів.

Найкращі результати показала модель котушки з п'ятьма витками, внутрішнім радіусом (tr) 25 мм, зовнішнім радіусом (br) 225 мм. Отримані діаграми магнітного поля свідчать про кращу стійкість до радіочастотних перешкод при експлуатації в умовах реального експерименту. Хоча вищий коефіцієнт напрямленої дії начебто виглядав би вигіднішим для такої конструкції котушки, але в той же час її сприйнятливість до джерел шуму зростає рівнозначно, що призвело б до погіршення експлуатаційних характеристик.

Модель (tr)25(br)225 демонструє узгодженість відносних залежностей затухання інтенсивності випромінювання електричного поля, отриманих за допомогою чисельного моделювання.

Література

1. Russell L., "Detection of Land Mines (Part I)," Canadian Army Journal, No. 1, November 1947.
2. Apih T., Rameev B., Mozzhukhin G., Barras J. (Eds.) Magnetic Resonance Detection of Explosives and Illicit Materials. NATO Science for Peace and Security Series B: Physics and Biophysics – Springer, 2014. 168 p.
3. Gasser R. and Thomas T., "Prodding to Detect Mines: A Technique with a Future," in 2nd IEE International Conference on Detection of Abandoned Landmines, Edinburgh, United Kingdom, October 1998.
4. Samila A., Haliuk S., Krulikovskiy O. Structural and functional synthesis of the radioelectronic means of a pulsed NQR. "Development and application systems" The 15th International Conference DAS 2020, Romania, Suceava, may 21–23 2020. Suceava, 2020, P. 112–116.
5. Браїловський В.В. Оптимізація топології напруженості височастотного поля давача радіоспектрометра / В.В. Браїловський, А.П. Саміла, О.Г. Хандожко // Вісник національного університету

«Львівська політехніка». – 2009. – № 646. – С. 46–51.

6. Samila A. Simulation of magnetic field topology in a saddle-shaped coil of nuclear quadrupole resonance spectrometer, *Progress In Electromagnetics Research Letters*, 2015, Vol. 56, P. 83–88.

7. Glukhenkyi O.I., Goryslavets Yu.M., Tokarevskyi A.V. Three-dimensional simulation of single-phase electromagnetic stirrer of liquid metal. *Technical Electrodynamics*. 2013. No. 5. P. 77–84.

8. Understand, Predict, and Optimize Engineering Designs with the COMSOL Multiphysics® Software COMSOL Multiphysics®. 2017. URL: <https://www.comsol.com/comsol-multiphysics>.

9. Расчет и проектирование магнитных систем : учебное пособие [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа : http://open.ifmo.ru/images/b/b6/144261_book.pdf.

10. Fukushima E., Roeder S.B.W., *Experimental Pulse NMR: A nuts and bolts approach*, Addison-Wesley, 1981.

References

1. Russell L., "Detection of Land Mines (Part I)," *Canadian Army Journal*, No. 1, November 1947.
2. Apih T., Rameev B., Mozhukhin G., Barras J. (Eds.) *Magnetic Resonance Detection of Explosives and Illicit Materials*. NATO Science for Peace and Security Series B: Physics and Biophysics – Springer, 2014. 168 p.
3. Gasser R. and Thomas T., "Prodding to Detect Mines: A Technique with a Future," in *2nd IEE International Conference on Detection of Abandoned Landmines*, Edinburgh, United Kingdom, October 1998.
4. Samila A., Haliuk S., Krulikovskiy O. Structural and functional synthesis of the radioelectronic means of a pulsed NQR. "Development and application systems" The 15th International Conference DAS 2020, Romania, Suceava, may 21–23 2020. Suceava, 2020, P. 112–116.
5. Brailovskyi V.V. Optymizatsiia topolohii napruzhennosti vysokochastotnoho polia davacha radiospektrometra / V.V. Brailovskyi, A.P. Samila, O.H. Khandozhko // *Visnyk natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika»*. – 2009. – № 646. – С. 46–51.
6. Samila A. Simulation of magnetic field topology in a saddle-shaped coil of nuclear quadrupole resonance spectrometer, *Progress In Electromagnetics Research Letters*, 2015, Vol. 56, P. 83–88.
7. Glukhenkyi O.I., Goryslavets Yu.M., Tokarevskyi A.V. Three-dimensional simulation of single-phase electromagnetic stirrer of liquid metal. *Technical Electrodynamics*. 2013. No. 5. P. 77–84.
8. Understand, Predict, and Optimize Engineering Designs with the COMSOL Multiphysics® Software COMSOL Multiphysics®. 2017. URL: <https://www.comsol.com/comsol-multiphysics>.
9. Raschet i proektirovanie magnitnyh sistem : uchebnoe posobie [Elektronnij resurs]. – 2017. – Rezhim dostupu : http://open.ifmo.ru/images/b/b6/144261_book.pdf.
10. Fukushima E., Roeder S.B.W., *Experimental Pulse NMR: A nuts and bolts approach*, Addison-Wesley, 1981.

В.О. БІЛИЙ

vitaliy2034v@gmail.com

В.О. БІЛИЙ

Національний технічний університет України «Київський Політехнічний Інститут імені Ігоря Сікорського»

bilyi.vl204@gmail.com

В.М. БОНДАРЕНКО

Національний технічний університет України «Київський Політехнічний Інститут імені Ігоря Сікорського»

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1663-4799>

vicnbondarenko@gmail.com

Н.О. БОНДАРЕНКО

Національний технічний університет України «Київський Політехнічний Інститут імені Ігоря Сікорського»

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9237-8187>

nalbondarenko@gmail.com

ПРИСТРІЙ ДЛЯ ПРИШВИДШЕННЯ РЕАБІЛІТАЦІЇ ПІСЛЯ ТРАВМ НИЖНІХ КІНЦІВОК

Для якісної та швидкої реабілітації після важкої травми нижніх кінцівок вкрай необхідно регулювати та поступово збільшувати навантаження на хвору ногу. Дана робота присвячена розробці спеціального пристрою, який складається з насадок на милиці, що вимірюють навантаження на хвору нижню кінцівку й передають результати вимірювань на смартфон для інформування лікаря. Нова методика реабілітації із застосуванням цього пристрою демонструє позитивні результати. Подальша модернізація пристрою спрямована на його здешевлення та збільшення тривалості використання насадок, що дасть змогу запустити серійне виробництво пристрою.

Ключові слова: тензодатчик, мікроконтролер, реабілітація, травми нижніх кінцівок, насадки на милиці.

VITALIY BILYI, VLADYSLAV BILYI, VIKTOR BONDARENKO, NATALIYA BONDARENKO

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

DEVICE FOR ACCELERATING REHABILITATION AFTER LOWER LIMBS INJURIES

For high-quality and fast rehabilitation after a severe injury of lower limbs, it is extremely necessary to adjust and gradually increase the load on the patient's leg. This work is devoted to the development of a special device consisting of attachments for crutches that measure the load on the patient's lower limb and transmit the measurement results to a smartphone to inform a doctor.

It is possible to accelerate rehabilitation by rather exact regulation and gradual increase of loading on a sick leg. The procedure and scheme of rehabilitation is proposed. Smart nozzles on crutches have been proposed to monitor the load on a sore foot. Functionally, the device consists of a pair of nozzles for crutches. A strain gauge is integrated into each nozzle, which is connected to the wireless information transmission unit. In our case, we used a strain gauge DYHW-116 and a microcontroller MCU ESP32, designed to process and transmit information. The doctor determines the rehabilitation program according to the diagnosis and prescribes it to the patient, and the patient installs the application on the smartphone and enters his account (where there is already a rehabilitation program). The developed rehabilitation device includes a strain gauge, control board, screws and piston, which are housed in the housing. Printing parts can use ABS plastic.

The patient uses nozzles on crutches, which determine the load on the patient's leg according to the program, as well as captures their own feelings on the smartphone. The algorithm of the device allows you to get Statistics, which is sent to the doctor (nozzles - smartphone - doctor). The doctor can change the rehabilitation program if necessary.

Rehabilitation techniques using this device show positive results. Further modernization of the device is aimed at making it cheaper and increasing the duration of using attachments, which will allow mass production of the device.

Key words: tense sensor, microcontroller, rehabilitation, lower limbs injuries, attachments for crutches

Вступ

Проблема якісної та швидкої реабілітації після важких травм нижніх кінцівок завжди є актуальною, оскільки лікування зазвичай потребує доволі багато часу. Пришвидшити реабілітацію можна шляхом досить точного регулювання й поступового збільшення навантаження на хвору ногу.

За стандартною практикою це роблять за допомогою звичайних милиць, покладаючись на власні відчуття хворого. Такий підхід не є надійним, оскільки людина не може чітко регулювати навантаження на ногу, що призводить до збільшення терміну реабілітації, а в деяких випадках, навіть, до травм або рецидиву. Для моніторингу навантаження на хвору ногу запропоновано розумні насадки на милиці. Функціонально пристрій складається з пари насадок для милиць. В кожену насадку інтегровано тензодатчик, який підключено до блоку бездротової передачі інформації. В нашому випадку використано тензодатчик DYHW-116 [1] та мікроконтролер MCU ESP32, призначений для обробки і передачі інформації [2].

Відомі інші конструкції насадок для милиць, наприклад, що дозволяють полегшити пересування хворого в період реабілітації шляхом зниження ризику ковзання милиць і підвищення їх стійкості при використанні (патент на корисну модель RU 162715 і патент на корисну модель № UA 39990 [3]). На жаль, подібні пристрої не дають можливості вимірювати та регулювати навантаження на хвору нижню кінцівку. Найбільш близьким до вирішення даної проблеми є пристрій для вимірювання навантаження на милицю (патент на корисну модель ES1249804, МПК A61B5/103; A61H3/02, заявка № ES20200031029U від

22.05.2020 [4]). Проте, цей відомий пристрій не дає змогу лікареві слідкувати за прогресом реабілітації хворого та своєчасно змінювати програму. Також цей пристрій не дає зворотного зв'язку пацієнту.

Методика реабілітації

Порядок і схема проходження реабілітації (рис. 1):

1. Лікар за діагнозом визначає програму реабілітації та призначає її пацієнту.
2. Пацієнт встановлює додаток на смартфон і входить в свій обліковий запис (де вже є програма реабілітації).
3. Пацієнт використовує насадки на милиці, що визначають навантаження на хвору ногу згідно з програмою, а також фіксує власні відчуття на смартфоні.
4. Статистика відправляється лікареві (насадки - смартфон - лікар).
5. Лікар в разі необхідності може змінити програму реабілітації.



Рис. 1. Схема проходження реабілітації

Пристрій для реабілітації

Зовнішній вигляд прототипу

На рис. 2 показаний зовнішній вигляд прототипу. Для друку використовується пластик ABS:



Рис. 2. Зовнішній вигляд прототипу

Будова прототипу

Прототип складається з наступних частин (рис. 3):

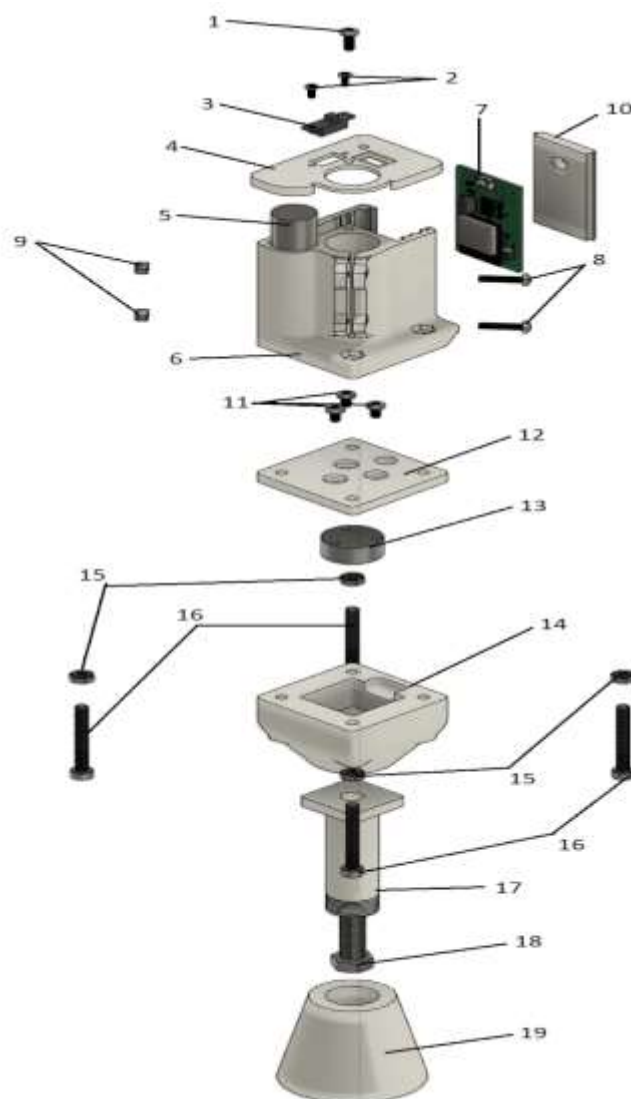


Рис. 3. Внутрішня будова прототипу

- 1) гвинт верхньої кришки;
- 2) гвинти перемикача (2 шт.);
- 3) перемикач;
- 4) верхня кришка;
- 5) акумулятор;
- 6) корпус для електроніки;
- 7) плата керування;
- 8) гвинти для фіксації милиці (2 шт.);
- 9) контргайки для фіксації милиці (2 шт.);
- 10) висувна стінка блоку електроніки;
- 11) гвинти фіксації тензодатчика (3 шт.);
- 12) проміжна пластина;
- 13) тензодатчик;
- 14) корпус;
- 15) високоміцні гайки (4 шт.);
- 16) високоміцні гвинти (4 шт.);
- 17) поршень;
- 18) головний болт;
- 19) гумова насадка.

Вибір тензодатчика

Кожна насадка має бути компактною та легкою, а також витримувати навантаження в 100 кг і мати похибку в межах 1 кг. Тензодатчик обирався поміж трьох варіантів, але висунутим вище умовам задовольняє лише DYMН-116. Основні характеристики тензодатчиків наведенні нижче (табл. 1). Більш детально ознайомитись з характеристиками тензодатчиків TAL208/DYLY-106/DYMН-116 можна в документації [1].

Таблиця 1

Назва тензодатчика	Максимальне перевантаження*, %	Точність, %	Форма	Габарити**, мм
TAL208	150	5	Паралелепіпед	150×35×40
DYLY-106	150	5	Паралелепіпед	25×12×30
DYMH-116	150	0,2	Циліндр	20×12

* — наведене значення в відсотках відносно 100 кг;

** — для форми “Паралелепіпед” формат: довжина × ширина × висота; для форми “Циліндр” формат: діаметр × висота.

Електронна частина пристрою

Розглянемо структурну схему електронної частини, що зображена на рис. 4. Червоним кольором на схемі позначені блоки живлення, синім – блоки периферії. Усі вхідні червоні лінії вказують на напругу живлення блоку, що поступає з перетворювача/джерела напруги. Передача даних між блоками та напрямом передачі зображено чорними лініями.

Живлення основної частини схеми відбувається від напруги акумуляторної батареї VBATT. Вона подається на імпульсний підвищуючий перетворювач-стабілізатор напруги на мікросхемі MT3608, з якого отримуємо 5 В, що використовуються для живлення тензодатчика, попередньо пройшовши через НЧ фільтр. Також 5 В подаються на лінійний стабілізатор AP-1117-3.3V, з якого живиться мікроконтролер ESP32-WROOM-32. При підключенні USB кабелю, акумулятор починає заряджатись, також подається живлення на USB-UART перетворювач, що використовується для вивантаження прошивки на пристрій.

В якості обробника і передавача інформації використовується MCU ESP32-WROOM-32 (надалі ESP32), який обрано тому, що він має підтримку Bluetooth з низьким енергоспоживанням (BLE) [5], та два ядра, одне з яких працює з BLE периферією, а інше повністю використовується для прикладної програми, що дає суттєвий приріст продуктивності.

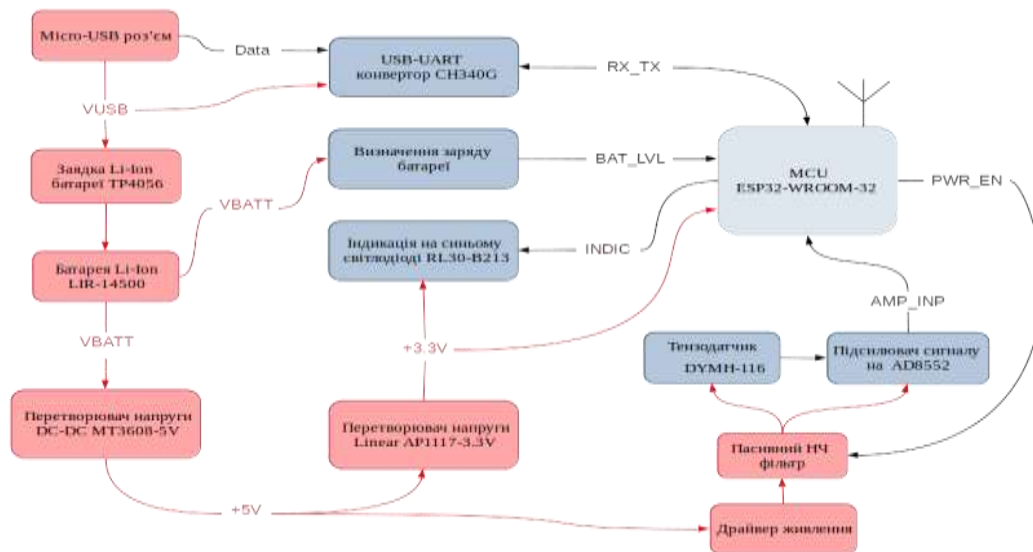


Рис. 4. Структурна схема електронної частини

Алгоритм роботи пристрою полягає в наступному. Спочатку, через сигнал PWR_EN, дозволяємо драйверу живлення подати напругу на тензодатчик та підсилювач. Далі вихідний сигнал з тензодатчика, що залежить від прикладеної до нього ваги, подається на підсилювач, з якого зчитується ESP32 за допомогою аналого-цифрового перетворювача. Також, в той самий час, зчитується напруга акумуляторної батареї для визначення рівня заряду. Далі формується пакет даних для передачі по BLE користувачу на смартфон, або, якщо немає підключення, пакет даних зберігається в пам'яті.

Розглянемо і обґрунтуємо деякі прийняті технічні рішення, а саме:

- підсилення вихідної напруги тензодатчика;
- побудова схеми підсилення тензодатчика;
- керування напругою живлення тензодатчика та підсилювача.

Підсилення вихідної напруги тензодатчика. Принцип роботи датчика ваги заснований на зміні електричної напруги пропорційно вазі вимірюваного предмета. У даному пристрої використовується датчик ваги, виконаний на пружних резисторах, включених за мостовою схемою Уінстона (напівмостова схема менш чутлива). При зміні ваги, що діє на датчик, змінюється і опір тензорезисторів, тим самим плечі моста розбалансовуються, а отже з'являється різниця напруг на виході мостової схеми (рис. 5). Для DYMH-116

червоний і чорний виводи це плюс і мінус живлення, а зелений і білий відповідно плюс і мінуси сигнальні. Необхідно підсилити різницю напруг на останніх двох виводах. Оскільки різниця напруг на сигнальних виводах має порядок міліВольт, її потрібно підсилити до 3.3 В щоб ESP32 міг коректно зчитати сигнал для подальшого перетворення в вагу.



Рис. 5. Схема тензодатчика

Для розрахунку коефіцієнта підсилення необхідно врахувати основний параметр датчика — так звану чутливість, тобто яка напруга буде на виході датчика (в міліВольтах), якщо його навантажити на максимум, при напрузі живлення в 1 Вольт.

Отже, маємо тензодатчик, що працює з діапазоном навантажень 0-100 кг, чутливість (U_{sens}) якого 1.6 мВ/В. Рекомендована виробником мінімальна напруга живлення становить 4.5 В, тому обираємо напругу живлення з запасом: 5 В (VCC).

Розрахуємо напругу на виході датчика при навантаженні в 100 кг:

$$U_{OutMax} = VCC * U_{sens} = 1.6 * 5 = 8 \text{ мВ} . \quad (1)$$

Оскільки мікроконтролер ESP32 на аналоговий вхід приймає від 0 В (нульове значення ваги) до 3.3 В (максимальне навантаження, в нашому випадку 100 кг). При максимальному навантаженні напруга на виході підсилювача має бути 3.3 В. Розрахуємо необхідний коефіцієнт підсилення:

$$K_U = \frac{3.3 \text{ В}}{8 \cdot 10^{-3} \text{ В}} = 41 . \quad (2)$$

Побудова схеми підсилення тензодатчика. Схема тензодатчика є мостовою з тензорезисторами, для підсилення якої необхідно вибрати операційний підсилювач з низькою напругою зміщення, великим вхідним опором та низьким рівнем залежності дрейфу нуля від часу. Базуючись на вищевказаних критеріях, обрана мікросхема прецизійного операційного підсилювача AD8552.

Перейдемо до побудованої схеми підсилення, що зображена на рис. 6, як два послідовно включених неінвертуючих підсилювача.

Значення пінів входу J501 схеми наступні:

- 1 — Signal-(Vsig-);
- 2 — GND (Живлення -);
- 3 — VCC (Живлення +);
- 4 — Signal+(Vsig+).

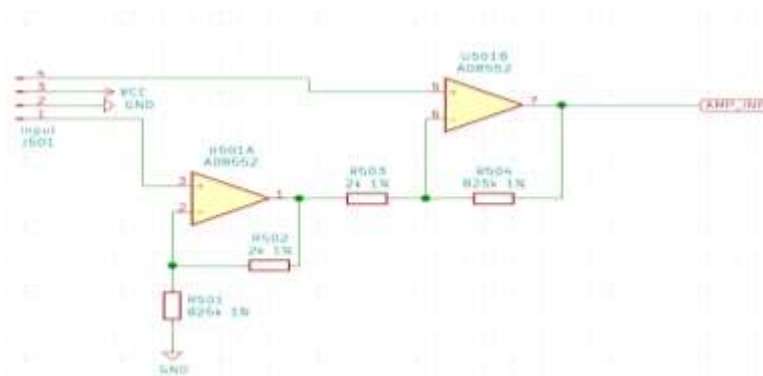


Рис. 6. Схема підсилення тензодатчика

Перший підсилювач U501A змінює рівень опорної напруги другого U501B. Тобто вихідний сигнал з U501A подається на інвертуючий вхід U501B, тому підсилювач U501B підсилює диференційний вхідний сигнал ($V_{sig+} - V_{sig-}$). Така схема забезпечує набагато більший вхідний імпеданс ніж при використанні одного ОУ на неінвертованому підсилювачі.

Диференційний коефіцієнт підсилення (K_{dm}) дорівнює:

$$K_{dm} \approx \left(1 + \frac{R_{504}}{R_{503}} \right) \quad (3)$$

А коефіцієнт підсилення синфазного (K_{cm}), некорисного сигналу буде дорівнювати:

$$K_{cm} = \frac{(R_{504} \cdot R_{502} - R_{503} \cdot R_{501})}{R_{501} \cdot R_{503}} = \frac{R_{504} \cdot R_{502}}{R_{501} \cdot R_{503}} - 1 \quad (4)$$

Відповідно, якщо:

$$\frac{R_{504}}{R_{503}} = \frac{R_{502}}{R_{501}} \quad (5)$$

то коефіцієнт підсилення синфазного сигналу $K_{cm} = 0$. З цього можемо зробити висновок, що в ідеальному випадку, коли резистори будуть без відхилення, схема буде підсилювати тільки потрібний нам диференційний сигнал, а синфазний відкидати, тобто СММР буде прямувати до нескінченності. В реальних умовах K_{cm} не може дорівнювати нулю хоча б тому, що резистори мають відхилення.

Коефіцієнт підсилення має бути 412.5, тобто виходячи з формули (3):

$$K_{dm} = 1 + \frac{R_{504}}{R_{503}} = 412.5. \quad (6)$$

Номінали резисторів можна вибирати з оглядом на те, що найменший з них повинен був більше ніж 1.5 кОм (для стабільності роботи схеми). Також для більшої точності роботи підсилювача краще обирати резистори з допуском не більше як в 1%. Згідно з вище сказаним, були обрані наступні номінали $R_{502}=R_{503}=2$ кОм, $R_{504}=R_{501}=825$ кОм.

Керування напругою живлення тензодатчика та підсилювача. Насадки живляться від акумуляторів, а тензодатчик в увімкненому стані споживає струм 5 мА, при тому що його робота є необхідною тільки в момент замірів. В інший час він може бути вимкнений для економії енергії, тому була розроблена схема керування живленням (рис. 7) на базі двох MOS FET транзисторів, що забезпечує включення і виключення підсилювача та тензодатчика.

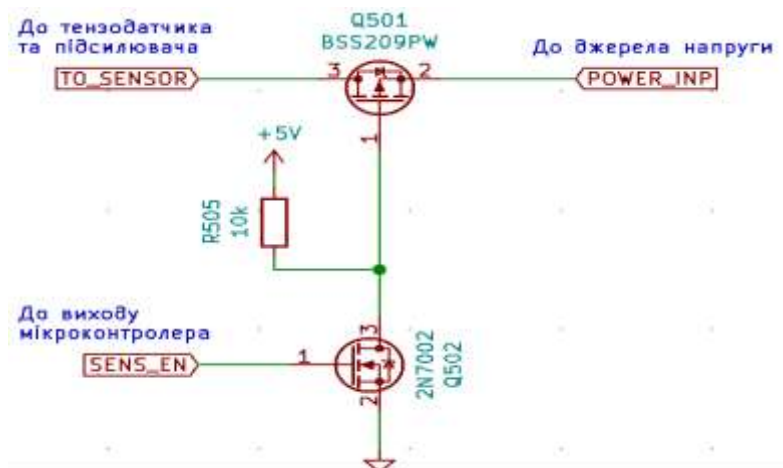


Рис. 7. Схема керування живленням тензодатчика та підсилювача

Принцип роботи схеми досить простий: при подачі високого рівня на вхід SENS_EN, N-канальний транзистор Q502 відкриється, тоді напруга на затворі (вивід 1) Р-канального транзистора Q501 впаде до нуля, й він також відкриється, подавши напругу живлення на вивід POWER_INP на датчик, підключений до виходу TO_SENSOR.

Висновок. Розглянуто побудову пристрою для пришвидшення реабілітації після травм нижніх кінцівок. Запропоновано структурну схему електронної частини пристрою та алгоритм його роботи, обґрунтовано прийняті технічні рішення. Нова методика реабілітації із застосуванням цього пристрою дає наступні результати: в більш ніж 30 пацієнтів, що проходили лікування з пристроєм, не було зафіксовано жодного рецидиву. Таким чином, впровадження розробленого і запатентованого пристрою [6] для вимірювання навантаження на м'язи в процес реабілітації після важких травм нижніх кінцівок сприятиме підвищенню ефективності відновлення нижніх кінцівок, зниженню ризику рецидивів та зменшенню терміну реабілітації пацієнтів.

Література

1. Тензодатчики [Електронний ресурс] // Радиолюбитель. – 2015. – Режим доступу : <http://www.radiomexanik.spb.ru/8.-primenenie-elektricheskikh-signalov/7.-tenzodatchiki.html>.
2. ESP32 Series Datasheet [Електронний ресурс] // Espressif Systems Version 3.7. – 2021. – Режим доступу : https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf.
3. Патент України 39990U. Мадриченко С. – Київ : Державне патентне відомство України, 2009.
4. Sanchez, S., Corchado, R., Calderon, L. (2020). Patente Spain ES1249804U. Oficina Española de Patentes y Marcas.
5. Townsend K., Cufi C., Akiba, Davidson R. Getting Started with Bluetooth Low Energy: Tools and Techniques for Low-Power Networking (1st ed.). Sebastopol, CA: O'Reilly Media, 2014. 180 p.

6. Попов І., Воронкова Є., Білий Владислав, Білий Віталій (2021). Патент України 146685U. Київ: Державне патентне відомство України.

References

1. Tenzodatchyky [Elektronnyi resurs] // Radyoliubytel. – 2015. – Rezhym dostupu : <http://www.radiomexanik.spb.ru/8.-primenenie-elektricheskikh-signalov/7.-tenzodatchiki.html>.
2. ESP32 Series Datasheet [Elektronnyi resurs] // Espressif Systems Version 3.7. – 2021. – Rezhym dostupu : https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf.
3. Patent Ukrainy 39990U. Madrychenko S. – Kyiv : Derzhavne patentne vidomstvo Ukrainy, 2009.
4. Sanchez, S., Corchado, R., Calderon, L. (2020). Patente Spain ES1249804U. Oficina Española de Patentes y Marcas.
5. Townsend K., Cufi C., Akiba, Davidson R. Getting Started with Bluetooth Low Energy: Tools and Techniques for Low-Power Networking (1st ed.). Sebastopol, CA: O'Reilly Media, 2014. 180 p.
6. Popov I., Voronkova Ye., Bilyi Vladyslav., Bilyi Vitalii (2021). Patent Ukrainy 146685U. Kyiv: Derzhavne patentne vidomstvo Ukrainy.

ТЕХНОЛОГІЇ ХІМІЧНОЇ, ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

DOI 10.31891/2307-5732-2021-299-4-115-122

УДК 675.046

А.О. БОНДАРЄВА

Київський національний торговельно-економічний університет

ORCID ID: 0000-0002-3241-2726

e-mail: a.bondarieva@knute.edu.ua

Е.Є. КАСЬЯН

Київський національний університет технологій та дизайну

ORCID ID: 0000-0002-9540-2824

e-mail: kee2@ukr.net

О.Р. МОКРОУСОВА

Київський національний торговельно-економічний університет

ORCID ID: 0000-0003-1943-8048

e-mail: olenamokrousova@gmail.com

МОДЕЛЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ПОКРИТТЯ ШКІР

Стаття присвячена моделюванню показників якості покриття шкір шляхом оптимізації складу покривної композиції на основі плівкоутворювачів різної хімічної природи та пігментного матеріалу. В роботі використано плівкоутворювачі з високим і низьким модулем еластичності та пігментний матеріал чорного кольору на основі забарвленого модифікованого монтморилоніту. Оптимізацію складу покривної композиції здійснено із використанням методу симплексно-решітчастого планування. Критерії оптимальності планів забезпечені D-оптимальною симплексною решіткою для поліному третього порядку. Оптимальний склад покривної композиції визначено з використанням графічного методу за кривими рівних значень властивостей на площині правильного симплексу. Встановлено оптимальний склад покривної композиції та змодельовано оптимальні значення показників якості покриття шкір.

Ключові слова: оздоблення, покриття, шкіра, моделювання, оптимізація, плівкоутворювач, пігмент.

ANNA O. BONDARYEVA

Kyiv National University Of Trade And Economics

EDUARD E. KASYAN

Kyiv National University of Technologies And Design

OLENA R. MOKROUSOVA

Kyiv National University Of Trade And Economics

MODELING OF QUALITY INDICATORS OF THE LEATHER COATING

The article is devoted to modeling the quality of leather coatings by optimizing the composition of the coating composition based on polymer film formers of different chemical nature and pigment material. Finishing coating affects the quality of the leather coating and regulates the physico-chemical, physico-mechanical and hygienic parameters of the leather semi-finished product. The quality of the leather coating is assessed by a lot of indicators. Quantitative indicators of physicochemical, physico-mechanical and hygienic properties characterize the behavior of the coating during operation. The aim of the work is to model the quality indicators of the leather coating by optimizing the composition of the coating composition obtained using pigment materials based on colored modified dispersions of montmorillonite and polymer film formers of different chemical nature. The influence of components of covering compositions on physical-mechanical and operational indicators of a covering is investigated in the work. Mathematical models were obtained using D-optimal simplex lattice plans of the experiment. Using mathematical models, the influence of individual components of the coating composition and their ratio on the quality of the leather coating is described. By multicriteria optimization of the generalized desirability function and the method of fair compromise, the optimal (rational) ratios of the components of the coating composition are obtained, which give the leather finishing coating the necessary quality indicators. The obtained experimental indicators of the properties of the leather coating are completely correlated with the indicators calculated by modeling. This confirms the reliability of the simulation results and indicate the high quality of the studied coating on the leather.

Keywords: finishing, coating, leather, modeling, optimization, film former, pigment

Постановка проблеми

Сучасне оздоблення шкіряного напівфабрикату передбачає створення комплексу властивостей покриття і готової шкіри, що мають задовольняти технологічним, експлуатаційним і естетичним вимогам та забезпечувати комфортність і тривале використання шкіряних виробів. Важливу роль у цьому відіграє покривне фарбування, від якого залежать не лише зовнішній вигляд, але й експлуатаційні характеристики та комфортність виробів.

Виконання процесу покривного фарбування значною мірою впливає на показники якості покриття на шкірі, оскільки в кінцевому результаті визначає фізико-хімічні, фізико-механічні та гігієнічні показники шкіряного напівфабрикату і нанесеної на нього покривної плівки, що врешті-решт формує якість готових шкір. Відомо, що зовнішній вигляд шкіряних виробів у процесі їх експлуатації погіршується насамперед у результаті руйнування не самої шкіри, а покриття на ній [1–3].

Якість покриття на шкірі може бути визначена лише за сукупністю показників, що характеризують їх основні властивості. Для всебічної оцінки якості покриття і готової шкіри використовують понад 30

показників, причому деякі з них неможливо кількісно визначити (наприклад, зовнішній вигляд). Кількісні показники цих властивостей характеризують поведінку покриття під час експлуатації. До найважливіших властивостей, з точки зору комфортності й тривалого використання виробів, можна віднести: міцність, яку обумовлює покриття при експлуатації в сухих і вологих умовах; видовження, достатнє для збереження покриття при максимальному, практично необхідному розтягуванні шкіри; твердість, що характеризується модулем високоеластичності покриття; стійкість до повторних деформацій "розтягування–скорочення" та вигину; стійкість до тертя в сухому і мокрому вигляді, що обумовлює міцність покриття в процесі експлуатації в сухих і вологих умовах; адгезійні властивості, що забезпечують міцність тримання покриття на шкірі; паро- і повітропроникність, що обумовлюють гігієнічні властивості покриття, а також стійкість покриття до старіння [2, 3]. Зазначене свідчить про важливість цілеспрямованого оцінювання властивостей та показників для встановлення якості оздоблювального та захисного покриття шкір.

Аналіз останніх досліджень

Порівняльним аналізом результатів дослідження експлуатаційних властивостей покриттів на основі полімерів різної хімічної природи встановлено, що найперспективнішими оздоблювальними композиціями є водні системи акрилових і поліуретанових плівкоутворювачів, їх сумішей та співполімерів [1, 2, 4].

Застосування таких композицій для покривного фарбування дає можливість поєднати позитивні властивості кожної складової і завдяки унікальним особливостям окремих компонентів формувати покриття на шкірі з високими, як у поліуретанів, фізико-механічними і термодинамічними характеристиками та забезпечувати завдяки поліакрилатам гарні гігієнічні властивості покривних плівок [4, 5].

Важливим компонентом покривних фарб також є пігменти, непрозорі, нерозчинні в дисперсійних середовищах і середовищах, що зафарбовують, високодисперсні забарвлені речовини, що надають покриттю необхідного забарвлення.

У покривній композиції пігменти перебувають у формі тонкої суспензії в дисперсії полімеру-плівкоутворювача. Для забезпечення колоїдної стійкості покривної фарби необхідно, щоб пігмент у ній був рівномірно диспергований, мав повний контакт із полімером, був захищеним від злипання (флокуляції) і не випадав в осад. З цією метою використовують казеїн, метилцелюлозу, акрилові в'язучі речовини, захисні колоїди, ПАР тощо [3, 6, 7].

Одним із сучасних напрямів удосконалення складу покривних фарб є використанням пігментних матеріалів на основі забарвлених модифікованих дисперсій монтморилоніту, що дозволяє виключити застосування харчового продукту казеїну та інших згущувачів у складі пігментних паст, підвищити їх агрегативну стабільність та стійкість до біоураження. Використання пігментних матеріалів на основі аніонних барвників та модифікованого монтморилоніту забезпечує отримання високоякісного покриття на шкірі з хорошими експлуатаційними характеристиками при здешевленні пігментних матеріалів та зменшених витратах покривної фарби для оздоблення [8–11].

Оскільки склад покривної композиції та особливо вміст у ній пігменту впливають на властивості покривної плівки, важливим завданням є дослідження даного впливу на показники якості покриття та визначення такого співвідношення компонентів у покривній композиції, що забезпечує оптимальні показники якості досліджуваного покриття.

Отже, **метою роботи** є моделювання показників якості покриття шкіри шляхом оптимізації складу покривної композиції, отриманої з використанням пігментних матеріалів на основі забарвлених модифікованих дисперсій монтморилоніту та плівкоутворювачів різної хімічної природи.

Виклад основного матеріалу

Моделювання показників якості оздоблювального покриття шкір здійснювали шляхом оптимізації складу покривної композиції на основі плівкоутворювачів різної хімічної природи, а саме поліакрилату і поліуретану, та пігментного матеріалу – забарвленої аніонним чорним барвником модифікованої дисперсії монтморилоніту.

Оскільки додавання будь-якого пігменту в покривну фарбу, а особливо за участю природних мінералів, спричиняє погіршення еластичності і видовження покривної плівки, то до складу композиції слід обирати м'які й тверді плівкоутворювачі з досить різними значеннями модуля еластичності, що значно збільшує можливість варіювання фізико-механічних показників, а саме міцності, еластичності й видовження, при оптимізації та регулювання значень цих показників згідно з асортиментом готових шкір.

Поєднання плівкоутворювачів різної хімічної природи, як зазначалось, забезпечує формування покриття з необхідним рівнем експлуатаційних властивостей, зокрема високої адгезії покриття до шкіри та стійкості до сухого і мокрого тертя.

Для досліджень обрано м'який поліакрилат SMITCRYL 2100 (Smit & Zoon) – високоеластичний, гнучкий, з високою покривною здатністю, покриття з якого характеризується стійкістю до дії води та до появи тріщин за низьких температур, а також твердий поліуретан PUR 3365 FF (Codyeco, Smit & Zoon company) – високоміцний, стійкий до фізико-механічних навантажень, тертя та зношування.

Пігментний матеріал чорного кольору отримано шляхом поступового змішування катіонної форми монтморилоніту з барвником аніонним чорним. Катіонну форму монтморилоніту отримано в результаті модифікації натрій-монтморилоніту гідрсококомплексами хрому (III) з витратою останніх 10–12 % маси мінералу. Пігментний матеріал характеризується інтенсивністю відтінку та насиченістю чорного кольору в широкому інтервалі рН, є стійким до осадження та розшарування у часі, має високу покривність та

необхідний рівень рН для ефективного суміщення з плівкоутворювачами різної природи [8, 9].

Покривні композиції отримували шляхом ретельного перемішування плівкоутворювачів і досліджуваного пігментного матеріалу. Покривні плівки формували в тефлонових кюветах за стандартною методикою [12] згідно довідникової інформації відповідно до ГОСТ 14243–78 «Материалы лакокрасочные. Методы получения свободных пленок» та оцінювали їх фізико-механічні характеристики. Формування покриття виконували шляхом нанесення покривних композицій на лицьову поверхню шкіри за типовою технологією оздоблення шкір для верху взуття із природньою лицьовою поверхнею [13]. Показники якості покриття на шкірі визначали згідно традиційних методів [14].

Для оптимізації складу досліджуваної покривної композиції використано метод симплексно-решітчастого планування. При вивченні властивостей оздоблювальних полімерних композицій, які залежать лише від співвідношення компонентів, факторний простір представляє собою правильний $(q - 1)$ – мірний симплекс [15]. Для таких систем виконується співвідношення:

$$\sum_{i=1}^q x_i = 1 \quad (1)$$

де $x_i \geq 0$ – концентрація компонента; q – кількість компонентів.

Серед різних відомих критеріїв оптимальності планів найважливішими є вимоги D і G-оптимальності. D-оптимальним вважається план, який зменшує об'єм еліпсоїду розсіювання оцінок коефіцієнтів рівняння регресії. Властивості G-оптимальності забезпечує найменшу максимальну величину дисперсії передбачених значень відгуку в області дослідження. Для симплексно-решітчастих планів Шеффе характерні властивості D і G-оптимальності тільки при побудові поліномів другого і неповного третього порядку. D-оптимальна симплексна решітка для поліному третього порядку побудована Кіфером (табл. 1).

В якості моделі для трикомпонентної суміші обраний поліном третього порядку:

$$y = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 + \gamma_{12} x_1 x_2 (x_1 - x_2) + \gamma_{13} x_1 x_3 (x_1 - x_3) + \gamma_{23} x_2 x_3 (x_2 - x_3) + \beta_{123} x_1 x_2 x_3 \quad (2)$$

де x_i – концентрація компонентів; $\beta_i, \beta_{ij}, \gamma_{ij}, \beta_{jk}$ – відповідні коефіцієнти поліному, причому $1 \leq (i, j, k) \leq 3; i \neq j \neq k$.

Після визначення коефіцієнтів рівняння регресії проводять статистичний аналіз отриманих результатів та перевіряють адекватність моделі. З цією метою проводять досліди в додаткових контрольних точках. Адекватність моделей визначають за допомогою t -критерію Стюдента [16, 17]. Отримані моделі дають можливість виявити вплив кожного компоненту оздоблювальних полімерних композицій на властивості всієї системи. Визначення оптимального складу покривної композиції можна здійснити графічним методом за кривими рівних значень властивостей на площині правильного симплексу.

Розрахунок коефіцієнтів регресії, перевірки їх значимості та адекватності отриманих рівнянь, розрахунок значень вихідних змінних при оптимізації виконаний за допомогою VBA в середовищі Microsoft Excel.

При вивченні властивостей суміші, які залежать лише від співвідношення компонентів, факторний простір представляє собою правильний симплекс. Для таких систем виконується співвідношення за рівняння 1, коли сума відносних концентрацій усіх компонентів суміші дорівнює одиниці. При цьому відносна концентрація кожного компонента змінюється від 0 до 1, тобто в межах 0–100 %.

Відомо [8, 9], що значний вміст пігменту в покритті спричиняє зростання його жорсткості, однак недостатній вміст негативно позначається на покривності. Тому обрано наступні інтервали зміни концентрації компонентів у досліджуваній композиції: пігменту – (x_1) – 0–30 %, твердого плівкоутворювача (PUR 3365 FF) – (x_2) – 0–100 %, м'якого плівкоутворювача (SMITCRYL 2100) – (x_3) – 0–100 %. В якості функцій відгуку вибрано наступні показники покривних плівок: Y_1 – модуль еластичності при 100-відсотковому видовженні, МПа; Y_2 – межа міцності при розтягуванні, МПа; Y_3 – відносне видовження при розриві, %; Y_4 – адгезія покриття до шкіри, Н/м; Y_5 – стійкість покриття до мокрого тертя, оберти.

При наявності обмежень зміни концентрацій деяких компонентів (наприклад пігменту) в суміші локальна область на діаграмі представляє собою неправильний симплекс. У цьому випадку проводиться перенормування і складу в вершинах локального симплекса приймаються за псевдокомпоненти (z_1, z_2, z_3) так, щоб виконувалась умова (рівняння 1). Планування експерименту і отримання його математичної моделі виконували в системі координат псевдокомпонентів. Для проведення експерименту виконували перехід від псевдокомпонентів z_i до початкових компонентів x_i . План експерименту і значення функцій відгуку наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Характеристика плану експерименту

Номер досліджу	План						Y ₁ ,	Y ₂ ,	Y ₃ ,	Y ₄ ,	Y ₅ ,
	z ₁	z ₂	z ₃	x ₁	x ₂	x ₃	МПа	МПа	%	Н/м	Оберти
1	1	0	0	30	0	70	9,6	9,7	110	160	40
2	0	1	0	0	100	0	2,1	12,6	990	320	120
3	0	0	1	0	0	100	0,43	4,8	1285	160	230
4	0,7236	0,2764	0	21,71	27,64	50,65	4,9	5,9	250	180	20
5	0,2764	0,7236	0	8,29	72,36	19,35	2,8	6,3	625	240	50
6	0,7236	0	0,2764	21,71	0	78,29	4,1	10	610	200	20
7	0,2764	0	0,7236	8,292	0	91,71	1,34	5,1	750	320	40
8	0	0,7236	0,2764	0	72,36	27,64	1,63	7,1	825	225	80
9	0	0,2764	0,7236	0	27,64	72,36	0,8	4,35	1070	230	130
10	0,3333	0,3333	0,3334	10,00	33,33	56,67	2,03	6,35	690	195	40
11	0,22	0,56	0,22	6,6	56	37,4	2,0	6,6	915	290	40
12	0,44	0,12	0,44	13,2	12	74,8	2,4	8,4	700	290	20

Отримані математичні моделі вихідних змінних мають вигляд:

$$Y_1 = 9,6z_1 + 2,1z_2 + 0,43z_3 - 9,9998z_1z_2 - 11,475z_1z_3 - 0,25z_2z_3 - 7,0102z_1z_2(z_1 - z_2) - 7,4955z_1z_3(z_1 - z_3) + 0,46498z_2z_3(z_2 - z_3) + 10,814z_1z_2z_3 \quad (3)$$

$$Y_2 = 9,7z_1 + 12,6z_2 + 4,8z_3 - 25,25z_1z_2 + 1,5z_1z_3 - 14,875z_2z_3 + 5,0138z_1z_2(z_1 - z_2) + 15,142z_1z_3(z_1 - z_3) - 4,1265z_2z_3(z_2 - z_3) + 43,425z_1z_2z_3 \quad (4)$$

$$Y_3 = 100z_1 + 990z_2 + 1285z_3 - 537,49z_1z_2 - 62,499z_1z_3 - 949,99z_2z_3 + 128,62z_1z_2(z_1 - z_2) + 2179,8z_1z_3(z_1 - z_3) - 632,12z_2z_3(z_2 - z_3) + 1905,1z_1z_2z_3 \quad (5)$$

$$Y_4 = 160z_1 + 320z_2 + 160z_3 - 150z_1z_2 + 499,99z_1z_3 - 62,499z_2z_3 + 64,579z_1z_2(z_1 - z_2) - 670,83z_1z_3(z_1 - z_3) - 427,95z_2z_3(z_2 - z_3) - 1357,5z_1z_2z_3 \quad (6)$$

$$Y_5 = 40z_1 + 120z_2 + 230z_3 - 225z_1z_2 - 524,99z_1z_3 - 349,99z_2z_3 + 32,289z_1z_2(z_1 - z_2) + 363,19z_1z_3(z_1 - z_3) - 4,5169z_2z_3(z_2 - z_3) + 869,95z_1z_2z_3 \quad (7)$$

Адекватність отриманих рівнянь (3–7) перевіряли за допомогою *t*-критерію Стюдента, використовуючи 2 контрольні точки (номер досліджу 11-12) плану експерименту (табл. 1). При кількості дослідів $N=12$, числі паралельних дослідів $n=5$ і рівні значимості $p=0,05$ табличне значення критерію Стюдента $t_{\tau}=2,17$. Для всіх контрольних точок *t*-співвідношення менше табличного, тобто моделі (3–7) є адекватними.

З метою вивчення впливу складу оздоблювальної покривної композиції на властивості покриття виконані відповідні розрахунки значень вихідних змінних та побудовані криві рівних значень показників покриття на площині правильного симплекса в системі координат псевдокомпонентів (рис. 1).

Для практичного використання результатів аналізу регресійних моделей виконували перехід від псевдокоординат до натуральних змінних за допомогою формул переведення координат із однієї системи в іншу [15]. Використовуючи розраховані формули зв'язку між координатами z_i і x_i :

$$x_1 = 0,3 z_1; \quad x_2 = z_2; \quad x_3 = 1 - 0,3 z_1 - z_2 = 1 - x_1 - x_2;$$

можна визначити оптимальні співвідношення компонентів покривної композиції в початкових (натуральних) координатах та оптимальні значення кожної вихідної змінної Y_{opt} .

Як видно з рівнянь (3–7), усі компоненти покривної фарби впливають на якість оздоблювального покриття шкір. Пігмент, зв'язаний з монтморилонітом, підвищує міцність плівок і знижує їх видовження, помітно впливає на адгезію покриття і знижує його стійкість до мокрого тертя.

Задачу оптимізації процесів, що характеризуються декількома відгуками, як правило, зводять до оптимізації за одним критерієм з обмеженнями у вигляді рівнянь та нерівностей. В залежності від поверхні відгуку та характеру обмежень для оптимізації використовують ряд методів. Одним з найбільш вдалих способів вирішення задачі оптимізації з великою кількістю відгуків є використання у якості узагальненого критерію оптимізації так званого критерію Харингтона або узагальної функції бажаності D , а також методу справедливого компромісу.

Для побудови узагальної функції бажаності D перетворювали вимірні значення відгуків у безрозмірну шкалу бажаності d за допомогою методу кількісних оцінок з інтервалом значень бажаності від нуля до одиниці. Значення $d=0$ (або $D=0$) відповідає абсолютно неприйнятному значенню даного відгуку; $0,63-0,79$ = хорошему; $0,80-0,99$ = дуже хорошему значенню; а $d=1$ (або $D=1$) = найкращому значенню відгуку, причому подальше його покращання або неможливе, або не має рації [16].

Як видно з рис. 2, узагальнююча функція бажаності D має максимальне значення $D=0,60-0,65$ в означеній області симплекса, що характеризує цю ділянку симплексу як область оптимальних значень вихідних змінних, і дозволяє провести оптимізацію складу покривної композиції з високою достовірністю.

Якщо певний процес описують декількома рівняннями регресії і важливими є результати кількох вихідних змінних, то у цьому випадку слід вирішувати компромісну задачу – визначити екстремальне значення однієї вихідної змінної за умови обмежень, що накладаються на інші та на границі областей дослідження (метод справедливого компромісу). Оптимум параметрів, що досягається при виконанні таких

умов, як правило, називають умовним або відносним, а область параметрів процесу, в межах якої отримують вихідні змінні, що задовольняють усім зазначеним вимогам, – раціональною чи компромісною областю [16].

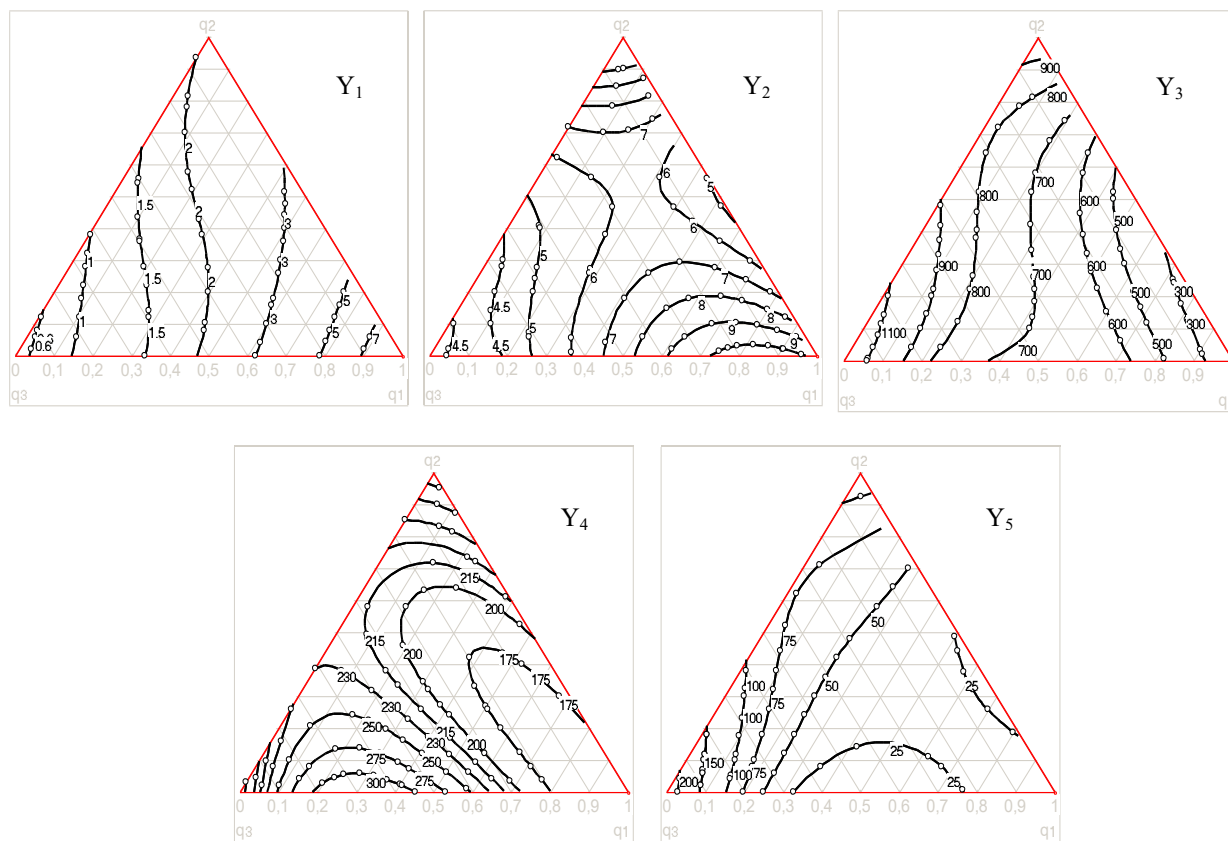


Рис. 1. Криві рівних значень показників покриття для вихідних змінних: Y_1 – модуль еластичності при 100-відсотковому видовженні, МПа; Y_2 – межа міцності при розтягуванні, МПа; Y_3 – відносне видовження при розриві, %; Y_4 – адгезія покриття до шкіри, Н/м; Y_5 – стійкість покриття до мокрого тертя, оберти

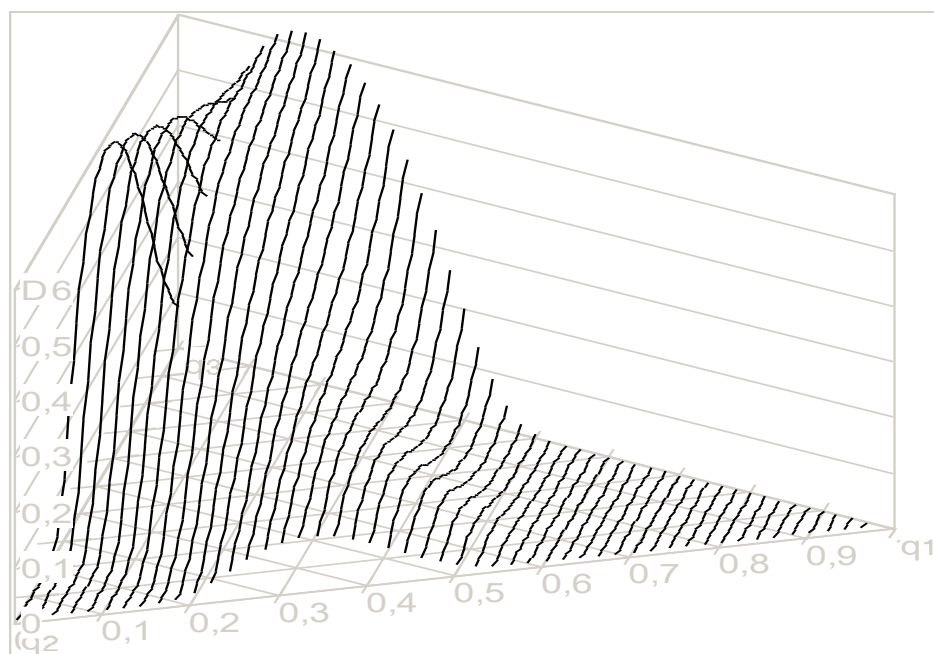


Рис. 2. Узагальнена функція бажаності

Особливістю такого методу оптимізації є те, що змінюючи границі обмежень вихідних змінних, можна регулювати співвідношення компонентів покривної композиції з метою отримання вихідних змінних з урахуванням технологічних вимог до формування покриття на шкірах певного асортименту, тобто регулювати, а точніше, моделювати показники якості покриття різних видів шкір.

Визначення оптимального складу покривної композиції проводили шляхом багатокритеріальної оптимізації графічним методом за кривими рівних значень показників покриття $Y_1 - Y_5$ на площині

правильного симплексу (рис. 3).

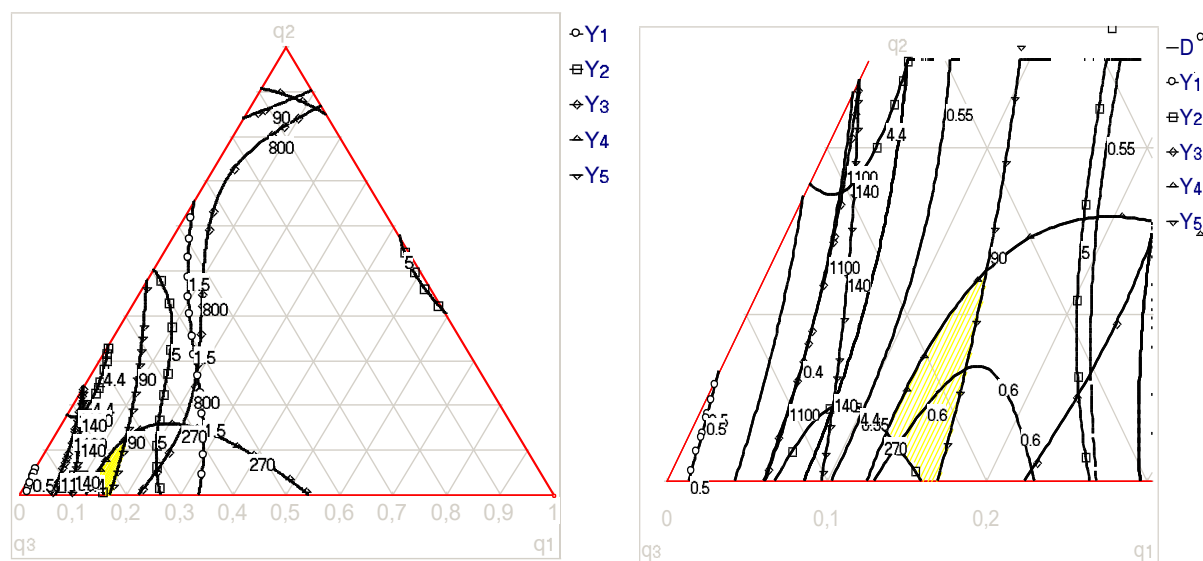


Рис. 3. Область оптимальних значень вихідних змінних: Y_1 – модуль еластичності при 100-відсотковому видовженні, МПа; Y_2 – межа міцності при розтягуванні, МПа; Y_3 – відносне видовження при розриві, %; Y_4 – адгезія покриття до шкіри Н/м; Y_5 – стійкість покриття до мокрого тертя, оберти

Враховуючи особливі вимоги до покриття шкір для верху взуття, а саме високі міцність, адгезію до шкіри та стійкість до мокрого тертя, на вихідні змінні були накладені наступні обмеження мінімальних і максимальних значень: $Y_1=0,5-1,5$ МПа; $Y_2=4,4-5,0$ МПа; $Y_3=800-1100$ %; $Y_4=270-300$ Н/м; $Y_5=90-140$ обертів.

У результаті проведеної оптимізації отримано оптимальні (раціональні) співвідношення компонентів покривної композиції, що забезпечують покривній плівці необхідні якісні показники. Оптимальний склад покривної композиції (%):

пігментний матеріал – 4,5 - 5,0;

уретановий плівкоутворювач PUR 3365 FF – 3,0 - 5,0;

акриловий плівкоутворювач SMITCRYL 2100 – 90,0 - 92,5.

Використання даного складу покривної композиції забезпечує формування покриття на шкірі з наступними показниками якості: $Y_1=0,96 - 1,06$ МПа; $Y_2=4,4-4,5$ МПа; $Y_3=900-915$ %; $Y_4=280-290$ Н/м; $Y_5=100-110$ обертів (рис. 3).

Для підтвердження результатів оптимізації складу покривної фарби було приготовлено покривну фарбу оптимального складу та проведено оздоблення лицьової поверхні шкір. Результати досліджень якості оздоблювального покриття шкіри наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Показники якості покриття шкір

№п/п	Показники якості покриття	Значення	
		розрахункове	експериментальне
1	Модуль еластичності σ_{100} , МПа	0,98	1,1
2	Межа міцності при розтягуванні σ_p , МПа	4,48	4,65
3	Відносне видовження при розриві, %	915	905
4	Адгезія покриття до шкіри, Н/м: - сухої - мокрої	285 -	300 185
5	Стійкість покриття до: - мокрого тертя, обертів - багаторазового вигину, тис. вигинів	100 -	110 < 100000
6	Повітропроникність, $\text{см}^3/\text{см}^2 \times \text{год.}$	-	42,3
7	Рівномірність забарвлення, балів	-	5
8	Стійкість забарвлення до мокрого тертя, бал	-	5

Таким чином, отримані експериментальні дані корелюють з розрахунковими даними математичного моделювання, що підтверджує достовірність результатів моделювання і свідчать про високу якість досліджуваного покриття на шкірі. Незначна відмінність експериментальних і розрахункових показників якості покриття може бути пов'язана з умовами формування покривної плівки.

Висновки

Стаття присвячена моделюванню показників якості покриття шкір шляхом оптимізації складу покривної композиції на основі акрилового й уретанового плівкоутворювачів різного ступеня твердості та пігментного матеріалу, отриманого на основі забарвлених модифікованих дисперсій монтморилоніту.

В роботі досліджено вплив компонентів покривних композицій, а саме пігментних матеріалів на основі забарвленого аніонним чорним барвником модифікованих дисперсій монтморилоніту та плівкоутворювачів різної хімічної природи й твердості, на фізико-механічні та експлуатаційні показники покриття.

За допомогою D-оптимальних симплексно-решіткових планів експерименту отримано математичні моделі, що описують вплив окремих компонентів трикомпонентної покривної композиції та їх співвідношення на показники якості покриття на шкірі.

Шляхом багатокритеріальної оптимізації узагальненої функції бажаності та методу справедливого компромісу отримано оптимальні (раціональні) співвідношення компонентів покривної композиції, що забезпечують покриття на шкірі необхідні якісні показники.

Отримані експериментальні показники властивостей покриття на шкірі повністю корелюють з показниками, розрахованими шляхом моделювання, що підтверджує достовірність результатів моделювання і свідчать про високу якість досліджуваного покриття на шкірі.

Література

1. Arthur A. Tracton. Coatings technology Handbook. Taylor and Francis Group. 2006. 829 p.
2. Arthur A. Tracton. Coatings Materials and Surface Coatings. CRC Press. Taylor and Francis Group. New York. 2007. 464 p.
3. Зурабян К. М., Байдакова Л. И. Отделка кож / Зурабян К. М., Байдакова Л. И. – М. : Легк. и пищ. пром-сть, 1984. – 184 с.
4. Екологічно орієнтовані технології виробництва шкіряних та хутрових матеріалів для створення конкурентоспроможних товарів : монографія : в 2 ч. Ч. 1 / Екологічно орієнтовані технології виробництва шкіряних та хутрових матеріалів / [Данилкович А. Г., Ліщук В. І., Плаван В. П., Касьян Е. Є., Жигицький О. Г.] ; за ред. А. Г. Данилковича. – К. : Фенікс, 2011. – 438 с.
5. Касьян Е. Є. Фізико-хімія полімерних плівкоутворювачів для оздоблення шкіри : [навч. посіб.] / Касьян Е. Є. – Київ : Освіта України, 2019. – 178 с.
6. Winter C., Borges Agustini C., Elizabeth M., Schultz R., Gutterres M. Influence of pigment addition on the properties of Polymer films for leather finishing. J. Soc. Leather. Technol. Chem. 2017. Vol. 101. № 2. P. 78–85.
7. Osgood m. J. Pigments in modern leather finishing. J. Soc. Leather. Technol. Chem. 1990. Vol. 74. № 1. P. 1–6.
8. Бондарева О.А. Розробка та використання гібридних пігментів у покривному оздобленні шкір / О.А. Бондарева, О.Р. Мокроусова, О.А. Охмат // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2020. – № 2 (283). – С. 26–36.
9. Bondaryeva Anna, Mokrousova Olena, Okhmat Olena. Hybrid pigments based on montmorillonite and anionic dyes for leather finishing. Solid State Phenomena. 2021. Vol. 320, pp. 198–203.
10. Бондарева А.О., Мокроусова О.Р., Охмат О.А. Спосіб отримання пігментного концентрату для оздоблення шкір. Патент UA № 144635 Україна. опубл. 12.10.2020, «Промислова власність», бюл. № 19/2020.
11. Бондарева А.О. Формування фізико-механічних властивостей полімерно-мінерального покриття для оздоблення шкір / А.О. Бондарева, О.Р. Мокроусова Товари і ринки. – 2020. – № 2. – С. 97–109.
12. Справочник кожевника: отделка. Контроль производства / [под ред. Н. А. Балберовой]. – М. : Легпромышлениздат, 1987. – 256 с.
13. Данилкович А.Г. Технологія і матеріали виробництва шкіри : навчальний посібник / Данилкович А.Г., Мокроусова О.Р., Охмат О.А. – К. : Фенікс, 2009. – 578 с.
14. Данилкович А. Г. Практикум з хімії та технології шкіри та хутра : навч. посібник / Данилкович А. Г. – К. : Фенікс, 2006. – 338 с.
15. Зедгинидзе И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем / Зедгинидзе И.Г. – М. : Наука, 1976. – 390 с.
16. Ахназарова С.Л. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии / Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. – М. : Высшая школа, 1985. – 327 с.
17. Бондарь А.Г. Планирование эксперимента при оптимизации процессов химической технологии / Бондарь А.Г., Статюха Г.А., Потяженко И. А. – К. : Вища школа, 1980. – 264 с.

References

1. Arthur A. Tracton. Coatings technology Handbook. Taylor and Francis Group. 2006. 829 p.
2. Arthur A. Tracton. Coatings Materials and Surface Coatings. CRC Press. Taylor and Francis Group. New York. 2007. 464 p.
3. Zurabyan K. M., Bajdakova L. I. Otdelka kozh / Zurabyan K. M., Bajdakova L. I. – M. : Legk. i pish. prom-st, 1984. – 184 s.
4. Ekologichno oriyetovani tekhnologii vyrobnytstva shkirianykh ta khutrovyykh materialiv dlia stvorennia konkurentospromozhnykh tovariv : monohrafiia : v 2 ch. Ch. 1 / Ekologichno oriyetovani tekhnologii vyrobnytstva shkirianykh ta khutrovyykh materialiv / [Danylkovich A. H., Lishchuk V. I., Plavan V. P., Kasian E. Ye., Zhyhotskyi O. H.] ; za red. A. H. Danylkovycha. – K. : Feniks, 2011. – 438 s.

5. Kasian E. Ye. Fizyko-khimiia polimernykh plivkoutvoriuvachiv dlia ozdoblennia shkiry : [navch. posib.] / Kasian E. Ye. – Kyiv : Osvita Ukrainy, 2019. – 178 s.
6. Winter C., Borges Agustini C., Elizabeth M., Schultz R., Gutterres M. Influence of pigment addition on the properties of Polymer films for leather finishing. J. Soc. Leather. Technol. Chem. 2017. Vol. 101. № 2. P. 78–85.
7. Osgood m. J. Pigments in modern leather finishing. J. Soc. Leather. Technol. Chem. 1990. Vol. 74. № 1. P. 1–6.
8. Bondarieva O.A. Rozrobka ta vykorystannia hibrydnykh pihmentiv u pokryvnomu ozdoblenni shkir / O.A. Bondarieva, O.R. Mokrousova, O.A. Okhmat // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2020. – № 2 (283). – S. 26–36.
9. Bondaryeva Anna, Mokrousova Olena, Okhmat Olena. Hybrid pigments based on montmorillonite and anionic dyes for leather finishing. Solid State Phenomena. 2021. Vol. 320, pp. 198–203.
10. Bondarieva A.O., Mokrousova O.R., Okhmat O.A. Sposib otrymannia pihmentnoho kontsentratu dlia ozdoblennia shkir. Patent UA № 144635 Ukraina. opubl. 12.10.2020, «Promyslova vlasnist», biul. № 19/2020.
11. Bondarieva A.O. Formuvannia fizyko-mekhanichnykh vlastyvostei polimerno-mineralnoho pokryttia dlia ozdoblennia shkir / A.O. Bondarieva, O.R. Mokrousova Tovary i rynky. – 2020. – № 2. – S. 97–109.
12. Spravochnik kozhevnika: otelka. Kontrol proizvodstva / [pod red. N. A. Balberovoj]. – M. : Legprombytizdat, 1987. – 256 s.
13. Danylkovych A.H. Tekhnolohiia i materialy vyrobnytstva shkiry : navchalnyi posibnyk / Danylkovych A.H., Mokrousova O.R., Okhmat O.A. – K. : Feniks, 2009. – 578 s.
14. Danylkovych A. H. Praktykum z khimii ta tekhnolohii shkiry ta khutra : navch. posibnyk / Danylkovych A. H. – K. : Feniks, 2006. – 338 s.
15. Zedginidze I.G. Planirovanie eksperimenta dlya issledovaniya mnogokomponentnykh sistem / Zedginidze I.G. – M. : Nauka, 1976. – 390 s.
16. Ahnazarova S.L. Metody optimizatsii eksperimenta v himicheskoy tehnologii / Ahnazarova S.L., Kafarov V.V. – M. : Vysshaya shkola, 1985. – 327 s.
17. Bondar A.G. Planirovanie eksperimenta pri optimizatsii processov himicheskoy tehnologii / Bondar A.G., Statyuha G.A., Potyazhenko I. A. – K. : Visha shkola, 1980. – 264 s.

Ю.А. КОВАЛЬОВ

Київський національний університет технологій та дизайну

ORCID ID orcid.org/0000-0003-2321-6763e-mail: kovalev.yri2012@gmail.com

С.А. ПЛЕШКО

Київський національний університет технологій та дизайну

ORCID ID orcid.org/0000-0003-4348-2858e-mail: pleshko-s-a@ukr.net

Є.В. ЛОПУХОВ

Київський національний університет технологій та дизайну

e-mail: neo2000.08@gmail.com

ДИНАМІКА КРУГЛОВ'ЯЗАЛЬНОЇ МАШИНИ З ПРИСТРОЄМ ЗНИЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ З ПРУЖИНАМИ КРУЧЕННЯ

В роботі проведений аналіз доцільності використання пристрою з пружинами кручення для зниження динамічних навантажень в приводі круглов'язальних машин, розробка методу вибору раціональних параметрів пристрою та оцінка ефективності його використання.

Ключові слова: динаміка в'язальних машин, пристрій зниження динамічних навантажень, привід в'язальної машини, динамічні навантаження приводу, пружина кручення, параметри пружини кручення.

KOVALYOV YURI A.

Kyiv National University of Technologies and Design

PLESHKO SERGEY A.

Kyiv National University of Technologies and Design

LOPUKHOV EVGENY V.

Kyiv National University of Technologies and Design

DYNAMICS OF A CIRCULAR KNITTING MACHINE WITH A DEVICE OF REDUCTION OF DYNAMIC LOADS WITH TWIN SPRINGS

The issue of improving the efficiency of circular knitting machines remains relevant, so the task of research is to develop a new design of circular knitting machine with a device to reduce dynamic loads with torsion springs, engineering method of choosing rational parameters of the device, and evaluate its efficiency. The aim of the work is to analyze the feasibility of using a device with torsion springs to reduce the dynamic loads in the drive of circular knitting machines, to develop a method for selecting rational parameters of the device and evaluate the effectiveness of its use. The article uses modern methods of the theory of dynamics of mechanical systems in order to assess the feasibility of using a device with a torsion spring to reduce the starting dynamic loads in the drive of machines.

Based on the analysis of the dynamics of mechanical systems with elastic ties, an algorithm for calculating the dynamic loads that occur during the start of circular knitting machines, the calculated dynamic model of which is reduced to a three-mass dynamic model with an average leading mass. A new design of the device is proposed to reduce the dynamic loads that occur during the start of circular knitting machines. In contrast to the known devices, the proposed device is made in the form of two cylindrical torsion springs and bypass couplings, which increases its efficiency. The new design of the drive of the circular knitting machine with the device of reduction of dynamic loadings with torsion springs, a method of a choice of rational parameters of the device and results of an estimation of efficiency of its use are presented. A scientific novelty is the development of scientific bases and engineering methods for designing devices for reducing dynamic loads in the drive of knitting machines. The practical significance lies in the development of a new design of the device for reducing dynamic loads in the drive of circular knitting machines and an engineering method for selecting its rational parameters.

Keywords: dynamics of knitting machines, device for reducing dynamic loads, drive of knitting machine, dynamic loads of drive, torsion spring, parameters of torsion spring.

Постановка проблеми

Враховуючи актуальність питання підвищення ефективності роботи круглов'язальних машин, завданням досліджень є розробка нової конструкції приводу круглов'язальної машини з пристроєм зниження динамічних навантажень з пружинами кручення, інженерного методу вибору раціональних параметрів пристрою, та оцінка ефективності його використання.

Аналіз останніх джерел

Одним із факторів, що знижують ефективність роботи механічних систем, в тому числі і в'язальних машин та автоматів, є динамічні навантаження, що виникають під час їх несталої режиму роботи (пуск, зупинка та ін.) [1–4]. Відомі засоби зниження динамічних навантажень в приводі машин [5] не завжди можуть бути використані в машинах легкої промисловості. Тому проблема підвищення надійності та довговічності їх роботи шляхом зниження динамічних навантажень є актуальною та своєчасною. Виходячи з цього, при проектуванні обладнання легкої промисловості, в першу чергу, слід приділяти увагу зниженню динамічних навантажень в приводі та запобіганню аварійних ситуацій. Вирішення цієї проблеми без удосконалення конструкцій пристроїв зниження динамічних навантажень неможливе.

Метою роботи є аналіз доцільності використання пристрою з пружинами кручення для зниження динамічних навантажень в приводі круглов'язальних машин, розробка методу вибору раціональних параметрів пристрою та оцінка ефективності його використання.

Виклад основного матеріалу

Аналіз показує [2, 6], що в приводах круглов'язальних машин типу КО вертикальний приводний вал кінематично з'єднаний з електродвигуном за допомогою клинопасової та циліндричної зубчастої передачі. Жорстке з'єднання зубчастого колеса та шестерень з вертикальним приводним валом зумовлює значні динамічні навантаження, що виникають під час пуску, що знижує довговічність його роботи.

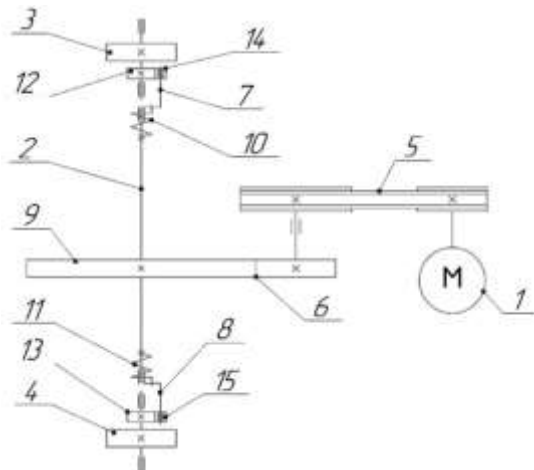


Рис. 1. Кінематична схема привода круглов'язальної машини з ПЗДН з пружинами кручення: 1 – електродвигун; 2 – приводний вал; 3, 4 – шестерні; 5 – клинопасова передача; 6 – зубчаста передача; 7, 8 – ведучі напівмуфти; 9 – зубчасте колесо; 10, 11 пружини кручення; 12, 13 – ведені напівмуфти (сонячні шестерні); 14, 15 – шестерні сателіти

Пропонується нова конструкція привода круглов'язальної машини, який обладнаний пристроями зниження динамічних навантажень (ПЗДН) [9], що містять пружину кручення, де самі ПЗДН встановлені на вертикальному приводному валу (рис. 1).

Обладнання привода (ПЗДН) забезпечує зниження динамічних навантажень круглов'язальної машини, що виникають під час пуску, що призводить до підвищення довговічності роботи привода.

Принцип роботи привода такий. Обертальний рух вала електродвигуна 1 передається клинопасовій 5 та зубчастій 6 передачам. Обертання зубчастого колеса 9 зубчастої передачі 6 за допомогою пружних запобіжних муфт 7, 8 зумовлює закручування пружин кручення 10, 11, сили пружності яких приводять в рух шестерні 3, 4 відповідно. Шестерні 3, 4 шляхом зубчастого зачеплення приводять в обертальний рух механізми в'язання та товароприйому, що необхідно для роботи круглов'язальної машини.

В період пуску привода пусковий момент електродвигуна за рахунок пружної деформації

пружин кручення 10, 11 знижується, що призводить до підвищення довговічності роботи привода круглов'язальної машини.

Важливим етапом в проектуванні даного привода є розрахунок пружин кручення. Як відомо, пружини кручення працюють на згин витків. Умова працездатності ПЗДН, при цьому, буде наступною:

$$\sigma = \frac{Tk}{W} \leq [\sigma], \quad (1)$$

де σ - робоче напруження згину витків пружини;

$[\sigma]$ - допустиме напруження згину витків пружини, $[\sigma] = (1,25 \dots 1,5)[\tau]$;

$[\tau]$ - допустиме напруження матеріалу пружини при крученні;

T - крутний момент пружини;

k - коефіцієнт, що враховує кут підйому витків пружини та їх кривизну,

$$k = \frac{4c-1}{4c-4}; \quad (2)$$

c - індекс пружини,

$$c = \frac{D}{d}; \quad c = 4 \dots 12; \quad (3)$$

D, d - середній діаметр пружини та діаметр дроту, з якого вона виготовлена.

W - момент опору згину,

$$W = \frac{\pi d^3}{32}. \quad (4)$$

Враховуючи (4) із умови (1) знаходимо необхідний діаметр дроту:

$$d \geq 2,17 \sqrt[3]{\frac{Tk}{[\sigma]}}. \quad (5)$$

Кут скручування пружини ϕ при робочому навантаженні знаходиться із умови [7]:

$$\phi = \frac{TL}{EJ}, \text{ рад}, \quad (6)$$

де L - довжина дроту, із якого виготовлена пружина (робочі витки; $\cos \alpha \approx 1$; α - кут підйому витків пружини),

$$L = \pi Di; \quad (7)$$

E - модуль пружності дроту (сталь), $E = 2,15 \cdot 10^5$ МПа;

J_0 - момент інерції перерізу дроту,

$$J_{\phi} = \frac{\pi d^4}{64}; \quad (8)$$

i - кількість робочих витків пружини,

$$i = \frac{H}{p}; \quad (9)$$

H - робоча довжина (висота) пружини;

p - крок пружини,

$$p = d + (1...2) \text{ мм.} \quad (10)$$

Жорсткість пружини кручення знаходиться із умови

$$C = \frac{T}{\phi}, \text{ Нм/рад.} \quad (11)$$

Визначимо раціональні параметри пружин ПЗДН при використанні його в приводі круглов'язальної машини КО-2 з електродвигуном типу 4А100Л6У3 потужністю 2,2 кВт та частотою обертання вала 950 об/хв. [6].

Як показують розрахунки, розподіл крутних моментів T_{n1} , T_{n2} між пружинами 10, 11 (рис. 1) буде наступним: $T_{n1} = 30$ Нм; $T_{n2} = 7,5$ Нм.

Прийнявши для вказаних пружин $c_1 = 8$; $c_2 = 12$, з (2) маємо: $k_1 = 1,107$; $k_2 = 1,068$.

Тоді, прийнявши $[\sigma] = 1500$ МПа [38], із (5) знаходимо діаметри пружин: $d_1 = 6,5$ мм; $d_2 = 4,5$ мм і відповідні їх параметри $D_1 = 60$ мм, $D_2 = 55$ мм, $p_1 = 8$ мм, $p_2 = 6$ мм.

Приймаємо кількість робочих витків пружин згідно: $i_1 = 3$; $i_2 = 3$ та довжина дроту пружин згідно з (7): $L_1 = 753,4$ мм; $L_2 = 519$ мм.

Враховуючи, що модуль пружності дроту (сталь) $E = 2,15 \cdot 10^5$ МПа та знайшовши згідно (8) моменти інерції перерізу дроту пружин $J_{\phi 1} = 87,58$ мм⁴, $J_{\phi 2} = 20,12$ мм⁴, знаходимо, використовуючи залежність (6), кути скручування пружин: $\phi_1 = 1,2$ рад; $\phi_2 = 0,9$ рад.

Жорсткість пружин згідно з (11): $C_1 = 25$ Нм/рад; $C_2 = 8,33$ Нм/рад.

Розглянемо динаміку пуску круглов'язальної машини КО-2 при наявності ПЗДН з пружинами кручення.

Як показує аналіз конструкції машини з ПЗДН, в якості розрахункової динамічної моделі для визначення динамічних навантажень, що виникають у період пуску (найбільш несприятливий режим роботи), доцільно прийняти тримасову динамічну модель з середньою ведучою масою з параметрами: T_1 - пусковий момент електродвигуна (тут і далі наведені до валу електродвигуна значення); T_2 - момент сил опору механізму товароприйому; T_3 - момент сил опору механізму в'язання; J_1 - сумарний момент інерції ротора електродвигуна, клинопасової та зубчастої передачі; J_2 - момент інерції обертових мас механізму товароприйому; J_3 - момент інерції обертових мас механізму в'язання; C_{12} - жорсткість пружини 11 (рис. 1), $C_{12} = C_2 = 8,33$ Нм/рад; $C_{13} = C_1 = 25$ Нм/рад - жорсткість пружини 10 (рис. 1) пружної в'язі, що передає рух механізму в'язання.

Пуск даної тримасової системи відбувається у три етапи [8] рис. 2.

На рис. 2 представлені: перший етап пуску (б); другий етап пуску (в); третій етап пуску (а); а також позначення: T_1 - пусковий момент електродвигуна (тут і далі приведені значення); T_2 - момент сил опору механізму товароприйому; T_3 - момент сил опору механізму в'язання; J_1 - сумарний момент інерції ротора електродвигуна і ведучого шківасової передачі; J_2 - момент інерції обертових мас механізму товароприйому; J_3 - момент інерції обертових мас механізму в'язання; C_{12} - жорсткість пружної в'язі, що передає рух механізму товароприйому; C_{13} - жорсткість пружної в'язі, що передає рух механізму в'язання.

У початковий момент при $t=0$ всі три маси знаходяться у спокої. У проміжку часу $0 \div \tau_1$ відбувається накопичення моментів пружних сил на ділянках 1–2 і 1–3 до тих пір, поки момент T_{12} не стане рівним моменту T_2 (оскільки для нашого випадку $\phi_1 > \phi_2$). На цьому перший етап пуску закінчується, в рух приходить друга маса, і починається другий етап пуску, який триватиме від τ_1 до τ_2 . У проміжку цього етапу відбувається подальше накопичення моменту сил пружності T_{13} на ділянці 1–3. При $T_{13} = T_3$ приходить в рух третя маса, що характеризує закінчення другого етапу пуску машини і початок третього етапу, який триватиме від τ_2 до τ_3 (час пуску).

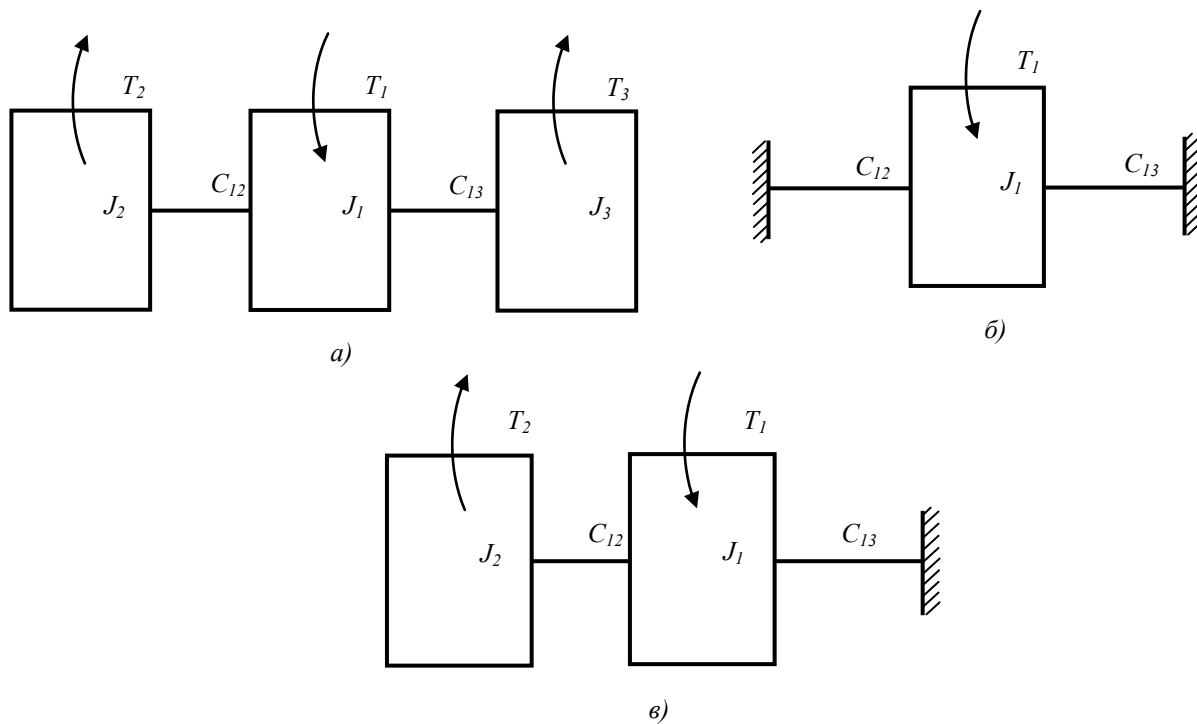


Рис. 2. Тримасова динамічна модель привода з середньою ведучою масою

Методика динамічного розрахунку механічних систем, динамічна модель яких являє собою тримасову систему з середньою ведучою масою детально представлена в монографії [8].

Для зручності використання приведеної методики в інженерній практиці можна рекомендувати наступний алгоритм розрахунку:

1. Вихідні параметри привода: $T_1; T_2; T_3; J_1; J_2; J_3; C_{12}; C_{13}$.

2. Час тривалості першого етапу пуску τ_1 (12) знаходимо з рівняння:

$$\tau_1 = \sqrt{\frac{J_1}{C_{12} + C_{13}}} \arccos \left[1 - \frac{T_2 (C_{12} + C_{13})}{T_1 C_{12}} \right]. \quad (12)$$

3. Початкові умови другого етапу пуску (13) знаходимо, використовуючи систему рівнянь:

$$\begin{aligned} T_{(12)0} &= T_2; \quad T_{(13)0} = \frac{C_{13}}{C_{12} + C_{13}} \left(1 - \cos \sqrt{\frac{C_{12} + C_{13}}{J_1}} \tau_1 \right) T_1; \\ \dot{T}_{(12)0} &= \frac{C_{12}}{C_{12} + C_{13}} \sqrt{\frac{C_{12} + C_{13}}{J_1}} \sin \sqrt{\frac{C_{12} + C_{13}}{J_1}} \tau_1 \cdot T_1; \\ \dot{T}_{(13)0} &= \frac{C_{13}}{C_{12} + C_{13}} \sqrt{\frac{C_{12} + C_{13}}{J_1}} \sin \sqrt{\frac{C_{12} + C_{13}}{J_1}} \tau_1 \cdot T_1. \end{aligned} \quad (13)$$

4. Постійні складові моментів сил пружності (14) знаходимо із рівняння:

$$a_{12} = T_2; \quad a_{13} = T_1 - T_2. \quad (14)$$

5. Циклові частоти коливань моментів сил пружності в період другого етапу пуску:

$$\beta_{1,2}^2 = \frac{C_{12} (J_1 + J_2) + C_{13} J_2 \pm \sqrt{[C_{12} (J_1 + J_2) + C_{13} J_2]^2 - 4 C_{12} C_{13} J_1 J_2}}{2 J_1 J_2}. \quad (15)$$

6. Знаходимо, використовуючи залежності (16), (17), амплітуди гармонік \cos і \sin .

$$\begin{aligned} A_{(12)1} &= \frac{-C_{12} (T_{(13)0} - a_{13})}{J_1 (\beta_1^2 - \beta_2^2)}; \quad A_{(12)2} = \frac{C_{12} (T_{(13)0} - a_{13})}{J_1 (\beta_1^2 - \beta_2^2)}; \\ A_{(13)1} &= \frac{-\Delta_{11} (T_{(13)0} - a_{13})}{\beta_1^2 - \beta_2^2}; \quad A_{(13)2} = \frac{\Delta_{12} (T_{(13)0} - a_{13})}{\beta_1^2 - \beta_2^2}. \end{aligned} \quad (16)$$

$$B_{(12)1} = \frac{\Delta_{12} \dot{T}_{(12)0} - \frac{C_{12}}{J_1} \dot{T}_{(13)0}}{\beta_1 (\beta_1^2 - \beta_2^2)}; \quad B_{(12)2} = \frac{\frac{C_{12}}{J_1} \dot{T}_{(13)0} - \Delta_{11} \dot{T}_{(12)0}}{\beta_2 (\beta_1^2 - \beta_2^2)};$$

$$B_{(13)1} = B_{(12)1} \frac{J_1}{C_{12}} \Delta_{11}; \quad B_{(13)2} = B_{(12)2} \frac{J_1}{C_{12}} \Delta_{12}, \quad (17)$$

де

$$\Delta_{11} = \omega_{12}^2 - \beta_1^2; \quad \Delta_{12} = \omega_{12}^2 - \beta_2^2; \quad \omega_{12}^2 = C_{12} \frac{J_1 + J_2}{J_1 J_2}. \quad (18)$$

7. Моменти, що виникають в пружних в'язях привода в період 2-го етапу пуску, знаходимо з рівнянь (19), (20):

$$T_{12} = A_{(12)1} \cos \beta_1 t + A_{(12)2} \cos \beta_2 t + B_{(12)1} \sin \beta_1 t + B_{(12)2} \sin \beta_2 t + T_2; \quad (19)$$

$$T_{13} = A_{(13)1} \cos \beta_1 t + A_{(13)2} \cos \beta_2 t + B_{(13)1} \sin \beta_1 t + B_{(13)2} \sin \beta_2 t + T_1 - T_2. \quad (20)$$

8. Враховуючи, що 3-й етап пуску починається при умові $T_{13} = T_3$, із рівняння (20), знаходимо час початку цього етапу - τ_2 .

Рішення цього рівняння відносно τ_2 складає певну практичну складність. Тому доцільно використати графічний метод [4] знаходження τ_2 , що полягає в наступному; визначивши період коливань $T_{(12)0}$, $T_{(12)0}$, $T_{(12)0}$, $T_{(12)0}$, $T_{(12)0}$, $T_{(12)0}$, $T_{(12)0}$, $T_{(12)0}$, що відповідає цикловій частоті β_1 і β_2 , в певному масштабі на осі абсцис, після чого будуюмо графіки функцій

$$y_1 = A_{(13)1} \cdot \cos \beta_1 t; \quad y_2 = A_{(13)2} \cdot \cos \beta_1 t;$$

$$y_3 = B_{(13)1} \cdot \sin \beta_1 t; \quad y_4 = B_{(13)2} \cdot \sin \beta_1 t;$$

та графік, що представляє суму вказаних функцій $y = \sum y_i$, з якого легко знайти час, відповідний ординаті, яка дорівнює $T_3 - a_{23}$ [$a_{23} = T_1 - T_2$]. Із графіка (додаток Б) видно, що одній і тій же ординаті може відповідати декілька значень $T_3 - a_{23}$, що обумовлю можливість помилки при рішенні рівняння (20) аналітичним шляхом. Запропонований метод, зважаючи на наочність позбавлений цього недоліку.

9. Початкові умови 3-го етапу пуску (21):

$$T_{(12)0} = A_{(12)1} \cdot \cos \beta_1 \cdot \tau_2 + A_{(12)2} \cdot \cos \beta_2 \cdot \tau_2 + B_{(12)1} \cdot \cos \beta_1 \cdot \tau_2 +$$

$$+ B_{(12)2} \cdot \cos \beta_2 \cdot \tau_2 + a_{12};$$

$$T_{(13)0} = A_{(13)1} \cdot \cos \beta_1 \cdot \tau_2 + A_{(13)2} \cdot \cos \beta_2 \cdot \tau_2 + B_{(13)1} \cdot \cos \beta_1 \cdot \tau_2 +$$

$$+ B_{(13)2} \cdot \cos \beta_2 \cdot \tau_2 + a_{13}; \quad (21)$$

$$\dot{T}_{(12)0} = -\beta_1 \cdot A_{(12)1} \cdot \sin \beta_1 \cdot \tau_2 - \beta_2 \cdot A_{(12)2} \cdot \sin \beta_2 \cdot \tau_2 + \beta_1 \cdot B_{(12)1} \cdot \cos \beta_1 \cdot \tau_2 +$$

$$+ \beta_2 \cdot B_{(12)2} \cdot \cos \beta_2 \cdot \tau_2;$$

$$T_{(13)0} = -\beta_1 \cdot A_{(13)1} \cdot \cos \beta_1 \cdot \tau_2 - \beta_2 \cdot A_{(13)2} \cdot \cos \beta_2 \cdot \tau_2 + \beta_1 \cdot B_{(13)1} \cdot \cos \beta_1 \cdot \tau_2 +$$

$$+ \beta_2 \cdot B_{(13)2} \cdot \cos \beta_2 \cdot \tau_2,$$

10. Постійні складові моментів сил пружності для третього етапу пуску з рівнянь (22):

$$a_{12} = \frac{J_2(T_1 - T_3) + (J_1 + J_3)T_2}{J_1 + J_2 + J_3};$$

$$a_{13} = T_1 + \frac{J_1}{J_2} T_2 - \frac{J_2(T_1 - T_3) + (J_1 + J_3)T_2}{J_1 + J_2 + J_3} \cdot \left(\frac{J_1 + J_2}{J_2} \right). \quad (22)$$

11. Циклові частоти коливань моментів сил пружності в період 3-го етапу пуску, знаходимо з рівняння (23):

$$\beta_{1,2}^2 = C_{12} \frac{J_1 + J_2}{2J_1 J_2} + C_{13} \frac{J_1 + J_3}{2J_1 J_3} \pm \sqrt{\left(C_{12} \frac{J_1 + J_2}{2J_1 J_2} + C_{13} \frac{J_1 + J_3}{2J_1 J_3} \right)^2 - C_{12} C_{13} \frac{J_1 + J_2 + J_3}{J_1 J_2 J_3}}. \quad (23)$$

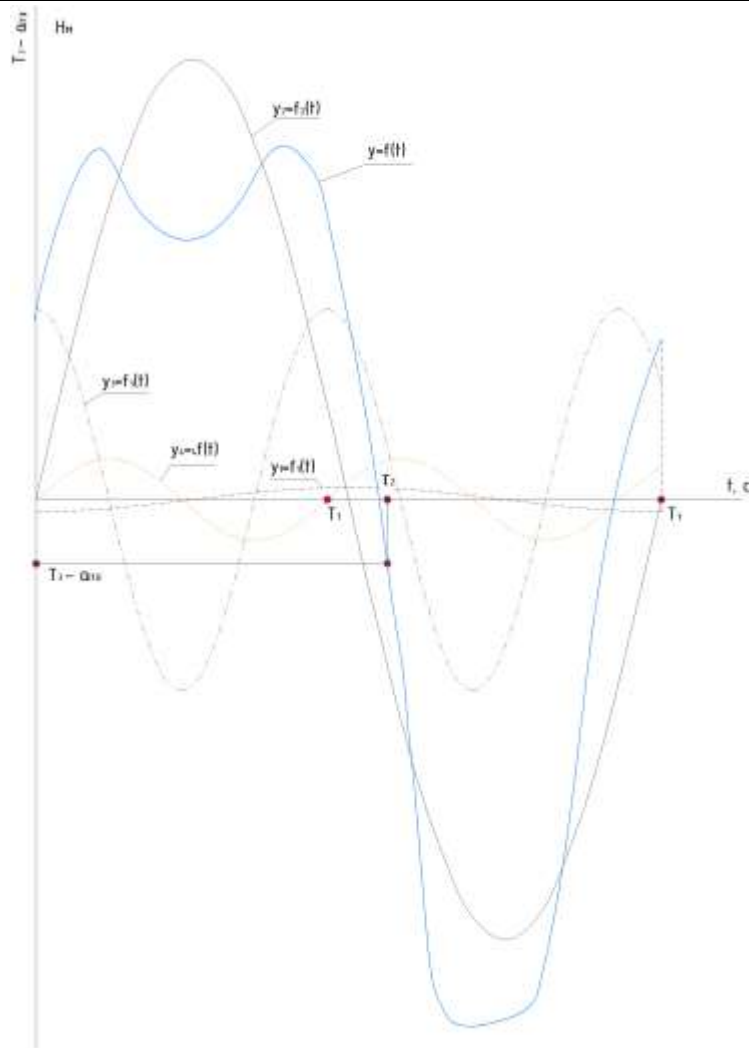


Рис. 3. Графічний метод знаходження часу другого етапу пуску - T_2

12. Амплітуди коливань моментів сил пружних в'язей в період 3-го етапу пуску, знаходимо використовуючи рівняння (18), (24), (25):

$$A_{(12)1} = \frac{\Delta_{12}(T_{(12)0} - a_{12}) - \frac{C_{12}}{J_1}(T_{(13)0} - a_{13})}{\beta_1^2 - \beta_2^2}; \quad (24)$$

$$A_{(12)2} = \frac{\frac{C_{12}}{J_1}(T_{(13)0} - a_{13}) - \Delta_{11}(T_{(12)0} - a_{12})}{\beta_1^2 - \beta_2^2};$$

$$A_{(13)1} = A_{(12)1} \frac{J_1}{C_{12}} \Delta_{11}; \quad A_{(13)2} = A_{(12)2} \frac{J_1}{C_{12}} \Delta_{12};$$

$$B_{(12)1} = \frac{\Delta_{12} \dot{T}_{(12)0} - \frac{C_{12}}{J_1} \dot{T}_{(13)0}}{\beta_1(\beta_1^2 - \beta_2^2)}; \quad B_{(12)2} = \frac{\frac{C_{12}}{J_1} \dot{T}_{(13)0} - \Delta_{11} \dot{T}_{(12)0}}{\beta_2(\beta_1^2 - \beta_2^2)}; \quad (25)$$

$$B_{(13)1} = B_{(12)1} \frac{J_1}{C_{12}} \Delta_{11}; \quad B_{(13)2} = B_{(12)2} \frac{J_1}{C_{12}} \Delta_{12}.$$

13. Постійні - D знаходимо, складаючи коливання однакової частоти (26):

$$D_{(12)1} = \sqrt{A_{(12)1}^2 + B_{(12)1}^2}; \quad D_{(12)2} = \sqrt{A_{(12)2}^2 + B_{(12)2}^2}; \quad (26)$$

$$D_{(23)1} = \sqrt{A_{(23)1}^2 + B_{(23)1}^2}; \quad D_{(23)2} = \sqrt{A_{(23)2}^2 + B_{(23)2}^2},$$

14. Максимальні величини динамічних навантажень, що виникають під час пуску в пружних в'язях привода:

$$T_{12max} = D_{(12)1} + D_{(12)2} + a_{12} \quad (27)$$

$$T_{23max} = D_{(23)1} + D_{(23)2} + a_{23}$$

15. Динамічні перевантаження (28), що виникають в пружних в'язях привода під час пуску:

$$k_{12} = \frac{T_{12max}}{T_2}; \quad k_{13} = \frac{T_{13max}}{T_3}. \quad (28)$$

Використовуючи приведений алгоритм, авторами виконано розрахунок динамічних перенавантажень круглов'язальної машини КО-2 з ПЗДН. При цьому в якості вихідних параметрів, враховуючи розрахунки пружин кручення та результати досліджень [10], прийнято: $T_1 = 26,5$ Нм; $T_2 = 4,4$ Нм; $T_3 = 17,7$ Нм; $J_1 = 0,038$ кгм²; $J_2 = 0,026$ кгм²; $J_3 = 0,021$ кгм²; $C_{12} = 6,25$ Нм/рад; $C_{13} = 33,3$ Нм/рад.

Розрахунки показують, що при використанні ПЗДН динамічні навантаження пружних в'язей привода становлять:

$$T_{12max} = 16,07 \text{ Нм}; \quad T_{13max} = 28,3 \text{ Нм}.$$

При цьому динамічні перевантаження привода: на лінії передачі 1-2 сягають $k_{12} = 3,65$, що практично не змінилося відносно існуючих круглов'язальних машин, та $k_{13} = 1,6$ на лінії передачі 1-3, що в 2,2 рази менше ніж в існуючих круглов'язальних машинах [2].

Висновки

Встановлена доцільність використання в приводі круглов'язальної машини ПЗДН з запобіжною зубчастою муфтою з циліндричними пружинами кручення, розташованими на вертикальному приводному валу.

Виконані розрахунки підтверджують працездатність та доцільність використання в приводі круглов'язальної машини ПЗДН з запобіжною зубчастою муфтою з пружинами кручення.

Запропонована конструкція привода круглов'язальної машини з ПЗДН з запобіжною муфтою зубчастою з пружинами кручення здатна практично в 2,2 рази знизити динамічні навантаження привода на лінії передач механізму в'язання і, таким чином, підвищити ефективність роботи круглов'язальної машини.

Література

1. Кожевников С.Н. Динамика нестационарных процессов в машинах / Кожевников С.Н. – Київ : Наукова думка, 1986. – 288 с.
2. Піпа Б.Ф. Динаміка круглов'язальних машин / Піпа Б.Ф., Хомяк О.М., Павленко Г.І. – Київ : КНУТД, 2005. – 294 с.
3. Хомяк О.М. Динаміка плосков'язальних машин / Хомяк О.М. – Київ : КНУТД, 2008. – 250 с.
4. Чабан В.В. Динаміка основов'язальних машин / Чабан В.В., Бакан Л.А., Піпа Б.Ф. – Київ : КНУТД, 2012. – 287 с.
5. Поляков В.С. Справочник по муфтам / Поляков В.С., Барабаш И.Д., Ряховский О.А. – 2-е изд. – Ленинград : Машиностроение, 1979. – 351 с.
6. Машины кругловязальные типа КО-2. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – Черновцы, 1992. – 86 с.
7. Писаренко Г.С. Справочник по сопротивлению материалов / Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. – Київ : Наукова думка, 1975. – 704 с.
8. Піпа Б.Ф. Приводи в'язальних машин і автоматів з пристроями зниження динамічних навантажень (наукові основи та інженерні методи проектування) / Піпа Б.Ф., Чабан О.В., Музичишин С.В. – Київ : КНУТД, 2015. – 280 с.
9. Ковальов Ю.А. Пристрій зниження динамічних навантажень в приводі машин та вибір його параметрів / Ковальов Ю.А., Плешко С.А., Лопухов Є.В. // Вісник Хмельницького національного університету. – 2021. – № 3. – С. 87–93.
10. Піпа Б.Ф. К вопросу снижения динамических нагрузок в кругловязальной машине / Піпа Б.Ф., Набулси А.С.-А. – Київ : ГАЛПУ, 1994. – 14 с. – Деп. в ГНТБ України 20.04.94, № 782-Ук 94.

References

1. Kozhevnikov S.N. Dynamics of nonstationary processes in machines. - Kyiv: Scientific Opinion, 1986. - 288 p.
2. Pipa B.F. Dynamics of circular knitting machines / Pipa B.F., Khomyak O.M., Pavlenko G.I. - Kyiv: KNUUD, 2005. - 294 p.
3. Hamster O.M. Dynamics of flat knitting machines. - Kyiv: KNUUD, 2008. - 250 p.
4. Chaban V.V. Dynamics of warp knitting machines / Chaban V.V., Bakan L.A., Pipa B.F. - Kyiv: KNUUD, 2012. - 287 p.

-
5. Polyakov V.S. Handbook of couplings / Polyakov V.S., Barabash I.D., Ryahovsky O.A. - 2nd ed. - Leningrad: Mashinostroenie, 1979. - 351 p.
 6. Circular knitting machines of the KO-2 type. Technical description and operating instructions. - Chernivtsi. 1992. - 86 p.
 7. Pisarenko G.S. Handbook of material resistance / Pisarenko G.S., Yakovlev A.P., Matveev V.V. - Kyiv: Scientific Opinion, 1975. - 704 p.
 8. Pipa B.F. Drives of knitting machines and machines with devices for reducing dynamic loads (scientific foundations and engineering design methods) / Pipa B.F., Chaban O.V., Muzychishin S.V. - Kyiv: KNUTD, 2015. - 280 p.
 9. Kovalev Y.A. Device for reducing dynamic loads in the drive of machines and the choice of its parameters / Kovalev Y.A., Pleshko S.A., Lopukhov E.V. // Bulletin of Khmelnytsky National University. - 2021. - № 3. - P. 87 - 93.
 10. Pipa B.F. On the issue of reducing dynamic loads in a circular knitting machine / Pipa B.F., Nabulsi AS.-A. - Kyiv : GALPU, 1994. - 14 p. Dep. in GNTB of Ukraine 20.04.94, № 782-Uk 94.

Л. М. БЕРЕЗІН

Київський національний університет технологій та дизайну

ORCID ID: 0000-0002-2672-6323

e-mail: lnb07@ukr.net

ДО РОЗРАХУНКУ НАВАНТАЖЕНОСТІ В'ЯЗАЛЬНИХ ГОЛОК ШКАРПЕТКОВИХ АВТОМАТІВ

В роботі наведено результати досліджень впливу швидкісних режимів шкарпеткових автоматів на навантаженість в'язальних голок за сумарним числом циклів навантажень. Встановлені залежності колових швидкостей голкового циліндру, за яких можливий розрив силового замикання п'яток голок при ударі з клином та додаткова взаємодія п'яток невідібраних голок з горизонтальними обмежувальними клинами.

Ключові слова: шкарпетковий автомат, в'язальна голка, навантаженість, удар, цикл навантаження.

BEREZIN LEONID M.

Kyiv National University of Technologies and Design

TO CALCULATE THE LOADING OF KNITTING NEEDLES OF AUTOMATIC HALF-HOSE MACHINES

An important link in the analysis of the longevity of details by the criterion of fatigue strength is the calculation of parameters that take into account the peculiarities of the technological regime in terms of load and the corresponding number of cycles that affect the accumulation of fatigue failure. The final range of loads of knitting needles of automatic half-hose machine was based on the systematization of amplitudes of forces depending on the frequency of their implementation. Previous works has assumed the assumption of a one interaction of the needle heel with the cams, which is experimentally refuted by the example of modern high-speed automatic half-hose machine.

The aim of the work is to adjust the provisions of calculating the load of knitting needles of half-hose machines for design estimate of longevity, taking into account the specific features of the impacts of needles with the cams of the knitting system, which affect the total number of load cycles.

The condition of rupture of the contact in the pair of the needle heel and the inclined cam after their impact is considered, taking into account the inertial and rigid parameters of the system, including the resisting force of the needle in the groove of the cylinder. According to the results of the dynamic analysis, the expressions of the minimum speed at which the needle can rebound from the cam and the vertical component of the needle rebound speed at the moment of its separation from the cam are obtained.

The analysis of the influence of the force of resistance of the needle movement in the race on the vertical speed of the needle is performed. The issue of the bounce of the heels of unselected needles from the lower edge of the inclined cam due to their inertial run-out was studied separately. It is established that at certain circular speeds of the needle cylinder leads to additional impacts of the needles with the horizontal limiting cams and increases their destruction.

The results of studies of the possible rebound of the needle heel from the inclined cam and the interaction of the needle with the limiting horizontal cams are a supplement to the method of calculating the loading of needles and are aimed at improving the accuracy of design longevity of needles.

Keywords: automatic half-hose machine, knitting needles, loading, impact, load cycle

Постановка проблеми

Важливою ланкою в розрахунках довговічності деталей за критерієм втомленої міцності є обчислення параметрів напруженості [1], на точність якого впливають режим навантаження та супутнє накопичення втомлених пошкоджень. Це підтверджується невідповідністю проектної довговічності машин з результатами експлуатаційних спостережень для виробів машинобудування [2–4], включно з круглов'язальним обладнанням [5, 6]. Незважаючи на значну базу нормативно-технічної документації [7–9] щодо методів обрахунку напруженості деталей машин, очевидною є необхідність виявлення специфічних закономірностей зміни навантажень за часом з урахуванням технологічних особливостей роботи об'єкту проектування. Оцінка навантаженості включає схематизацію навантажень та визначення статистичних характеристик навантаженості.

Аналіз останніх джерел

Для складання підсумкового спектру навантажень в'язальних голок вибирають певний інтервал часу, переважно за який виготовляють типовий шкарпетковий виріб з урахуванням можливих типорозмірів та різновиду асортименту [5]. Враховуючи режим навантаження голок з вираженою закономірністю чергування, використовують однопараметричну систематизацію за амплітудами навантажень F_i залежно від частоти їх реалізації – числа циклів навантажень даної амплітуди N_i . При аналізі розподілення навантажень в функції частоти їх прикладання або відношення числа циклів $\nu_i = \frac{N_i}{\sum N_i}$ передусім

використовують представлення в виді гістограми (дискретного ступінчастого графіку), що спрощує оцінку навантаженості в порівнянні з використанням щільності розподілення амплітуд $f(F_i)$ [4]. Якщо при оцінці навантаженості визначення динамічних навантажень на голку широко представлені в літературних джерелах, наприклад в [5, 10–12], то існує певна невизначеність щодо обчислення частоти прикладання навантажень, яка зумовлена різними поєднаннями регламентованих факторів в умовах експлуатації.

Оскільки навантаженість голок доцільно представляти блоком їх навантажень при виготовленні типового виробу, то сумарна кількість циклів навантаження голки за цей період дорівнює числу ударів

голки з усіма клинами в'язальної системи на робочих швидкісних режимах виготовлення різних ділянок виробу, які обчислюють на основі аналізу руху п'ятки голки відносно клинів в'язальної системи.

Обрахунок виконували при виготовленні виробу з жакардовим переплетенням на гомілці та частково сліду, з класичною п'яткою і миском, враховуючи відбір голок клином неповного заклучення в третій системі при в'язанні борту виробу, відбір рисунчастими шиберами в трьох системах для утворення рисунків на ділянках гомілки (середня кількість шиберів, що включаються, дорівнює 2,23 [13]), відбір шиберами збою на ділянці сліду, в пристроях відбору голок при в'язанні п'яtkового та мискового карманів. В роботі [14] представлена узагальнена інформація щодо визначення сумарного числа циклів навантаження голки залежно від кількості петельних рядків на ділянках борту, гомілки, сліду, п'ятки, миску, ряду підсилення, ранжейного ряду та ряду розпуску відповідно. Недосконалість наведених виразів полягає в припущенні одноразової взаємодії п'ятки голки з клинами, тобто при неперервному контакті між п'яткою та поверхнею клину, що експериментально спростовується на сучасних швидкісних шкарпеткових автоматах.

Метою роботи є корегування положень обчислення навантаженості в'язальних голок шкарпеткових автоматів для проектної оцінки довговічності з урахуванням специфічних особливостей ударної взаємодії голок з клинами в'язальної системи, які впливають на сумарне число циклів навантажень.

Виклад основного матеріалу

Умову розриву силового замикання в кінематичній парі п'ятка – нахилений клин після їх удару визначали аналогічно до кулачкового механізму [15]:

$$V_x \operatorname{tg} \alpha \sqrt{m \cdot C_{np} \cdot K_C / (1 - \delta^2 / 4\pi^2)} \geq F_0 + 2hV_x \operatorname{tg} \alpha \cdot m \quad \text{при } |\sin \omega_d t| \leq 1, \quad (1)$$

де m , C_{np} – маса та приведена жорсткість голки при боковій взаємодії її п'ятки з нахиленою поверхнею клину (приведену масу голки прирівнювали до її маси m , а C_{np} обчислювали за осцилограмою вільних затухаючих коливань при відтворенні частотних характеристик ударного процесу); K_C – коефіцієнт, який враховує вплив згину стержня голки на його повздовжню деформацію в момент удару; V_x – колова швидкість п'ятки голки на поверхні циліндра; α – кут нахилу профілю робочої ділянки клину; F_0 – сила опору руху голки в пазу, яка створюється штучно для унеможливлення довільного опускання голки в пазу циліндра; $h = \delta / T$ – коефіцієнт демпфірування; δ – логарифмічний декремент коливань, який визначається за осцилограмою затухаючих коливань ударного процесу; $T = 2\pi / \omega$ – період затухаючих коливань голки при частоті вимушених коливань ω ;

$$\omega_d = \sqrt{\omega^2 - h^2} = \sqrt{\omega^2 - \omega^2 \delta^2 / 4\pi^2} = \sqrt{(1 - \delta^2 / 4\pi^2) K_C C_{np} / m} \quad \text{– частота власних коливань з урахуванням демпфірування.}$$

Тоді колова швидкість голкового циліндру, при якій можливий відрив п'ятки голки від клину визначається за формулою:

$$V_x \geq F_0 / \operatorname{tg} \alpha \left(\sqrt{m \cdot C_{np} \cdot K_C / (1 - \delta^2 / 4\pi^2)} - 2h \cdot m \right). \quad (2)$$

При підстановці в (2) вихідних даних для автоматів середнього класу ($m = 0,6 \cdot 10^{-3}$ кг; $\alpha = 47^\circ 30'$; $F_0 = 4,8$ Н; $h = \delta \cdot \omega_d / 2\pi = 565,1$ с $^{-1}$ при $\delta = 0,43$; $C_{np} = 5,31 \cdot 10^4$ Н/м; $K_C = 0,352$ [16], діаметр голкового циліндру $D = 3 \frac{3}{4}$ "), отримуємо, що колова швидкість, при якій маємо розрив замикання п'ятки та клину, становить $V_x \geq 1,64$ м/с або $n = 328,5$ об/хв, тобто є реальною для перспективних швидкісних автоматів.

Правомірність застосування залежності (2) було перевірено експериментально: розрив в парі голка–клин в зоні їх початкової взаємодії фіксувався осцилографом за допомогою контактного датчика.

При кінематичному аналізі визначали вертикальну складову швидкості відскоку голки V_g в момент удару її по нахиленому клину за наявності розриву кінематичної пари. Диференціюючи рівняння руху голки [8], рівняння вертикальної складової швидкості п'ятки голки при відскоку має вид:

$$\dot{y} = V_x \operatorname{tg} \alpha (1 + e^{-h \cdot t} (\frac{h}{\omega_d} \sin \omega_d t - \cos \omega_d t)). \quad (3)$$

Враховуючи, що відскок п'ятки від клину можливий, коли сила ударної взаємодії дорівнює 0, то отримуємо:

$$\sin \omega_d t = - \frac{F_0 + 2mhV_x \operatorname{tg} \alpha}{K_C \cdot e^{-h \cdot t} V_x \operatorname{tg} \alpha \sqrt{m \cdot C_{np} / (1 - \delta^2 / 4\pi^2)} K_C} \quad \text{або}$$

$$\sin \omega_d t = - \frac{(F_0 + 2mhV_x \operatorname{tg} \alpha) \omega_d}{e^{-h \cdot t} V_x \operatorname{tg} \alpha \cdot C_{np} \cdot K_C}, \quad (4)$$

де

$$C_{np} / \omega_d = \sqrt{m \cdot C_{np} / (1 - \delta^2 / 4\pi^2) K_C} \text{ та}$$

$$\cos \omega_d t = \sqrt{1 - \sin^2 \omega_d t} = \sqrt{1 - \left(\frac{(F_0 + 2mhV_x \operatorname{tg} \alpha) \omega_d}{e^{-h \cdot t} V_x \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot C_{np} \cdot K_C} \right)^2}. \quad (5)$$

Після підстановки (4) і (5) в (3), та враховуючи зміст кореня в рівнянні (5), при якому забезпечується умова $\dot{y} > V_x \operatorname{tg} \alpha$, остаточно отримали вираз для визначення швидкості відскоку голки $\dot{y} = V_\theta$ від нахилоного клину:

$$V_\theta = V_y (1 + e^{-ht} \left| \sqrt{1 - \left(\frac{(F_0 + 2mhV_{ycm}) \omega_d}{e^{-ht} V_{ycm} \cdot C_{np} \cdot K_C} \right)^2} \right|) - \frac{h}{K_C \cdot C_{np}} (F_0 + 2hV_{ycm} \cdot m), \quad (6)$$

де $V_x \operatorname{tg} \alpha = V_y$ – швидкість усталеного руху п'ятки по клину.

Аналіз формули (6) показує, що швидкість відскоку V_θ зростає з підвищенням лінійної швидкості V_x , кута нахилу клину α , приведеної жорсткості системи голка–клин–паз C_{np} та особливо при зменшенні сили корисного опору F_0 . При умовних $F_0 + 2mhV_x \operatorname{tg} \alpha \rightarrow 0$ маємо $V_\theta \rightarrow V_y (1 + e^{-ht})$, а при зростанні $F_0 + 2mhV_x \operatorname{tg} \alpha$ – відповідно $V_\theta \rightarrow V_y$, тобто $V_y \leq V_\theta \leq V_y (1 + e^{-ht})$.

При відскоку п'яток невідібраних голок від нижньої кромки нахилоного клину внаслідок їх інерційного вибігу можлива додаткова взаємодія п'яток з горизонтальними обмежувальними клинами, що відповідно збільшує навантаженість голок. Обмежувальні клини призначені для забезпечення фіксованого переміщення при гальмуванні голок для усунення поперечної строкатості на шкарпеткових виробках. Величину зазору Δ між нижнім торцем п'ятки голки і робочою площиною обмежувального горизонтального клину задають за допустимою величиною відхилення довжин петель (не повинна перевищувати 0,2...0,3 мм) [17].

Рівняння руху голки на переміщенні Δ між торцем голки та обмежувальним клином та відповідні вертикальні складові швидкостей і переміщень мають вид:

$$m_{np} \ddot{y}_2 = -F_0; \quad (7)$$

$$\dot{y}_2 = -\frac{F_0}{m_{np}} t + \dot{y}_{20}; \quad (8)$$

$$y_2 = -\frac{F_0}{m_{np}} \frac{t^2}{2} + \dot{y}_{20} \cdot t, \quad (9)$$

де y_2 – відносне вертикальне переміщення п'ятки голки вздовж голкового циліндру, $\dot{y}_{20} = V_\theta$ – початкова умова за наявності відскоку.

В момент взаємодії п'ятки голки з обмежувальним клином приймаємо $t = \tau$ та $y_2 = \Delta$. Тоді за рівнянням (9) отримаємо $\Delta = -\frac{F_0}{m_{np}} \frac{\tau^2}{2} + V_{відс} \cdot \tau$ з наступними розв'язками:

$$\tau_{1,2} = \frac{V_{відс} \pm \sqrt{(V_{відс})^2 - 2\Delta \cdot F_0 / m_{np}}}{F_0 / m_{np}}.$$

Після підстановки $t = \tau_{1,2}$ в (8) та певних перетворень, залежність для вертикальної складової швидкості в момент удару п'ятки голки з обмежувальним клином прийме вид:

$$\dot{y}_{2\tau} = \sqrt{(V_{відс})^2 - 2\Delta \cdot F_0 / m_{np}}. \quad (10)$$

Очевидно з (10), що при $m_{np}(V_{відс})^2 - 2\Delta \cdot F_0 \leq 0$ удар п'ятки голки по обмежувальному клину неможливий через її гальмування силою F_0 , а величина зазору, яка забезпечує відсутність удару становить

$\Delta = m_{np}(V_{відс})^2 / 2F_0 \leq [\Delta] \cdot 10^{-3}$. Звідки $V_{відс} \leq \sqrt{2F_0[\Delta] \cdot 10^{-3} / m_{np}}$. Встановлено, що при $F_0 = 4,8$ Н, $[\Delta] = 0,25$ мм та $m = 0,6 \cdot 10^{-3}$ кг ударна взаємодія п'ятки голки з горизонтальним обмежувальним клином відсутня, якщо $V_{відс} \leq 2,0$ м/с, що відповідає коловій швидкості циліндра $V_x \leq \sqrt{2[\Delta] \cdot F_0 / m_{np} \operatorname{ctg} \alpha} \leq 1,71$ м/с.

Висновки

Результати досліджень умов можливого відскоку п'ятки голки від нахилоного клину та взаємодії її з

обмежувальним горизонтальним клином є доповнення до методики обчислення навантаженості голок та спрямовані на підвищення точності ймовірнісних розрахунків їх довговічності за критерієм втомленісної міцності. Викладені положення також справедливі при розрахунках інших стержньових елементів в'язального механізму шкарпеткових автоматів.

Література

1. Трощенко В.Т. Сопротивление усталости металлов и сплавов : справочник : [в 2 т. Т. 1] / В.Т. Трощенко, Л.А. Сосновский. – К. : Наукова думка, 1987. – 1315 с.
2. Коновалов Л.В. Нагруженность, усталость, надежность деталей металлургических машин / Л.В. Коновалов. – Москва : Металлургия, 1981. – 280 с.
3. Aven T. Improving the foundation and practice of reliability engineering / T. Aven // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability. – 2017. – Volume 3. – P. 295–305. – URL : <https://doi.org/10.1177/1748006X17699478>
4. Abdunaser M. Alshoaibi. Fatigue life and reliability assessment of metal structures / M. Alshoaibi Abdunaser, Mohammed A. Ghazwani, Malek H. Hakami // Engineering Solid Mechanics. – 2021. – Volume 1. – P. 13–22. – URL : <https://doi.org/10.5267/j.esm.2020.7.001>
5. Березін Л.М. Оцінка довговічності та надійності в'язальних механізмів панчішно-шкарпеткових автоматів : монографія / Л.М. Березін. – К. : КНУТД, 2013. – 191 с.
6. Reza M.H. A study on causes of knitting machine stoppages and their impact on fabric production / M.H. Reza, M.K. Hossain // European Scientific Journal. – 2015. – P. 262–269. – URL : <https://eujournal.org/index.php/esj/article/view/6650>
7. Надійність техніки. Аналіз надійності. Основні положення : ДСТУ 2861- 94. – [Чинний від 1996–01–01]. – Київ : Держспоживстандарт України, 1996. – 76 с. – (Національний стандарт України).
8. Расчеты и испытания на прочность. Методы схематизации случайных процессонагружения элементов машин и конструкций и статистического представления результатов : ГОСТ 25.101-83. – [Дата введения 1984-07-01]. – Москва : Стандартиформ, 1983. – 29 с.
9. Когаев В. П. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность : справочник / В. П. Когаев, Н. А. Махутов, А. П. Гусенков. – Москва : Машиностроение, 1985. – 224 с.
10. Berezin L. Estimation of Fatigue Longevity of Rod Elements of Complex Form / L. Berezin, M. Rubanka, A. Rubanka, Y. Kovalov, S. Pleshko // Periodica Polytechnica Mechanical Engineering. – 2021. – Volume 2. – P. 111–119, 2021. – URL : <https://doi.org/10.3311/PPme.14647>
11. Березин Л.Н. Анализ влияния динамических нагрузок на долговечность вязальных игл чулочно-носочных автоматов / Л.Н. Березин // Вестник витебского государственного технологического университета. – 2015. – № 29. – С. 7–12.
12. Cimilli Duru S. Effect of yarn, machine and knitting process parameters on the dynamics of the circular knitting needle / S. Cimilli Duru, C. Candan, A. Mugan // Textile research journal – 2015. – Volume 6. – P. 568–589. – URL : <https://doi.org/10.1177/0040517514547216>
13. Амро М. Исследование нагруженности механизма рисунка чулочных автоматов ОЗД / М. Амро, В.П. Волощенко // Изв. вузов. Технология лег. пром-сти. – 1981. – № 2. – С. 113–117.
14. Березін Л. М. До розрахунку циклів навантаження голок панчішно-шкарпеточних автоматів при визначенні їх надійності за критерієм втомленісної міцності / Л. М. Березін // Вісник КНУТД. – 2010. – № 5. – С. 13–19.
15. Артоболевский, И. И. Теория механизмов и машин : учебник / И. И. Артоболевский. – Москва : Транспортная компания, 2016. – 639 с.
16. Пипа Б.Ф. Эксплуатационная надежность машин трикотажного производства / Б.Ф. Пипа, В.П. Волощенко, С.Т. Шипуков. – К. : Техніка, 1977. – 136 с.
17. Мойсеенко Ф.А. Проектирование вязальных машин / Ф.А. Мойсеенко. – Харків : Основа, 1994. – 336 с.

References

1. Troshenko V.T. Soprotivlenie ustalosti metallov i splavov : spravochnik : [v 2 t. T. 1] / V.T. Troshenko, L.A. Sosnovskij. – K. : Naukova dumka, 1987. – 1315 s.
2. Kononov L.V. Nagruzhennost, ustalost, nadezhnost detalej metallurgicheskikh mashin / L.V. Kononov. – Moskva : Metallurgiya, 1981. – 280 s.
3. Aven T. Improving the foundation and practice of reliability engineering / T. Aven // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability. – 2017. – Volume 3. – P. 295–305. – URL : <https://doi.org/10.1177/1748006X17699478>
4. Abdunaser M. Alshoaibi. Fatigue life and reliability assessment of metal structures / M. Alshoaibi Abdunaser, Mohammed A. Ghazwani, Malek H. Hakami // Engineering Solid Mechanics. – 2021. – Volume 1. – P. 13–22. – URL : <https://doi.org/10.5267/j.esm.2020.7.001>
5. Berezin L.M. Otsinka dovhovichnosti ta nadiinosti v'iazalnykh mekhanizmv panchishno-shkarpetkovykh avtomativ : monohrafiia / L.M. Berezin. – K. : KNUVD, 2013. – 191 s.
6. Reza M.H. A study on causes of knitting machine stoppages and their impact on fabric production / M.N. Reza, M.K. Hossain // European Scientific Journal. – 2015. – P. 262–269. – URL : <https://eujournal.org/index.php/esj/article/view/6650>
7. Nadiinist tekhniki. Analiz nadiinosti. Osnovni polozhennia : DSTU 2861- 94. – [Chynnyi vid 1996–01–01]. – Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 1996. – 76 s. – (Natsionalnyi standart Ukrainy).

8. Raschety i ispytaniya na prochnost. Metody shematizatsii sluchajnyh processovnagruzheniya elementov mashin i konstrukcij i statisticheskogo predstavleniya rezultatov : GOST 25.101-83. – [Data vvedeniya 1984-07-01]. – Moskva : Standartinform, 1983. – 29 s.
9. Kogaev V. P. Raschety detalej mashin i konstrukcij na prochnost i dolgovechnost : cpravochnik / V. P. Kogaev, N. A. Mahutov, A. P. Gusenkov. – Moskva : Mashinostroenie, 1985. – 224 s.
10. Berezin L. Estimation of Fatigue Longevity of Rod Elements of Complex Form / L. Berezin, M. Rubanka, A. Rubanka, Y. Kovalov, S. Pleshko // Periodica Polytechnica Mechanical Engineering. – 2021. – Volume 2. – R. 111–119, 2021. – URL : <https://doi.org/10.3311/PPme.14647>
11. Berezin L.N. Analiz vliyaniya dinamicheskikh nagruzok na dolgovechnost vyazalnyh igl chulochno-nosochnyh avtomatov / L.N. Berezin // Vestnik vitebskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta. – 2015. – № 29. – S. 7–12.
12. Cimilli Duru S. Effect of yarn, machine and knitting process parameters on the dynamics of the circular knitting needle / S. Cimilli Duru, C. Candan, A. Mugan // Textile research journal – 2015. – Volume 6. – R. 568–589. – URL : <https://doi.org/10.1177/0040517514547216>
13. Amro M. Issledovanie nagruzhenosti mehanizma risunka chulochnykh avtomatov OZD / M. Amro, V.P. Voloshenko // Izv. vuzov. Tehnologiya leg. prom-sti. – 1981. – № 2. – C. 113–117.
14. Berezin L. M. Do rozrakhunku tsykliv navantazhennia holok panchishno-shkarpetochnykh avtomativ pry vyznachenni yikh nadiinosti za kryteriiem vtomlenisnoi mitsnosti / L. M. Berezin // Visnyk KNUTD. – 2010. – № 5. – S. 13–19.
15. Artobolevskij, I. I. Teoriya mehanizmov i mashin : uchebnik / I. I. Artobolevskij. – Moskva : Transportnaya kompaniya, 2016. – 639 s.
16. Pipa B.F. Ekspluatatsionnaya nadezhnost mashin trikotazhnogo proizvodstva / B.F. Pipa, V.P. Voloshenko, S.T. Shipukov. – K. : Tehnika, 1977. – 136 s.
17. Moiseienko F.A. Proektuvannia viazalnykh mashyn / F.A. Moiseienko. – Kharkiv : Osnova, 1994. – 336 s.

ANDRIJ P. OLIJNYK

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

OLEKSANDRA YU. MIRZOIEVA

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

OKSANA I. BELEI

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

DEVELOPMENT OF THE INFORMATION SYSTEM FOR ANALYSIS THE PARAMETERS OF THE LOADING OF HYDRAULIC STRUCTURES

Hydraulic structures are designed not only for the use of water resources, but also for the fight against water elements. They must have a significant margin of safety, resistance to cyclic loads during floods, flood waters for long periods of time, since their destruction can lead to significant damage to the environment, the national economy, economic damage and even human casualties. The impact of the harmful effects of flood waters is observed in 27 percent of the country's territory (165 thousand sq. Km.), where almost a third of the population lives. The population of the mountainous and foothill regions of the Carpathians suffers the most from floods, where the area of half of the reclaimed slopes is affected by landslide processes. There is practically no territory of the state where the negative impact of floods is not felt from time to time (a significant increase in the water content of the river within the annual cycle, occurs irregularly; forms during heavy rains or during a thaw).

The longer the flood waters last, the longer the dam or dam is subject to destruction. The constant pressure exerted on hydraulic structures by water can lead to water leakage through dams and underground currents, leads to leaching and subsidence of the bottom of a hydraulic dam or dam, and this threatens its stability. The consequence of such softening can be a breakthrough of the dam, which entails negative consequences. The increase in the frequency and intensity of destructive floods and floods on mountain rivers prompts an analysis of the state of hydraulic structures. Therefore, it is proposed to develop an information system for analyzing the parameters of the loading of hydraulic structures (dams and dams), which will make it possible to formulate recommendations for the design of new ones and prevent the destruction of existing ones. The development of the information system was carried out in the Borland C ++ Builder software environment with the support of groundwater filtration and dynamic loads.

Keywords: meat comminutor, meat, screw, serve, rheological properties.

А. П. ОЛІЙНИК

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

ORCID ID: 0000-0003-1031-7207

e-mail: andrioliiny@gmail.com

О. Ю. МІРЗОЄВА

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

ORCID ID: 0000-0002-7319-2264

e-mail: oleksandra.mirzoieva@nung.edu.ua

О. І. БЕЛЕЙ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

ORCID ID: 0000-0002-2386-4106

e-mail: oksana_kl@meta.ua

РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ АНАЛІЗУ ПАРАМЕТРІВ НАВАНТАЖЕНОСТІ ГІДРОСПОРУД

У роботі запропоновано розробку інформаційної системи аналізу параметрів навантаженості гідропоруд (дамб і гребель), яка дозволить сформулювати рекомендації з проектування нових та запобігти руйнуванню існуючих.

Ключові слова: навантаженість гідропоруд, дамба, гребля, фільтрація, інформаційна система.

Formulation of the problem

Safe and reliable operation of hydraulic structures is one of the important directions for ensuring the stable operation of power plants and preventing dangerous impact on the environment. Constant monitoring of the condition of hydraulic structures and preventive work is carried out by the personnel of the hydrotechnical services of power plants. In order to establish additional control over the technical condition, the authors of the work have developed an information system for analyzing the workload of hydraulic structures. It was found that the fight against the consequences of filtration is specifically aimed at reducing water losses from the headwater, at reducing back pressure, at reducing the velocities of the filtration flow and the arrival of the front and crest of the wave after the breakthrough of the hydraulic structure depends on the distance at which the residential areas are located.

Analysis of the latest sources

In works [1, 2] it was established that calculations must be carried out for two groups of limiting states: calculations of the total strength and stability of the structure-base system, the total filtration strength of structures, the strength of individual elements of structures, the destruction of which leads to the termination of the operation of structures; calculations of individual structural elements, on which the strength or stability of structures as a whole depends and calculations of the foundations for local strength; calculations to limit displacements and deformations, formation or opening of cracks, violation of local filtration strength or strength of individual elements of structures,

which are not considered the limit states of the first group [3].

KINPRO-SYSTEM [4]. contains innovative and cost-effective technologies for the protection of existing hydraulic structures and hydraulic structures under development. Sealing with Aquaconstruct the KINPRO-Nano-System method is a natural method for the construction of lakes, ponds, sedimentation tanks, reservoirs, pools of wet biotopes.

Existing soil does not need to be removed. The Aquaconstruct components are applied to the soil and then mixed. As a result, the "KINPRO" technology increases the physical and mechanical parameters, improves the waterproofing properties and protection against erosion of the treated and compacted soil. Mycorrhiza is offered due to the increased tolerance compared to salinization and waterlogging, advantages in the reclamation of flood-damaged areas and when used in biological strengthening of dams and banks [5–8]. Advantages of mycorrhiza in strengthening dams and banks: it has been proven that growth rates have been improved when planting greenery on dams and banks; strengthening of coastal ramparts and protection against erosion by rapid germination and the formation of the root system; increasing plant resistance to drought, waterlogging and salinization; self-regeneration of the biological system.

Construction companies of Ukraine, such as: "Minstroy", "Eurasia" propose in advance to protect the population, cities, hydraulic structures from floods and floods, using PVC sheet piles as a building element.

A sheet pile fence is a solid sheet pile wall formed by plastic sheet piles by vibration, hammering or indentation. In order to strengthen the banks from erosion near Ivano-Frankivsk, in the village Ugryniv, Tysmenytsya district, Ukrainian-Romanian enterprise "Iteko" began to produce modular dams. The first trial batch of modular dams has already been produced at an enterprise like Romanian.

Now experts are collecting orders and determining the number of modular dams required for the region, which are used during floods and floods. We are talking about modular metal structures with rubber connecting gaskets.

Each section of the dam weighs 110 kg, has a height of 1.5 m and is designed for a water load of up to 3 tons. According to Romanian experts, 15 people lay out a 1 km-long dam in 8 hours [14].

The analysis showed that these protective structures are at the stage of development or design, and the developed information system will prevent the premature destruction of technical hydraulic structures and prevent flooding of residential areas or adjacent agricultural land.

The purpose of the work is to ensure the ecological safety of the environment by monitoring the parameters of hydraulic structures.

Presentation of the main material

When designing hydraulic structures, it is necessary to take into account the following loads and effects: the influence of the filtration rate and pressure; water-physical and thermal properties of soils; dynamic load NF effect of the breakthrough wave on hydraulic structures.

The influences described above will be taken into account in the development of an information system for analyzing the state of hydraulic structures using mathematical formulas and laws.

Calculation of the rate of filtration of groundwater using Darcy's law - the law of filtration of liquids and gases in a porous medium, where the main input parameters are the rate and coefficient of filtration and the pressure gradient.

Hydraulic gradient, pressure gradient - the value (dimensionless) of the pressure loss per unit length of the path of fluid movement. It characterizes the degree of resistance of the medium to the movement of water. In the dynamics of groundwater, the hydraulic gradient (piezometric slope) is proportional to the filtration rate and, depending on the geological structure and composition of rocks, varies mainly from hundredths to thousandths of a unit.

In hydraulic structures, the hydraulic head is the depth of the reservoir in front of the building, or the difference in water levels in front of the structure and behind it.

The filtration coefficient of rocks is the proportionality coefficient in the Darcy equation, the value of which depends on the threshold structure of the rock, density and viscosity of the filter fluid. It characterizes the degree of permeability (water permeability) of rocks, which depends on the size of interpore gaps in granular rocks and the width of cracks in rocks.

Rock filtration coefficient is a proportionality coefficient in the Darcy equation, the value of which depends on the rock structure, density and viscosity of the filter fluid. Characterizes the degree of permeability (water permeability) of rocks, which depends on the size of interpore gaps in granular rocks and the width of cracks in rocks.

The development of the information system was carried out in the Borland C ++ Builder software environment (Fig. 1).

For calculations, we will take the value of the loam corresponding to the rock: the size of the porous body is 0.0001 m, the filtration coefficient is 0.001 m/day [9]. The density of the liquid is 1000 kg/m³, the acceleration of gravity is 9.8066 m/s², the pressure gradient is 3 m.

Loam can be found on the banks of the Seret River (Chertkov, Ternopil Region), as well as sections of the river where the bottom is covered with this soil.

Conversion of dimensions from m/day to m/s is taken into account in the text of the program.

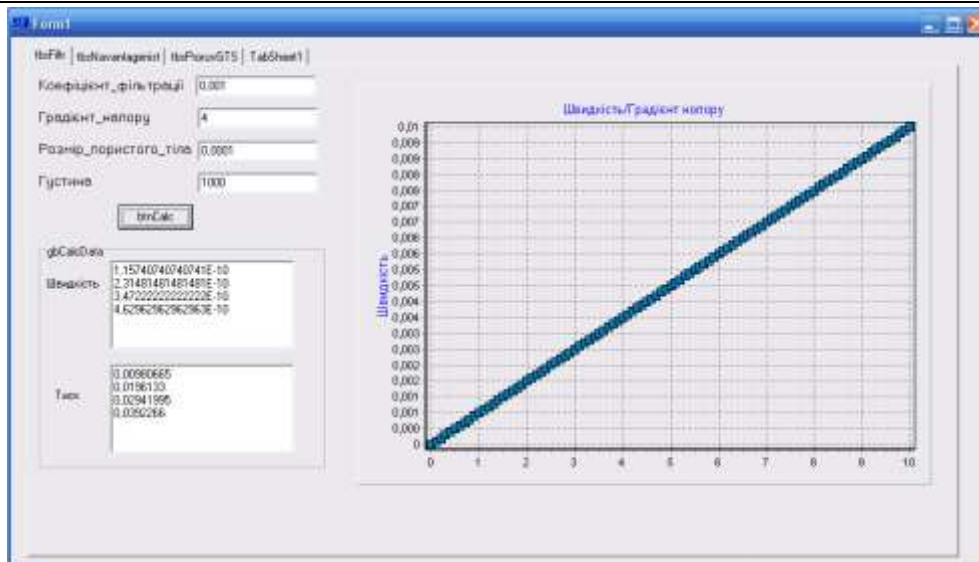


Fig. 1. Information system window for calculating filtration rate and pressure

Figure 1 shows one of the windows of the information system (IS). This IS window calculates the filtration rate, pressure drop, reflects the dependence of some values on another: namely: filtration rate on the pressure gradient.

The text of the program is written in such a way that the calculation of the filtration rate and pressure drop is carried out up to the value entered for the pressure gradient, therefore, we obtain the values of filtration rates $1.1574 \cdot 10^{-4}$ - $4.6297 \cdot 10^{-4}$ m/s, and for pressure 0.0098-0.039 Pa.

The results obtained above (Fig. 1) allow us to conclude that the filtration rate and pressure increase with the pressure gradient. An increase in the rate of filtration of groundwater, with prolonged precipitation, leads to the fact that the filtration flow, with an increase in gravitational forces, comes to the surface, causing landslides, suffusion.

The constant pressure exerted on hydraulic structures by water can lead to leakage of water through dams and underground currents, leading to leaching and subsidence of the bottom of the dam or dam, and this threatens its stability. The consequence of such softening can be a dam breakthrough, which entails negative consequences.

The runoff of groundwater in the form of silt leads to an increase in the level of rivers, the creation of additional pressure on hydraulic structures, since in addition to groundwater, everything that it washes in its path gets into the rivers.

The phenomena described above can be attributed to both anthropogenic and natural causes of the occurrence of flood waters [6].

Thus, the fight against the effects of filtration is specifically aimed at reducing water losses from the headwater, at reducing back pressure, at reducing the velocities of the filtration flow.

A priori, it can be argued that with the same head on the dam, the filtration under the structure and its consequences will be the smaller, the larger the filtration path, that is, the length of the filtration circuit.

The lengthening of the filtration paths is created by a device in front of the dam of a waterproof covering, called dull, and under the gloomy and construction - vertical obstacles in the form of sheet pile walls in soft soils, or in the form of cement, bitumen and other curtains in rocky foundations.

A similar filtration process occurs on the banks of the channel or valleys, which are adjacent to retaining structures. The fight against this phenomenon is also carried out mainly by lengthening the filtration paths.

Therefore, in order to reasonably determine the dimensions of the anti-seepage elements of the dam and to fully account for the flow in the section of the hydroelectric complex, it is necessary to be able to calculate the values of the main parameters of the filtration flow: its speed, flow rate and pressure.

The volume of the reservoir is approximately determined by the obelisk formula [15, 16], if we assume that the average depth of the flow behind the reservoir is equal to half of its maximum depth. The relevance of calculating the effect of flow rates and water pressure on the volume of a reservoir lies in the fact that when designing, at the initial stages of construction of dams and reservoirs, it is advisable to take into account the water consumption in certain periods, namely: low-water periods, floods, floods, since the discrepancy between the volume of the reservoir and the water flow rates, pressure leads to the creation of a dynamic load and a dam break, and this, in turn, to flooding.

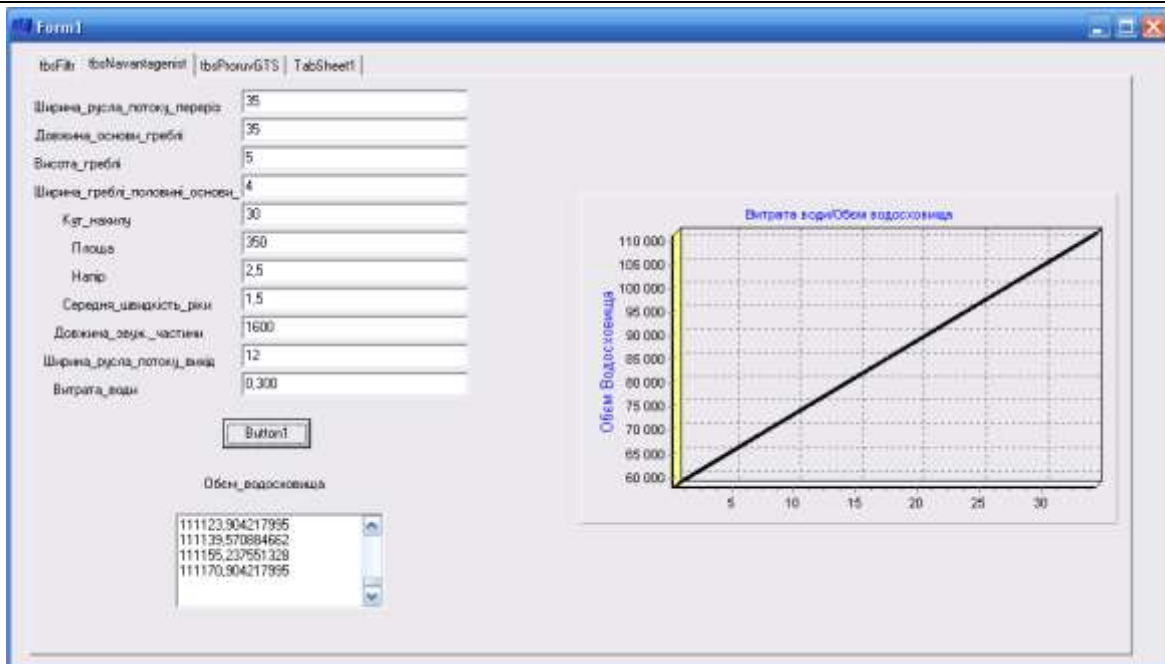


Fig. 2. Information window for calculating the effect of water discharge on the reservoir volume

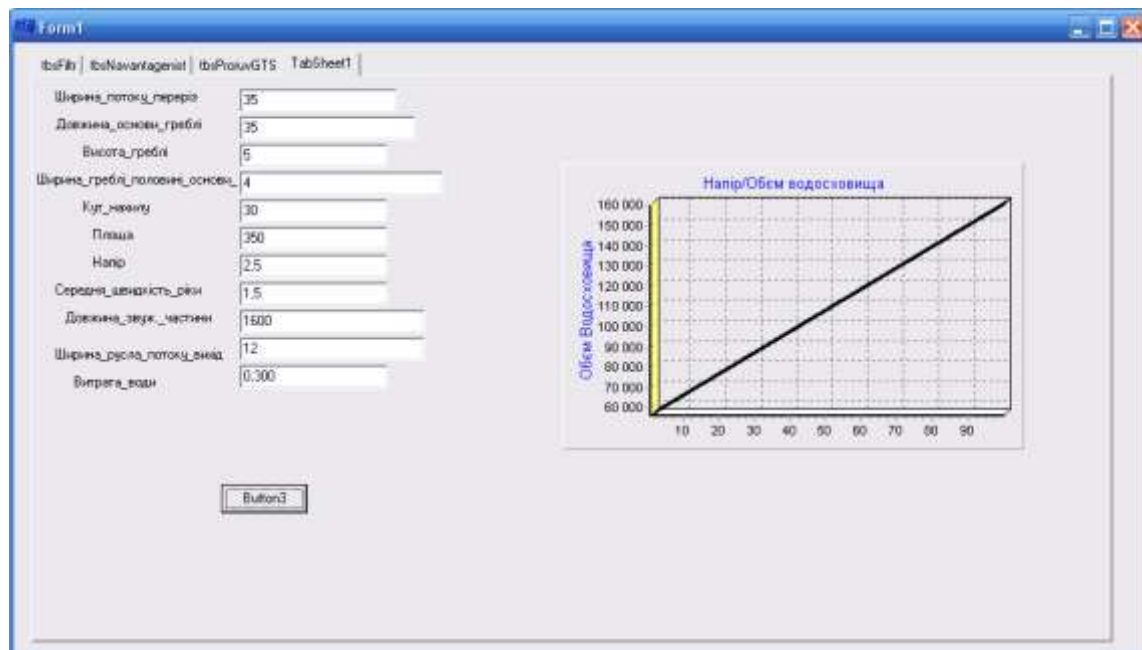


Fig. 3. General view of the window of the influence of water pressure on the volume of the reservoir

The graphs of the dependence of the reservoir volume on discharge (Fig. 2) and water pressure (Fig. 3) are linear (the higher the water flow rate and pressure, the more the reservoir volume grows). Flood waters occurring earlier in the selected area.

The text of the program (for calculating the effect of water discharge on the volume of the reservoir) is written in such a way that the volume of the reservoir depends on the influence of the water discharge, pressure, and the length of the dam base.

A separate issue is the assessment of the impact of the breakthrough wave on hydraulic structures (Fig. 4).

The influence of the wave on dams, dams can be as follows: impact of the wave front in the GTS; long-term hydraulic pressure on the elements of hydraulic structures (supports) erosion of soil between the supports (general erosion) and erosion of supports (local erosion), destruction of regulatory structures and earth embankments; impacts of large floating objects on supports; the formation of congestion of floating objects and the formation of flow constraints, creates an additional backwater [17].

From the results obtained, it can be concluded that the arrival of the front and crest of the wave after the breakthrough of the hydraulic structure depends on the distance at which the residential zones are located. With the distance of objects from 1 m to 6 m, the flooding time will be respectively 0.08-1 h.

A breakthrough wave when moving along the riverbed causes colossal damage to the national economy. First of all, it poses a serious danger to the population as a result of the sudden flooding of residential buildings and

office buildings. Therefore, the issue of timely prediction of the consequences of the impact of the breakout and flooding wave is extremely important.

Thus, an information system has been developed for analyzing the parameters of the loading of hydraulic structures, which will make it possible to formulate and prevent the destruction of existing hydraulic structures in order to protect the population from the catastrophic consequences of flood waters, floods.

Fig. 4. Dam break time

Conclusions

The technical article presents the existing methods for calculating the loading of hydraulic structures, analyzes the existing protection systems for hydraulic structures, discloses a set of works that will maintain the working condition of hydraulic structures, which will allow in more detail when designing hydraulic structures to take into account the water-physical and thermal properties of the soil.

The developed information system makes it possible to substantiate the influence of the parameters of the water-physical properties of soils during the construction of hydraulic structures, the dependence of flow rates and water pressure on the volume of reservoirs, in order to prevent the breakthrough of dams and leakage of dams, are successfully operated, and the formulation of appropriate recommendations for the design of new hydraulic structures.

References

1. Protypavodkovyi zakhyst. Informatsiyno-analitychna dovidka shchodo problem kompleksnoho protypavodkovoho zakhystu terytorii rehioniv Ukrainy vid katastrofichnykh pavodkiv ta minimizatsii zbytkiv vid shkidlyvoi dii vod: Protypavodkovyi zakhyst / Derzhavne anhenstvo vodnykh resursiv Ukrainy. Ofitsiyni sait. – URL : <http://www.scwm.gov.ua/index.php>
2. Mala hirnycha entsyklopediia / [uporiad. V. S. Biletskoho]. – Donetsk : Donbas, 2004. – 573 c.
3. Bybliuk I. I. Nebezpechni stykhiini yavysheha v Karpatakh: prychny vynyknennia ta shliakhy yikh minimizatsii / I.I. Bybliuk, I.P.Kovalchuk, O.S. Machuha // Naukovi pratsi Lisivnychoi akademii nauk Ukrainy : zb. naukovykh prats. – Lviv : RVV NLTU. – 2008.– Vyp. 6. – S. 105–119.
4. KINPRO-SYSTEM Hydrotekhnicheskaiia zashchyta: KINPRO-SYSTEM / KINPRO Holding GmbH. Ofitsiyni sait. – URL : www.kinpro.eu
5. Diachuk V. A. Pavodky v Zakarpatti ta prychny yikh vynyknennia / V. A. Diachuk, M. M. Susidko // Ukr. heohraf. zhurn. – 1999. – № 1. – S. 47–50.
6. Klapoushchak O. I. Suchasni prylady, materialy i tekhnolohii dlia neruinivnoho kontroliu i tekhnichnoi diahnostyky mashynobudivnoho i naftohazopromyslovoho obladnannia / O. I. Klapoushchak // Suchasnyi stan kontroliu ta prohnozuvannia pavodkovykh vod : 6-a Mizhnarodna nauko-tekhnichna konferentsiia i vystavka, Ivano-Frankivsk, 29 lystopada – 2 hrudnia 2011. : tezy dop. i povidoml. – Ivano-Frankivsk, 2011. – C. 209–214.
7. Zamikhovskiy L. M. Analiz metodiv i system kontroliu ta prohnozuvannia rivnia pavodkovykh vod / L. M. Zamikhovskiy, O. I. Klapoushchak // Naftohazova enerhetyka : vseukrainskyi nauko-tekhnichnyi zhurnal. – Ivano-Frankivsk : IFNTUNH. – 2011. – Vyp. 2(15) – S. 99–105.
8. Maslova T. V. Otsiniuvannia zvolozhenosti hirskykh vodozboriv pry matematychnomu modeliuvanni doshchovykh pavodkiv / T. V. Maslova, M.M. Susidko // Nauk. pratsi UkrNDHMI. – 2001. – Vypusk 256. – S. 233–238
9. Nazarenko I. I. Hruntoznavstvo : pidruchnyk / I. I. Nazarenko, S. M. Polchyna, V. A. Nikorych. – Chernivtsi : Knyhy-KhKhI, 2004. – 400 s.
10. Malanyan V. V. Metody y praktyka analiza sluchainykh protsessov v dynamicheskikh systemakh / V. V. Malanyan, Y. E. Poloskov. – M. : Izhevsk: NYTs, 2010. – 295 s.
11. SNyP 2.06.01-86. Hydrotekhnicheskyye sooruzheniya. Osnovnye polozeniya proektyrovnye : zb. normat. dok. / [uporiad. Vedeneva B. E., Khrapkov D. D., Lamkyn M.S., Shyriaev R.A.]. – Moskva : HOSUDARSTVENNII STROYTELNIY KOMYTET, 1987.

-
12. Zakhyst vid povnei - zvedennia antypavodkovykh system: Ukriplennia berehiv, shtuchni vodoimy, katery, yakhty, sudnopidiimachi, elinhy, prychaly / Minbud. Ofitsiyni sait. – URL : <http://minbud.ub.ua/service/2590--.html>
13. Na Prykarpatti pochyly vyhotovliaty modulni damby (foto) // Ahentsiia novyn. Ofitsiyni sait. – URL : <http://firtka.if.ua/?action=show&id=16408>
14. Bronshtein Y. N. Spravochnyk po matematyke / Y. N. Kronshtein, K. A. Semendiaev. – Moskva : Nauka, 1964. – 608 s.
15. Machuha O. S. Metodyka doslidzhennia heometrychnykh kharakterystyk hidrotekhnichnykh sporud ta vodoskhovyshch / O. S. Machuha // Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy. – 2010. – Vyp. 20.11. – S. 67–70.
16. Natsionalna biblioteka Ukrainy imeni V. I. Vernadskoho : [veb-sait]. – Kyiv : NBUV, 2013–2015. – URL : www.nbuv.gov.ua – (Data zvernennia 30.03.2015).
17. Goroshko A. Quality and Reliability of Technical Systems: Theory and Practice / A. Goroshko, V. Royzman, M. Zembytska // System Analysis of Automatic Balancing (Self-Balancing) Machine Rotors with Liquid Working Bodies on the Example of Drum Type Washing Machines. – 2018. – Volume 2, August. – P. 26–60. – ISBN 978-609-96036-0-5.

Т.А. ПОПОВИЧ

Херсонський державний університет

ORCID: 0000-0001-7449-9949

Г.В. МІЩЕНКО

Херсонський національний технічний університет

ORCID: 0000-0002-0336-1026

С.П. БЕСЧАСНИЙ

Херсонський державний університет

ORCID: 0000-0002-7423-4112

АНТИМІКРОБНІ ВЛАСТИВОСТІ ЛІГНІНУ ЯК ПРИРОДНОГО БІОЦИДУ ДЛЯ ЗАХИСТУ ТЕКСТИЛЮ

Антибактеріальна функціоналізація є однією з важливих галузей досліджень в текстильній промисловості, але такі біополімери, як лігнін і пектин, що мають гарну біосумісність, антиоксидантні та антимікробні властивості, на вітчизняному ринку застосовуються в основному в будівельній та харчовій промисловості. Було досліджено антимікробну активність натрій лігносульфонату, яблучного пектину та їх суміші до бактерій грамозитивних (*Staphylococcus aureus*) і грамнегативних штамів (*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*). З'ясовано, що лігнін в порівнянні з пектином проявляє більшу антибактеріальну активність і найбільш ефективний проти бактерій *Staphylococcus aureus*. Посилення в 2-4 рази антибактеріального ефекту по відношенню до всіх мікроорганізмів спостерігалось при сумісному застосуванні лігніну і пектину, як синергетичної суміші. Дана робота може бути корисна при створенні антимікробних композицій для захисту текстильних матеріалів.

Ключові слова: антимікробні агенти, антимікробний текстиль, лігнін, пектин.

Т.А. POPOVYCH

Kherson State University

ORCID: 0000-0001-7449-9949

A. V. MISHCHENKO

Kherson National Technical University

ORCID: 0000-0002-0336-1026

S. P. BESCHASNYI

Kherson State University

ORCID: 0000-0002-7423-4112

ANTIMICROBIAL PROPERTIES OF LIGNINE AS A NATURAL BIOCIDES FOR TEXTILE PROTECTION

The functionalization of antibacterial drugs is one of the important areas of research in the textile industry. It uses traditional antimicrobial agents of synthetic or natural origin, and generates new biopolymers with useful properties. Some of them, such as lignin and pectin, have good biocompatibility, antioxidant and antimicrobial properties, but the domestic market uses them mainly in the construction and food industries, respectively.

The antimicrobial activity of sodium lignosulfonate, apple pectin and their mixture against gram-positive bacteria (*Staphylococcus aureus*) and gram-negative strains (*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*) was studied. Experimental results have shown that lignin exhibits slightly higher antibacterial activity compared to pectin and is more effective against *Staphylococcus aureus* in terms of minimal bactericidal and minimal inhibitory concentrations. Determination of cytotoxicity of sodium lignosulfonate by MTT showed the non-toxicity of this biocide for human cells.

It was found that the antimicrobial behavior of lignosulfonates, pectins and their mixtures differs in relation to gram-positive and gram-negative strains of bacteria. It appeared that the most vulnerable to bactericides are gram-positive strains of *Staphylococcus aureus* due to the possible absence of double-membrane wall cells.

In addition, the simultaneous use of lignin and pectin as a synergistic mixture showed an increase in antibacterial action against all microorganisms by 2-4 times.

The antimicrobial effect of the studied biocides was compared to the traditional antimicrobial drug silver nitrate, which is widely used in various industries, including textile production. It was found that lignin and pectin in amounts of 1-5 mg/cm³ have the same antimicrobial effect for gram-positive strains and 10-20 mg/cm³ - for gram-negative bacteria, as a solution of AgNO₃ with a concentration of 0.2 mg/cm³. Higher concentrations of lignin and pectin can be offset by significantly lower prices compared to silver salts, as well as greater environmental and medical safety for human health. In addition, lignin is potentially available in large quantities as a by-product from the pulp industry and lignocellulosic bioprocessing plants.

This piece of work may be useful in future when creating antimicrobial compositions for textiles.

Keywords: antimicrobials, antimicrobial textiles, lignin, pectin.

Постановка проблеми

В сучасному світі процес глобалізації спричинив стрімке розповсюдження різних видів мікроорганізмів і виникнення багатьох епідемій і пандемій, таких як холера, віспа, жовта лихоманка, іспанський грип і коронавірус. Присутність патогенних мікроорганізмів на поверхні текстильного матеріалу (табл. 1) може привести до серйозних проблем зі здоров'ям і навколишнім середовищем [1].

Оскільки одяг знаходиться в безпосередньому контакті з тілом людини, то розробка антимікробної текстильної продукції вкрай необхідна і актуальна. Саме тому, в період останніх декількох десятиліть, антибактеріальна функціоналізація є однією з важливих галузей досліджень у текстильній промисловості [2].

Таблиця 1

Мікроорганізми виявлені на текстилі

Можливе походження	Мікроорганізми	Можливе походження	Мікроорганізми
Екзогенне	<i>Acinetobacter</i>	Людське	<i>Candida</i>
	<i>Brevundimonas</i>		<i>Citrobacter</i>
	<i>Micrococcus</i>		<i>Corynebacterium</i>
	<i>Pseudomonas</i>		<i>Propionbacterium</i>
	<i>Enterococcus</i>		<i>Staphylococcus</i>

Різні антимікробні текстильні матеріали розробляються з використанням безлічі активних хімічних сполук, серед яких синтетичні протимікробні агенти, такі як триклозан, метали та їх солі, феноли, сполуки четвертичного амонію і металорганічні сполуки посідають значне місце [3-5]. Хоча синтетичні протимікробні препарати ефективно пригнічують ріст бактерій, більшість з них токсичні, можуть шкідливо діяти на здоров'я людини і є забруднювачами оточуючого середовища [6].

Іншим напрямом в забезпеченні на текстилі антимікробного ефекту є створення нанообробної тканини шляхом, наприклад, додавання вуглецевих нанотрубок і наночастинок цинку до волокна в процесі прядіння з розплаву, внесення наночастинок полімолочної кислоти з прополісом в прядильний розчин, що обумовлює антимікробну активність проти *S. aureus*, *S. epidermidis*, *Proteus mirabilis* і *E. coli*, створення на поверхні тканини захисного антимікробного шару з наночастинок Ag, Zn, Cu, їх солей або оксидів Ti, Fe [7-9]. І хоча дані матеріали мають величезний потенціал для широкого кола застосувань, їх несприятливий вплив на живі клітини викликає серйозні побоювання після їх використання в сфері обслуговування людей і в споживчому сегменті. Це пов'язано із занадто малими розмірами наночастинок, які можуть легко проникати через стінки живих клітин та чинити шкідливий вплив на здоров'я людини і на навколишнє середовище. Поряд з важливістю таких різноманітних текстильних наноматеріалів і можливостями їх застосування, все ж існує інформаційна діра між інноваційним прогресом в нанотехнологіях і нанобезпекою.

Сучасні дослідження доводять, що в якості екологічних протимікробних агентів безпечних для здоров'я людини, можуть бути застосовані натуральні продукти рослинного походження з активними протимікробними інгредієнтами, що містяться в екстрактах деяких рослин (чайне дерево, алое вера, гвоздикове масло, шкіра гранату, куркума, евкаліптова олія) [9, 10] та природні біополімери, такі як, хітозан, хітин, пектин, лігнін тощо [11-13]. Останні серед зазначених, поряд з антимікробним ефектом проявляють також антиоксидантні, хелатоутворюючі властивості і мають також певні переваги над іншими біоцидами, а саме, поновлювальне походження, біосумісність, низьку собівартість тощо.

Екологічна і економічна привабливість біополімерів на світовому ринку зумовлює прогнозоване збільшення їх використання до кінця 2021 року майже на 17% в порівнянні з прогнозованим періодом 2017-2021 років. Західна Європа займає найбільший сегмент цього ринку, складаючи 41,5% від світового, в той час, як інші регіони також швидко збільшують свою частку в даному секторі. Більш того, відносно низька вартість біополімерів та відновлювальна природа роблять цей клас матеріалів особливо привабливим для таких дороговартісних галузей виробництва, як харчова, біомедицина, фармацевтика.

Аналіз наукових публікацій показує, що, наприклад, такий біополімер, як лігнін, в основному знайшов використання, як наповнювач і добавка в будівельній галузі, диспергатор в нафтопереробній, компонент в полімерних композиційних матеріалах [6, 14]. Щодо застосування лігніну для розробки на текстилі антимікробного захисту, то на сьогоднішній день в Україні відсутні дані дослідження, і в цій якості він згадується лише в закордонних публікаціях практично завжди в комплексі з наночастинами металів (наносрібло) або зі сполуками металів [15-17]. Інший біополімер, як продукт переробки сільськогосподарської продукції – пектин зі своїми унікальними антиоксидантними, радіопротекторними і антимікробними властивостями знайшов застосування в харчовій, косметичній та фармацевтичній промисловості, в основному, як загусник та компонент плівок для харчових продуктів [18]. Таким чином, у вітчизняних наукових публікаціях на сьогоднішній день відсутні дослідження щодо можливості застосування таких екологічних біоцидів, як лігнін і пектин, для антимікробної обробки текстильних матеріалів.

У цій статті наведено результати дослідження з визначення можливості використання даних біополімерів для надання антимікробних властивостей текстилю з перспективою створення екологічно чистих продуктів медичного текстилю.

Аналіз останніх джерел

Число наукових публікацій за темою лігнін за останні 5 років зросло на 42%. На початок 2021 р. їх у наукометричній базі Web of Science налічується близько 16 000, більшість з яких зосереджені на крафт-лігніні та лігносульфонатах, як найбільших за кількістю промислового виробництва та найбільш комерціалізованих відповідно. Стосовно лігніну, як антибактеріального засобу, то дані дослідження висвітлюються в публікаціях лише останніх кількох років в таких напрямках, як тканинна інженерія, біомедицина, доставка ліків, фармацевтичний лігнін [19]. Переважна більшість закордонних запатентованих технологій стосується антибактеріальних властивостей лігноцелюлозних матеріалів, наприклад, деревно-полімерних композитних матеріалів та способів їх одержання [16]. Інформаційний пошук стосовно застосування лігніну, як антимікробного агента, проведений на базі Спеціальної інформаційної системи

Україні (вересень 2021 р.) не виявив інформації за заявленою темою. В даній базі налічується лише два зареєстрованих патенти на корисну модель, в яких зустрічається лігнін, але тільки як сировина для одержання сорбентів [20, 21].

Питання створення антимікробного текстилю в нашій країні на сьогоднішній час вирішується декількома шляхами, серед яких, найбільш поширений – це застосування наночастинок металів або їх солей, як окремо, так і в комплексі з іншими антимікробними фармацевтичними або рослинними препаратами [22–30]. Питання стосовно досліджень антимікробних властивостей лігніну для надання текстилю антимікробного ефекту залишається відкритим у вітчизняній науковій спільноті. Даний біополімер викликає зацікавленість як екологічно безпечний для людини біоцид з перспективою застосування його в текстильній галузі.

Лігнін є другим за поширеністю біополімером після целюлози і найбільш поширеним ароматичним біополімером у природі. Біосинтез лігніну повністю не досліджений, але встановлено, що його попередником, як і ряду інших ароматичних сполук в рослинах, є шкімова кислота, яка приймає участь в наступних основних стадіях біосинтезу: шкімова → кислота → феніланін → корична кислота → ферулонова кислота → коніферіловий спирт → лігнін. Лігнін належить до родини полімерів з розгалуженими макромолекулами фенілпропанового типу із різноманітними функціональними групами – карбонільними, гідроксильними (зокрема фенольними), а також метоксильними (рис. 1).

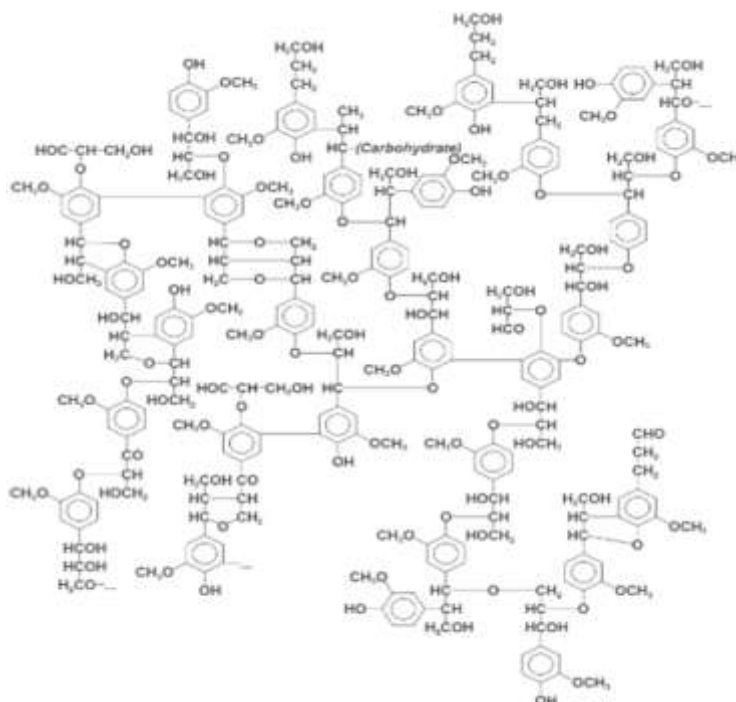


Рис. 1. Структурна формула макромолекули лігніну

Фенольні компоненти лігніну та гідроксильні групи в ароматичному кільді відповідають за його токсичність до мікроорганізмів, а зростання їх кількості посилює антимікробний ефект. Було також виявлено, що кількість та розташування подвійних зв'язків в бічному ланцюзі відіграють важливу роль в антибактеріальній активності сполуки [31].

Лігнін потенційно доступний у великих кількостях як побічний продукт целюлозно-паперової промисловості і лігноцелюлозних біопереробних заводів. Вміст лігніну в лігноцелюлозній біомасі коливається в межах 15 – 40 % залежно від виду рослин (листяних порід, м'яких порід дерев або однорічних), умов росту та їх віку. Так, найбільша кількість лігніну в деревині хвойних (до 35%) і листяних (20 – 21 %) порід. Він міститься також у волокнистих відходах переробки рослинної їжі, цукрового очерету, кокосової шкаралупи, лущиння насіння сої, рису, вівса, волокнах льону і коноплі тощо.

Лігнін з рослинної сировини може бути виділений двома способами: обробкою гідролізуючими агентами або розчиненням самого лігніну. В процесі виробництва технічних лігнінів у 2–3 рази зменшується їх молекулярна маса і зростає хімічна активність. Серед виділених лігнінів розрізняють препарати нерозчинних і розчинних лігнінів. Нерозчинні лігніни зберігають сітчасту структуру, а розчинні, що являють собою фрагменти сітки, мають структуру з високим ступенем розгалуженості і неоднорідні за молекулярною масою. Щоб розширити область застосування різних типів технічного лігніну, були зроблені інтенсивні зусилля для його використання в якості клею, сорбенту, вуглецевого волокна, смоли, емульгуючого засобу для виробництва асфальтів, диспергуючого агенту для цементу, бетонних сумішей, диспергатору для текстильних барвників, носія біологічно активного агенту і добавки до корму для тварин [6, 32, 33]. Розчинні лігніни, тобто лігносульфонати, практично не токсичні і не викликають подразнення, не володіють мутагенними або генотоксичними властивостями, що збільшує можливість їх практичного

застосування. Через це найбільший світовий ринок лігніну, в основному, займається його виробництвом за допомогою лігносульфонатного процесу. Ключовими країнами – виробниками продуктів на основі лігносульфонатів є США, Західна Європа, Китай, Центральна та Східна Європа, а також провідні компанії – Borregaard Lignotech, Changzhou Shanfeng Chemical Industry Co. Ltd., компанія LCC в Азії тощо [32, 34, 36].

Фактори, що впливають на антимікробні властивості лігніну.

Лігнін, як природна поліфенольна молекула, володіє сильною антиоксидантною та антимікробною активністю, але її інгібуюча здатність залежить від ряду факторів: *хімічної будови макромолекул; походження рослини; способу екстракції; подальшої обробки*. В свою чергу інгібуючий ефект для мікроорганізмів варіює залежно від двох показників: *типу лігніну і виду мікробних штамів*.

Встановлено, що лігнін різного походження проявляє індивідуальний антибактеріальний ефект. Наприклад, лігнін із хвойної деревини, акації, кукурудзи та стебла бавовни володіє антимікробною активністю проти грампозитивного штаму *Staphylococcus aureus*, а лігнін тополі, акації, цукрової тростини, кукурудзи та бамбука інгібує мікроби штамів *Escherichia coli*; лігнін евкаліпта та ялини має антимікробну властивість проти *A. niger*, *E. coli*, *S. aureus*, *Pr. microbilis*, *Pr. oulgaris*, *P. Aeruginosa*, а обрізки деревини яблуні володіють антимікробними властивостями проти *A. niger* та *Saceh cerevisiae* [34, 35, 37]. Тому відповідно до типу лігніну і мікробних штамів застосування лігніну можливо, як агенту для доставки ліків, харчового антиоксиданту, натурального антибактеріального агенту, протимікробної добавки у харчовій, текстильній та хімічній промисловості [6].

Іншим важливим фактором впливу на антимікробні властивості лігніну є його *форма* – макромолекули і наночастинки. Останні володіють більшим антибактеріальним ефектом, що пов'язано зі значною площею поверхні частинок та більшою адсорбцією активного Оксигену в структурі поліфенолу, а малий розмір наночастинок лігніну надає можливість проникати всередину бактеріальних клітин і утворювати монофенольні структури [38]. На сьогоднішній день лігнін як антимікробний агент використовується, як в формі полімерної макромолекулярної речовини, так і в формі наночастинок в комплексі з іншими речовинами [6].

Оскільки лігнін зазнає значні структурні зміни в результаті хімічної та фізичної обробки, *методи одержання лігніну* також мають вплив на антимікробну активність лігніну. Так дослідження антимікробних властивостей лігніну вилученого за допомогою *крафт-процесу* показали, що для полімерного лігніну покритого частинками сірбла зона інгібування становила 10, 12 і 80% для *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Aspergillus niger* відповідно. Антимікробна дія лігніну з кукурудзяних качанів екстрагованого за допомогою *органорозчинного процесу* була ефективною для досліджуваних мікробів групи *Escherichia coli* та *Listeria monocytogenes*. Нановолокна натрій *лігносульфонатів* показали протимікробну активність для *Staphylococcus aureus* на 99,9%, в той час як для *Escherichia coli* інгібуюча дія не спостерігалась. Пригнічуючий вплив на 63% для *Escherichia coli* проявили наночастинки *лігносульфонату* у випадку, коли вони використовувалися як зовнішній шар хітозану і на 95 % була загальмованість, коли лігносульфонати використовували як внутрішній шар хітозану. Натрій *лігносульфонат* покритий наночастинками ZnO показав сильнішу антибактеріальну активність проти *Bacillus subtilis*, ніж проти *Escherichia coli* [39]. Крім того, антибактеріальні властивості лігніну тісно пов'язані з дозою (концентрацією) цієї речовини для кожного окремого субстрату.

Оскільки лігнін зазнає значні структурні зміни в результаті хімічної та фізичної обробки, всі технічні лігніни унікальні з точки зору хімічної структури, молекулярної маси, полідисперсності і профілю домішок. Відповідно до цього, для оцінки інгібуючої здатності лігніну важливо враховувати тип лігніну, тобто його хімічну будову і спосіб одержання, а також вид мікробних штамів.

Тому в даній роботі необхідно було дослідити можливість антимікробних властивостей водорозчинного лігносульфонату з встановленням оптимальних робочих концентрацій та можливість посилення протимікробної дії за рахунок добавки – пектину, як продукту агропромислового комплексу.

Метою роботи є: попереднє дослідження на предмет можливостей надання текстилю антимікробних властивостей за допомогою лігніну і пектину шляхом встановлення оптимальних робочих концентрацій даних речовин та їх оптимальних сумісних співвідношень, які володіють антимікробним ефектом.

Виклад основного матеріалу

Матеріали та методи дослідження.

1. *Антимікробна речовина №1.* В якості антимікробної речовини використовували натрій лігносульфонат із вітчизняної сировини (торгова марка «Рубефіл ВФК»), який за фізико-хімічними показниками відповідає зарубіжному аналогу Reax 83A (фірма Vestwaco Co, США). Дана речовина володіє цінними властивостями (доступність, дешевизна, низька токсичність) і в теперішній час викликає практичний інтерес. Так в роботі [40] вивчено вплив співвідношення полімерних фракцій в натрій лігносульфонатах і ступеню сульфування лігніну на його стабілізуючу спроможність і розроблено універсальний ПАР на основі сульфатного лігніну (торгова марка «Рубефіл ВФК»).

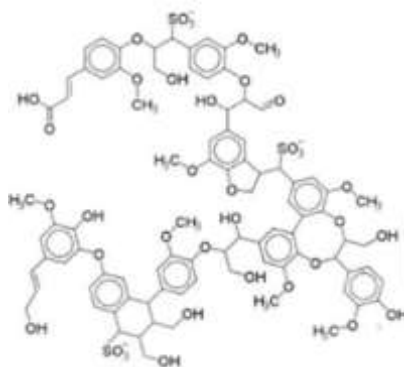


Рис. 2. Структурна формула макромолекули лігносульфонату

2. *Антимікробна речовина №2*. Другою речовиною, яка за дослідженнями [41, 42] спричиняє інгібуючу дію на мікроорганізми групи *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* використовували пектин яблучний SWEJ-1 TM Pektowin.

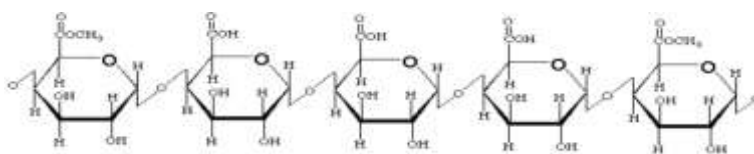


Рис. 3. Структурна формула макромолекули пектину

3. *Тестові організми*. Мікроорганізми, які використовували в цьому дослідженні, належать до групи патогенних видів, які зазвичай асоційовані зі шкірним покривом і слизовою оболонкою, здатними викликати опортуністичні інфекції: грампозитивні прокаріоти *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538P) та грамнегативні штами *Escherichia coli* (ATCC 25922) і *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 9027).

4. *Цитотоксичність* визначали за допомогою МТТ тесту на культурі клітин людини НСТ116 (ATCC® CCL-247™) [43].

5. *Антимікробні властивості* лігніну і пектину визначали диско-дифузійним методом (метод дифузії в ангар із застосуванням паперових дисків) та методом розведення у рідкому поживному середовищі [44]. Статистичну обробку результатів експерименту проводили з використанням критерію Стюдента ($p \leq 0,05$).

Результати та їх обговорення.

При визначенні тестових робочих концентрацій лігніну і пектину враховували фактор, який впливає на антимікробні властивості речовини, а саме – форму лігніну і пектину – макромолекули чи наночастинки. В роботі використовували полімерні сполуки лігніну і пектину, тому тестові концентрації цих речовин та їх суміші складали 1 – 30 мг/см³ і були вищими в порівнянні з концентрацією наночастинок лігніну (0,25 – 0,5 мг/см³), які зазвичай використовують для антимікробного ефекту [6, 38].

Цитотоксичний результат.

Повідомлялось, що лігнін, в тому числі і лігносульфонати, нетоксичні для людини [45], а кальцій лігносульфонат з $M_r = 40000-65000$, за оцінками ВООЗ, належить до харчової добавки з встановленим добовим споживанням 20 мг/кг маси тіла на добу [46]. Однак, технічні форми лігніну унікальні з точки зору хімічної структури, молекулярної маси, полідисперсності, профілю домішок і відповідно своїх властивостей. Тому цитотоксичність натрій лігносульфонату, який застосовували в подальших дослідженнях, визначали опосередковано за допомогою МТТ тесту наступним чином: культуру клітин людини НСТ116 (ATCC® CCL-247™) культивували у поживному середовищі DMEM (НПП ПанЕко) з додаванням 10 % телячої ембріональної сироватки (HyClone®, Thermo Scientific), 2мМ L-глутаміну (НПП ПанЕко), 1 % гентаміцину (ФК «Дарниця») у якості антибіотику. Клітини засіювали до 96-лункового планшету в кількості $1 \cdot 10^4$ клітин/200 мкл та культивували при 37°C в атмосфері CO₂ (5 %). Після 24 годин інкубування до культур клітин було додано досліджувані сполуки у концентраціях (1-30 мг/см³) для подальшого культивування в тих же умовах протягом 48 годин. Для кожної концентрації дослідження були проведені у трьох повторях. Цитотоксичність визначали за допомогою МТТ-тесту. Після інкубування до кожної лунки було додано по 20 мкл МТТ (броміду 3-(4,5-диметилтиазол-2-ил)-2,5-дифенілтетразолю) (5 мг/см³) (Sigma-Aldrich) та додатково інкубували протягом 2-х годин. За допомогою планшетного аналізатора визначали оптичну щільність при 520 нм. Результати тесту показали відсутність цитотоксичності лігносульфонату до клітин людини.

Антибактеріальний результат.

В диско-дифузійному методі для дослідження антибактеріальних властивостей речовин кожену з чашок Петрі з м'ясо-пептонним агаром (МПА) засіювали штами бактерій методом газону. Суспензію мікроорганізмів у 0,9% NaCl рівномірно наносили на поверхню МПА та розміщували для «підсушування» у

термостат за температури 37 °С. Попередньо готували паперові диски діаметром 5 мм з фільтрувального паперу та просочували їх досліджуваним розчином. Після цього на підсушені посіви на МПА поміщали підготовлені диски з подальшим культивуванням у термостаті. Через 24 години вимірювали затримку росту бактерій навколо дисків.

За оцінку антимікробної активності досліджуваних зразків був взятий ступінь пригнічення росту мікроорганізмів: зона інгібування до 10 мм – відсутня біоактивність; 11-15 мм – слабка активність; 15-25 мм – виражена активність; > 25 мм – висока антимікробна активність [47].

Дифузійним методом встановлено, що біоактивність розчинів лігніну і пектину відрізняється між собою і залежить від природи антимікробного препарату, його концентрації та виду прокаріотів (табл. 2).

Таблиця 2

Біоактивність і значення зон інгібування росту (мм) досліджуваних зразків

Антимікробна речовина	Біоактивність	Концентрація антимікробної речовини, мг/см ³					
		1	2	5	10	20	30
Лігнін	<i>Staphylococcus aureus</i> (ATCC 6538P)						
	Відсутня	–	–	–	–	9,8±0,8	6,7±0,6
	Слабка акт.	–	–	13,8±0,8	11,7±0,7	–	–
	Виражена акт.	17,7±1,0	15,1±0,8	–	–	–	–
	<i>Escherichia coli</i> (ATCC 25922)						
	Відсутня	10,7±1,1	7,3±0,8	–	–	–	–
	Слабка акт.	–	–	–	–	–	–
	Виражена акт.	–	–	–	–	–	–
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (ATCC 9027)						
	Відсутня	10,4±1,0	6,4±0,6	–	–	–	–
	Слабка акт.	–	–	–	–	–	–
	Виражена акт.	–	–	–	–	–	–
Пектин	<i>Staphylococcus aureus</i> (ATCC 6538P)						
	Відсутня	–	–	10,8±0,9	8,6±0,9	6,6±0,8	4,8±0,6
	Слабка акт.	14,3±1,1	12,6±0,8	–	–	–	–
	Виражена акт.	–	–	–	–	–	–
	<i>Escherichia coli</i> (ATCC 25922)						
	Відсутня	9,2±1,0	7,0±0,8	–	–	–	–
	Слабка акт.	–	–	–	–	–	–
	Виражена акт.	–	–	–	–	–	–
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (ATCC 9027)						
	Відсутня	9,8±1,1	6,4±0,9	–	–	–	–
	Слабка акт.	–	–	–	–	–	–
	Виражена акт.	–	–	–	–	–	–
Лігнін + Пектин	<i>Staphylococcus aureus</i> (ATCC 6538P)						
	Відсутня	–	–	8,5±0,6	6,8±0,6	5,6±0,5	4,8±0,5
	Слабка акт.	–	11,3±0,9	–	–	–	–
	Виражена акт.	18,5±1,1	–	–	–	–	–
	<i>Escherichia coli</i> (ATCC 25922)						
	Відсутня	–	6,3±0,9	–	–	–	–
	Слабка акт.	11,2±0,8	–	–	–	–	–
	Виражена акт.	–	–	–	–	–	–
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (ATCC 9027)						
	Відсутня	–	6,8±0,7	–	–	–	–
	Слабка акт.	12,6±1,1	–	–	–	–	–
	Виражена акт.	–	–	–	–	–	–

Як свідчать дані таблиці 2, спостерігається зростання антимікробного ефекту досліджуваних речовин для грампозитивних штамів, що можливо пояснюється наявністю перешкоди з додаткового бар'єру подвійної мембрани у грамнегативних прокаріотів [38], а на більш виражену антимікробну активність лігніну впливають фенільні радикали в структурі даного біополімеру. Загальною закономірністю в дослідженні виявилось зростання інгібуючої здатності розчинів при сумісній присутності лігніну і пектину в якості синергетичної пари, але чітко прослідковується зниження біоактивності хімічних речовин при зростанні їх концентрацій у розчині. Так послаблення активності досліджуваних речовин по відношенню до грампозитивних штамів мікроорганізмів мають розчини лігніну і пектину та їх суміші вже починаючи з концентрацій вище 5-10 мг/см³. Для грамнегативних прокаріотів межі інгібуючої концентрації біоцидів звужуються до більш розбавленого розчину з вмістом компонентів 1-2 мг/см³, що може бути пояснено сповільненням процесу дифузії високомолекулярних біополімерних речовин при зростанні їх концентрацій

у розчині. Даний факт узгоджується з літературними даними стосовно дифузійних методів оцінки антибактеріальних властивостей речовин, які в деяких випадках є непридатними для аналізу складних за складом композицій і відрізняються за молекулярною масою препаратів. В окремих дослідженнях диско-дифузійний метод підходить тільки в якості попереднього скрінінгового тесту перед кількісними визначеннями методами розведення [48].

Тому на наступному етапі роботи антимікробні властивості лігніну і пектину досліджувалися методом серійних розведень. Контролем слугували пробірки, одна з яких містила м'ясо-пептонний бульон (МПБ) без додавання досліджуваного препарату та мікроорганізмів (так званий, контроль стерильності середовища), інша – з мікроорганізмами (позитивний контроль). Активність досліджуваних речовин досліджували із використанням зазначених вище тест культур: *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538P), *Escherichia coli* (ATCC 25922) і *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 9027). Готували суспензію з оптичною щільністю 0,5 за McFarland ($1,5 \cdot 10^6$ КУО/см³) та по 0,5 см³ інокулюма вносили до кожної пробірки із МПБ та відповідною концентрацією досліджуваних сполук. Посіви інкубували протягом доби за температури 37°C. По завершенні часу інкубування досліджували наявність чи відсутність росту відповідних бактеріальних штамів шляхом приготування мазків суспензії з пробірок з подальшим фарбуванням та дослідженням за допомогою імерсійної системи мікроскопу Micromed XS-5520. Досліди проводили в 3-х повторях із кожною концентрацією препарату і кожною культурою мікроорганізмів із метою отримання достовірних результатів. Антимікробну активність досліджуваних сполук розраховували за показниками мінімальної бактерицидної концентрації (МБК) та мінімальної інгібуючої концентрації (МІК) (табл. 3).

Як свідчать дані таблиці 3, антимікробна активність лігніну і пектину відрізняється для різних видів мікроорганізмів. Так, найменші значення мінімальної бактерицидної концентрації досліджуваних речовин, яка викликає загибель мікроорганізмів через 24 год., спостерігаються для грампозитивного штаму *Staphylococcus aureus* (4,00-7,66 мг/см³), а для групи грамнегативних бактерій *Escherichia coli* та *Pseudomonas aeruginosa* МБК лігніну та пектину зростає відповідно в 3 рази (16,66-23,33 мг/см³). Така різниця в мінімальній бактерицидній концентрації для різних видів мікроорганізмів може бути пояснена відсутністю другої клітинної стінки у грампозитивних бактерій [38].

Таблиця 3

Антимікробна активність лігніну, пектину та їх суміші

Мікроорганізми	Антимікробна речовина		
	лігнін	пектин	лігнін + пектин
МБК, мг/см ³			
<i>Staphylococcus aureus</i>	4,00±2,48	7,66±1,36	1,33±0,65
<i>Escherichia coli</i>	16,66±2,41	23,33±3,41	8,33±1,54
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	16,66±2,41	13,33±2,41	8,33±1,54
МІК, мг/см ³			
<i>Staphylococcus aureus</i>	0,67±0,19	1,33±0,65	1,33±0,65
<i>Escherichia coli</i>	1,33±0,35	1,33±0,35	1,33±0,65
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	1,67±0,23	1,67±0,23	1,67±0,23

Також в роботі встановлено, що антимікробну активність біополімерів для бактерій *Escherichia coli* та *Pseudomonas aeruginosa* можна підсилити сумісною присутністю «лігнін+пектин», що вказує на біосумісність даних полімерів, а це є одним із важливих критеріїв оцінки можливостей будь яких препаратів, що застосовуються в біомедичній галузі. З'ясовано, що антимікробний ефект суміші «лігнін+пектин» для всіх видів бактерій посилюється практично в 2 рази і проявляється за концентрації суміші «лігнін+пектин» 1 мг/см³ для *Staphylococcus aureus* і за концентрації 10 мг/см³ для *Escherichia coli* і *Pseudomonas aeruginosa*. Даний ефект може бути пов'язаний із синергетичною дією одночасно двох антимікробних препаратів.

Механізм даної дії не з'ясований, але можна зробити наступні припущення. Як відомо, антибактеріальний ефект лігніну пов'язують з фенольними фрагментами біополімеру, а також хімічними групами в положенні α , β у бічного ланцюга та ортометокси групи 4-гідроксифенілу [31]. Зокрема, подвійний зв'язок у положенні $C\alpha = C\beta$ бічного ланцюга та метильні групи в γ -положенні є позитивним фактором інгібуючого ефекту. За такої будови макромолекули лігніну взаємодіють з мембранами бактеріальних клітин, викликають виснаження і підвищення проникності клітинних стінок, дестабілізацію шару пептидоглікану з подальшим витіком внутрішньоклітинного вмісту, що призводить до лізису бактеріальних клітин.

В свою чергу, наявність в молекулах лігніну Оксигену в групах –ОН, =СО, –СООН у бічному ланцюгу може знижувати інгібуючі властивості біоциду [31]. Можна припустити, що синергетичний ефект підсилення антимікробної активності лігніну в присутності пектину, пов'язаний по-перше, з додатковим блокуванням пектином інгібуючих груп у лігніні, а по друге, у можливості більш міцного закріплення лігносульфонату на поверхні бактерій за рахунок адсорбції молекул пектину, що містить велику кількість активних карбоксильних груп. Так як для розчину пектину рН=4,35, то ланцюжки пектину повністю аніонні, тому між макромолекулами пектину діють сили електростатичного відштовхування, що дає змогу

проникати між ними лігніну, як сполуки з ароматичною структурою, високим ступенем поперечних зв'язків і досить значною реакційною здатністю завдяки своїм функціональним групам.

Кількісний аналіз антибактеріальної активності біоцидів за мінімальною інгібуючою концентрацією (МІК), необхідною для затримання росту мікробів після відповідного процесу інкубації показав, що дана концентрація для грампозитивних – *Staphylococcus aureus* та грамнегативних бактерій групи *Escherichia coli* і *Pseudomonas aeruginosa* менша в порівнянні з МБК в 1,5 - 2 рази відповідно.

Антимікробну дію досліджуваних біоцидів в роботі було порівняно з традиційним антимікробним препаратом аргентум нітратом, який широко застосовується в різних галузях промисловості, в тому числі і в текстильному виробництві, і з'ясовано, що лігнін і пектин в концентраціях 1-5 мг/см³ володіють таким же антимікробним ефектом для грампозитивних штамів і 10-20 мг/см³ – для грамнегативних бактерій, як і розчин AgNO₃ з концентрацією 0,2 мг/см³. Більш висока концентрація лігніну і пектину може бути компенсована їх значно нижчими цінами в порівнянні із солями Аргентуму, а також більшою екологічною і медичною безпекою для здоров'я людини. Крім того, лігнін є потенційно доступним у великих кількостях як побічний продукт целюлозної промисловості та лігноцелюлозних біопереробних заводів.

Таким чином, всі досліджувані речовини зберігали високу антимікробну активність, що є підставою для їх подальшого всебічного вивчення і використання.

Висновки

1. На основі аналізу останніх досліджень і публікацій, а також досліджень, виконаних авторами статті, визначено, що лігнін, завдяки своїм унікальним властивостям, може бути надзвичайно привабливою сполукою не тільки для фармацевтичних препаратів та біомедичних програм, а також як екологічний біоцид для створення антимікробного текстилю. Методом МТТ тесту показано нетоксичність натрій лігносульфонату як біоциду до клітин людини.

2. Проведено порівняльну оцінку протимікробної ефективності лігніну і пектину та показано, що лігнін володіє сильнішими антимікробними властивостями проти грампозитивних (*Staphylococcus aureus*) та грамнегативних (*Escherichia coli* і *Pseudomonas aeruginosa*) штамів бактерій через наявність в складі макромолекул великої кількості поліфенольних груп.

3. Встановлено, що антимікробна поведінка лігносульфонату, пектину та їх суміші різна по відношенню до грампозитивних та грамнегативних штамів бактерій, серед яких найбільш вразливі до дії бактерицидів є грампозитивні штами *Staphylococcus aureus* через можливу відсутність в будові їх клітин подвійної мембранної стінки.

4. Посилення антимікробного ефекту досліджуваних препаратів відбувається шляхом сумісної присутності в розчині двох речовин – лігніну і пектину, комбінація яких діє як синергетична група, що зменшує мінімальну бактерицидну концентрацію біоцидів для грамнегативних і грампозитивних бактерій в середньому в 2 і 4 рази відповідно.

5. Досліджувані речовини лігносульфонат і пектин можуть бути використані в якості антимікробних агентів при створенні антимікробних композицій для текстильних матеріалів. Тому подальші дослідження могли б висвітлити потенціал даних біополімерів та стимулювати розробки антимікробного текстилю, потреба в якому в Україні в останній час значно зросла.

Література

1. Bockmühl D. P. Laundry and textile hygiene in healthcare and beyond / D. P. Bockmühl, J. Schages, L. Rehberg // *Microbial Cell.* – 2019. – V. 6 (7). – P. 299–306. – URL : [10.15698/mic2019.07.682](https://doi.org/10.15698/mic2019.07.682)
2. Кричевский Г. Е. Прошлое, настоящее и будущее мирового текстиля. Революционное и эволюционное развитие / Г. Е. Кричевский // Тезисы докладов Международной научно-практической конференции и школы молодых ученых «Сегодня и завтра медицинского, технического и защитного текстиля. Роль традиционных и высоких технологий» («Медтекстиль – 2012»), г. Москва, 8-9 октября 2012 г. – Иваново : ОАО «Издательство «Иваново», 2012 – С. 5.
3. Babu K. M. Bioactive antimicrobial agents for finishing of textiles for health care products / K. M. Babu, K. B. Ravindra // *The Journal of The Textile Institute.* – 2015. – V. 106 (7). – P. 706–717. – URL : <https://doi.org/10.1080/00405000.2014.936670>
4. Orhan M. Triclosan applications for biocidal functionalization of polyester and cotton surfaces / M. Orhan // *Journal of Engineered Fibers and Fabrics.* – 2020. – V. 15. – P. 1–11. – URL : <https://doi.org/10.1177/1558925020940104>
5. Jones I. A. Biocide use in the antimicrobial era: a review / I. A. Jones, L. T. Joshi // *Molecules.* – 2021. – 26 (8). – 2276. – URL : <https://doi.org/10.3390/molecules26082276>
6. Lobo F. M. An overview of the antimicrobial properties of lignocellulosic materials / F. M. Lobo, A. R. Franco, E. M. Fernandes, R. L. Reis // *Molecules.* – 2021. – 26 (6). – 1749. – URL : <https://doi.org/10.3390/molecules26061749>
7. Кильдеева Н. Р. Электроформирование ультратонких волокон из аминокислотсодержащих полимеров для медицины и защиты окружающей среды / Н. Р. Кильдеева, Г. А. Вихорева // Тезисы докладов Международной научно-практической конференции и школы молодых ученых «Сегодня и завтра медицинского, технического и защитного текстиля. Роль традиционных и высоких технологий»

- («Медтекстиль – 2012»), г. Москва, 8-9 октября 2012 г. – Иваново : ОАО «Издательство «Иваново», 2012. – С. 19-20.
8. Баранова О. Н. Целюлозные полотна, модифицированные гидрозолеом серебра с применением растительных дубителей / О. Н. Баранова, Л. И. Золина // Тезисы докладов Международной научно-практической конференции и школы молодых ученых «Сегодня и завтра медицинского, технического и защитного текстиля. Роль традиционных и высоких технологий» («Медтекстиль – 2012»), г. Москва, 8-9 октября 2012 г. – Иваново : ОАО «Издательство «Иваново», 2012 – С. 29.
9. Глущенко Н. Н. Биологическая активность нетканного льняного полотна с наночастицами меди / Н. Н. Глущенко, А. А. Рахметова, И. П. Ольховская, О. А. Богословская, В. Н. Галашина, Н. С. Дымникова // Тезисы докладов Международной научно-практической конференции и школы молодых ученых «Сегодня и завтра медицинского, технического и защитного текстиля. Роль традиционных и высоких технологий» («Медтекстиль – 2012»), г. Москва, 8-9 октября 2012 г. – Иваново : ОАО «Издательство «Иваново», 2012 – С. 32-33.
10. Jacob J. Use of Ginger Nanofibers for the Preparation of Cellulose Nanocomposites and Their Antimicrobial Activities / J. Jacob, J. T. Haponiuk, S. Thomas, G. Peter, S. Gopi // *Fibers*. – 2018. – V. 6 (4). – 79. – URL : <https://doi.org/10.3390/fib6040079>
11. Morena A. G. Hybrid Tellurium-Lignin Nanoparticles with Enhanced Antibacterial Properties / A. G. Morena., A. Bassegoda, J. Hoyo, T. Tzanov // *ACS Applied Materials and Interfaces*. – 2021. – V. 13 (13). – P. 14885–14893. – URL : <https://doi.org/10.1021/acsami.0c22301>
12. Sunthornvarabhas J. Antimicrobial Tendency of Bagasse Lignin Extracts by Raman Peak Intensity / J. Sunthornvarabhas, P. Rungthaworn, U. Sukatta // *Sugar Tech*. – 2020. – V. 22. – P. 697–705. – URL : <https://doi.org/10.1007/s12355-019-00778-x>
13. Sunthornvarabhas J. Antimicrobial kinetic activities of lignin from sugarcane bagasse for textile product / J. Sunthornvarabhas, S. Liengprayoon, T. Suwonsichon // *Industrial Crops and Products*. – 2017. – V. 109 (15). – P. 857–861. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.09.059>
14. Galkin M. From stabilization strategies to tailor-made lignin macromolecules and oligomers for materials / M. Galkin // *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*. – 2021. – V. 28. – 100438. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.100438>
15. Pletzer D. Rapid microwave-based method for the preparation of antimicrobial lignin-capped silver nanoparticles active against multidrug-resistant bacteria / D. Pletzer, J. Asnis, Y. N. Slavin, R. W. Hancock, H. Bach, K. Saatchi // *International Journal of Pharmaceutics*. – 2021. – V. 596. – P. 120–129. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2021.120299>
16. Aadil K. R. Green synthesis of silver nanoparticles using acacia lignin, their cytotoxicity, catalytic, metal ion sensing capability and antibacterial activity / K. R. Aadil, N. Pandey, S. I. Mussatto, H. Jha // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. – 2019. – V. 7 (5). – 103296. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103296>
17. Juikar S. J. Microbial Production of Nanolignin from Cotton Stalks and Its Application onto Cotton and Linen Fabrics for Multifunctional Properties / S. J. Juikar, V. Nadanathangam // *Waste and Biomass Valorization* volume. – 2020. – V. 11. – P. 6073–6083. – URL : <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00867-8>
18. Салєба Л. В. Пектин: структура, властивості, біологічні функції / Л. В. Салєба // *Вісник ХНТУ*. – 2018. – № 2 (65). – С. 143–149.
19. Domínguez-Robles J. Lignin for pharmaceutical and biomedical applications – Could this become a reality? / J. Domínguez-Robles, A. Cárcamo-Martínez, S. A. Stewart, R.F. Donnelly, E. Larrañeta, M. Borrega // *Sustainable Chemistry and Pharmacy*. – 2020. – V. 18. – 100320. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.scp.2020.100320>
20. Пат. № 103645 UA МПК B01J20/00 C01B31/08. Спосіб одержання вуглецевого адсорбенту із лігніно-целюлозної сировини / Сич Н. В. ; заявник та власник Інститут сорбції та проблем ендокринології НАН України. – u201505969 ; заявл. 17.06.2015 ; опубл. 25.12.2015, Бюл. № 24/2015.
21. Пат. № 78908 UA МПК B01J20/22. Технологія виробництва сорбенту на основі лігніну / Ерофєєв В. А. ; заявник та власник Севастопольський національний університет ядерної енергетики та промисловості. – u201209109 ; заявл. 24.07.2012 ; опубл. 10.04.2013, бюл. № 7/2013.
22. Пат. № 135646 UA МПК A61L2/16 D06M13/00. Спосіб отримання текстильних матеріалів з антимікробними властивостями / Мартиросян І. А., Пахолок О. В. ; заявник та власник Одеська національна академія харчових технологій. – u201901165 ; заявл. 05.02.2019 ; опубл. 10.07.2019, Бюл. № 13/2019.
23. Пат. № 123992 UA МПК D06M11/13 D06M11/65. Текстильні матеріали, які мають антимікробні властивості / Свамі Рогіні ; заявник та власник LIVINGUARD AG. – a201709419 ; заявл. 29.02.2016 ; опубл. 07.07.2021, Бюл. № 27/2021.
24. Пат. № 91619 UA МПК D06M11/00 D06M23/08. Інтелектуальний бактерицидний текстиль / Волков О. І. ; заявник та власник Київський національний університет технологій та дизайну. – a200814057 ; заявл. 05.12.2008 ; опубл. 10.08.2010, Бюл. № 15/2010.
25. Пат. № 51203 UA МПК D06M11/00 D06M13/00. Спосіб надання антимікробних властивостей та стійкості до мікробіологічного руйнування текстильним матеріалам, що містять вовну / Неділько В. В. ; заявник та власник Херсонський державний технічний університет. – u2009132654 ; заявл. 21.12.2009 ; опубл. 12.07.2010, Бюл. № 13/2010.

26. Пат. № 10203 UA МПК D06M11/00 D06M13/00. Спосіб надання антимікробних властивостей целюлозним текстильним матеріалам / Сумська О. П. ; заявник та власник Херсонський державний технічний університет. – u200502098 ; заявл. 09.03.2005 ; опубл. 15.11.2005, Бюл. № 11/2005.
27. Пат. № 26328 UA МПК D06M13/00 D06P3/58. Спосіб антимікотичної обробки текстильних виробів / Косінов М. В. ; заявник та власник Косінов Микола Васильович. – u200705969 ; заявл. 29.05.2007 ; опубл. 10.09.2007, Бюл. № 14/2007.
28. Пат. № 117185 UA МПК A61K33/38 B82Y5/00. Спосіб отримання текстильних матеріалів з антимікробними властивостями / Скиба М.І., Півоваров О.А. ; заявник та власник Державний вищий навчальний заклад "Український державний хіміко-технологічний університет". – u201610643 ; заявл. 24.10.2016 ; опубл. 26.06.2017, Бюл. № 12/2017
29. Пат. № 74853 UA МПК A61L15/12. Композиція для надання медичним текстильним матеріалам антимікробних властивостей з пролонгованою дією / Назарчук О. А. ; заявник та власник Вінницький національний медичний університет ім. М.І. Пирогова. – u201205692 ; заявл. 10.05.2012 ; опубл. 12.11.2012, Бюл. № 21/2012.
30. Пат. № 68230 UA МПК D06M11/00 D06M13/00. Спосіб надання антимікробних властивостей вовновмісним текстильним матеріалам спеціального призначення / Неділько В. В. ; заявник та власник Херсонський державний технічний університет. – u201107740 ; заявл. 20.06.2011 ; опубл. 26.03.2012, Бюл. № 6/2012.
31. Tao J. Lignin – An underutilized, renewable and valuable material for food industry / J. Tao, S. Li, F. Ye, Y. Zhou, L. Lei., G. Zhao // Food science and nutrition. – 2020. – V. 60 (12). – P. 2011–2033. – URL : <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1625025>
32. Gargulak J. D. Commercial Use of Lignin-Based Materials / J. D. Gargulak, S. E. Lebo // ACS Symposium Series. – 1999. – V. 742 (15). – P. 304–320. – URL : [10.1021/bk-2000-0742.ch015](https://doi.org/10.1021/bk-2000-0742.ch015)
33. Ten E. Functionalized Polymers from Lignocellulosic Biomass: State of the Art / E. Ten, W. Vermeir // Polymers. – 2013. – V. 5 (2). – P. 600–642. – URL : <https://doi.org/10.3390/polym5020600>
34. Ndaba B. Influence of extraction methods on antimicrobial activities of lignin-based materials: A review / B. Ndaba, A. Roopnarain, M. O. Daramola, R. Adeleke // Sustainable Chemistry and Pharmacy. – 2020. – V. 18. – 100342. – URL : [10.1016/j.scp.2020.100342](https://doi.org/10.1016/j.scp.2020.100342)
35. Li T. The current and emerging sources of technical lignins and their applications / T. Li, S. Takkellapati // Biofuels Bioproducts Biorefining. – 2018. – V. 12 (5). – P. 756–787. – URL : <https://doi.org/10.1002/bbb.1913>
36. García A. Antioxidant and biocide behaviour of lignin fractions from apple tree pruning residues / A. García, G. Spigno, J. Labidi // Industrial Crops and Products. – 2017. – V. 104. – P. 242–252. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.04.063>
37. Aadil K. R. Green synthesis of silver nanoparticles using acacia lignin, their cytotoxicity, catalytic, metal ion sensing capability and antibacterial activity / K. R. Aadil, N. Pandey, S. I. Mussatto, H. Jha // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2019. – V. 7 (5). – 103296. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103296>
38. Lizundia E. Synergic effect of nanolignin and metal oxide nanoparticles into poly(l-lactide) bionanocomposites: material properties, antioxidant activity, and antibacterial performance / E. Lizundia, I. Armentano, F. Luzi, F. Bertoglio, E. Restivo, L. Visai, L. Torre // Applied Bio Materials. – 2020. – V. 3 (8). – P. 5263–5274. – URL : <https://doi.org/10.1021/acsabm.0c00637>
39. Figueiredo P. Properties and chemical modifications of lignin: Towards lignin-based nanomaterials for biomedical applications / P. Figueiredo, K. Lintinen, J.T. Hirvonen, M.A. Kostianen, H.A. Santosa // Progress in Materials Science. – 2018. – V. 93. – P. 233–269. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2017.12.001>
40. Поліщук С.О. Фізико-хімічне обґрунтування технологій кольорування текстильних матеріалів новими випускними формами органічних барвників : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня док. тех. наук : спец. 05.19.03 «Технологія текстильних матеріалів» / Степан Олександрович Поліщук ; Херсонський державний технічний університет. – Херсон, 1999. – 35 с.
41. Mellinas C. Recent Trends in the Use of Pectin from Agro-Waste Residues as a Natural-Based Biopolymer for Food Packaging Applications / C. Mellinas, M. Ramos, A. Jiménez, M. C. Garrigós // Materials. – 2020. – V. 13 (3). – 673. – URL : <https://doi.org/10.3390/ma13030673>
42. Kuma M. Emerging trends in pectin extraction and its anti-microbial functionalization using natural bioactives for application in food packaging / M. Kumar, M. Tomar, V. Saurabh, T. Mahajan, S. Punia, M. D. M. Contreras, S. G. Rudra, C. Kaur, J. F. Kennedy // Trends in Food Science & Technology. – 2020. – V. 105. – 223–237. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.09.009>
43. Mather J. P. Introduction to cell and tissue culture / J. P. Mather, P. E. Roberts // Theory and technique. – New York : Plenum Press, 1998. – P. 175–194.
44. Визначення чутливості мікроорганізмів до антибактеріальних препаратів [Електронний ресурс] : методичні вказівки : Наказ 05.04.2007 № 167 / МОЗ України. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0167282-07#Text>
45. Freitas F. M. Green synthesis of lignin nano- and microNational-particles: Physicochemical characterization, bioactive properties and cytotoxicity assessment / F.M. Freitas, M.A. Cerqueira, C. Gonçalves, S.

Azinheiro, A. Garrido-Maestu, A.A. Vicente, L.M. Pastrana, J.A. Teixeira, M. Michelin // National library of Medicine. – 2020. – V. 15(163). – P. 1798–1809. – URL : 10.1016/j.ijbiomac.2020.09.110.

46. Tao J. Lignin—An underutilized, renewable and valuable material for food industry / J. Tao, S. Li, F. Ye, Y. Zhou, L. Lei, G. Zhao // Food Science and Nutrition. – 2020. – V. 60 (12). – P. 2011–2033. – URL : <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1625025>

47. Герасько Е. В. Бицидные свойства наноразмерных частиц серебра / Е. В. Герасько, С. А. Чуловская, В. И. Парфенюк // Вестник КГУ им. Н.А. Некрасова. – 2011. – № 3. – С. 22–25.

48. Антоновская Л. И. Выбор методов, условий испытаний и параметров оценки антибактериальных свойств бицидных препаратов / Л. И. Антоновская, Н. А. Белясова // Химия, технология органических веществ и биотехнология. Труды БГТУ. – 2011. – № 4. – С. 178–181.

References

1. Bockmühl D. P. Laundry and textile hygiene in healthcare and beyond / D. P. Bockmühl, J. Schages, L. Rehberg // Microbial Cell. – 2019. – V. 6 (7). – R. 299–306. URL: 10.15698/mic2019.07.682
2. Krichevskij G. E. Proshloe, nastoyashee i budushee mirovogo tekstilya. Revolyushionnoe i evolyucionnoe razvitie / G. E. Krichevskij // Tezisy dokladov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii i shkoly molodyh uchenykh «Segodnya i zavtra medicinskogo, tehnikeskogo i zashitnogo tekstilya. Rol traditsionnykh i vysokikh tehnologiy («Medtekstil – 2012»), g. Moskva, 8-9 oktyabrya 2012 g. – Ivanovo : OAO «Izdatelstvo «Ivanovo», 2012. – S. 5.
3. Babu K. M. Bioactive antimicrobial agents for finishing of textiles for health care products / K. M. Babu, K. B. Ravindra // The Journal of The Textile Institute. – 2015. – V. 106 (7). – P. 706–717. URL: <https://doi.org/10.1080/00405000.2014.936670>
4. Orhan M. Triclosan applications for biocidal functionalization of polyester and cotton surfaces / M. Orhan // Journal of Engineered Fibers and Fabrics. – 2020. V. 15. – P. 1–11. URL: <https://doi.org/10.1177/1558925020940104>
5. Jones I. A. Biocide use in the antimicrobial era: a review / I.A. Jones, L. T. Joshi // Molecules. – 2021. – 26 (8) – 2276. URL: <https://doi.org/10.3390/molecules26082276>
6. Lobo F. M. An overview of the antimicrobial properties of lignocellulosic materials / F. M. Lobo, A. R. Franco, E. M. Fernandes, R. L. Reis // Molecules. – 2021. – 26 (6). – 1749. URL: <https://doi.org/10.3390/molecules26061749>
7. Kildeeva N. R. Elektroformirovanie ultratonkih volokon iz aminosoderzhashih polimerov dlya mediciny i zashity okruzhayushey sredy / N. R. Kildeeva, G. A. Vihoreva // Tezisy dokladov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii i shkoly molodyh uchenykh «Segodnya i zavtra medicinskogo, tehnikeskogo i zashitnogo tekstilya. Rol traditsionnykh i vysokikh tehnologiy («Medtekstil – 2012»), g. Moskva, 8-9 oktyabrya 2012 g. – Ivanovo : OAO «Izdatelstvo «Ivanovo», 2012. – S. 19–20.
8. Baranova O. N. Celyuloznye polotna, modifitsirovannye gidrozolem srebra s primeneniem rastitelnykh dubiteley / O. N. Baranova, L. I. Zolina // Tezisy dokladov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii i shkoly molodyh uchenykh «Segodnya i zavtra medicinskogo, tehnikeskogo i zashitnogo tekstilya. Rol traditsionnykh i vysokikh tehnologiy («Medtekstil – 2012»), g. Moskva, 8-9 oktyabrya 2012 g. – Ivanovo : OAO «Izdatelstvo «Ivanovo», 2012. – S. 29.
9. Glushenko N. N. Biologicheskaya aktivnost netkannogo lnyanogo polotna s nanochasticami medi / N. N. Glushenko, A. A. Rahmetova, I. P. Olhovskaya, O. A. Bogoslovskaya, V. N. Galashina, N. S. Dymnikova // Tezisy dokladov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii i shkoly molodyh uchenykh «Segodnya i zavtra medicinskogo, tehnikeskogo i zashitnogo tekstilya. Rol traditsionnykh i vysokikh tehnologiy («Medtekstil – 2012»), g. Moskva, 8-9 oktyabrya 2012 g. – Ivanovo : OAO «Izdatelstvo «Ivanovo», 2012. – S. 32–33.
10. Jacob J. Use of Ginger Nanofibers for the Preparation of Cellulose Nanocomposites and Their Antimicrobial Activities / J. Jacob, J. T. Haponiuk, S. Thomas, G. Peter, S. Gopi // Fibers. – 2018. – V. 6 (4). – 79. URL: <https://doi.org/10.3390/fib6040079>
11. Morena A. G. Hybrid Tellurium-Lignin Nanoparticles with Enhanced Antibacterial Properties / A. G. Morena, A. Bassegoda, J. Hoyos, T. Tzanov // ACS Applied Materials and Interfaces. – 2021. – V. 13 (13). – P. 14885–14893. URL: <https://doi.org/10.1021/acsami.0c22301>
12. Sunthornvarabhas J. Antimicrobial Tendency of Bagasse Lignin Extracts by Raman Peak Intensity / J. Sunthornvarabhas, P. Rungthaworn, U. Sukatta // Sugar Tech. – 2020. – V. 22. – P. 697–705. URL: <https://doi.org/10.1007/s12355-019-00778-x>
13. Sunthornvarabhas J. Antimicrobial kinetic activities of lignin from sugarcane bagasse for textile product / J. Sunthornvarabhas, S. Liengprayoon, T. Suwonsichon // Industrial Crops and Products. – 2017. – V. 109 (15). – P. 857–861. URL: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.09.059>
14. Galkin M. From stabilization strategies to tailor-made lignin macromolecules and oligomers for materials / M. Galkin // Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry. – 2021. – V. 28. – 100438. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.100438>
15. Pletzer D. Rapid microwave-based method for the preparation of antimicrobial lignin-capped silver nanoparticles active against multidrug-resistant bacteria / D. Pletzer, J. Asnis, Y. N. Slavin, R. W. Hancock, H. Bach, K. Saatchi // International Journal of Pharmaceutics. – 2021. – V. 596. – R. 120–129. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2021.120299>
16. Aadil K. R. Green synthesis of silver nanoparticles using acacia lignin, their cytotoxicity, catalytic, metal ion sensing capability and antibacterial activity / K. R. Aadil, N. Pandey, S. I. Mussatto, H. Jha // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2019. – V. 7 (5). – 103296. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103296>
17. Juikar S. J. Microbial Production of Nanolignin from Cotton Stalks and Its Application onto Cotton and Linen Fabrics for Multifunctional Properties / S. J. Juikar, V. Nandanatham // Waste and Biomass Valorization volume. – 2020. – V. 11. – P. 6073–6083. URL: <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00867-8>
18. Salieba L. V. Pektyin: struktura, vlastyivosti, biolohichni funktsii / L. V. Salieba // Visnyk KhNTU. – 2018. – № 2 (65). – S. 143–149.
19. Domínguez-Robles J. Lignin for pharmaceutical and biomedical applications – Could this become a reality? / J. Domínguez-Robles, A. Cárcamo-Martínez, S. A. Stewart, R.F. Donnelly, E. Larrañeta, M. Borrega // Sustainable Chemistry and Pharmacy. – 2020. – V. 18. – 100320. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scp.2020.100320>
20. Pat. № 103645 UA MPK B01J20/00 C01B31/08 Sposib oderzhannia vuhletsevoho adsorbentu iz lihnino-tseliuloznoi syrovyny / Sych N. V.; zaiavnyk ta vlasnyk Instytut sorbtzii ta problem endokrynolohii NAN Ukrainy. – u201505969; zaiavl. 17.06.2015; opubl. 25.12.2015, Biul. № 24/2015.
21. Pat. № 78908 UA MPK B01J20/22 Tekhnolohiia vyrobnytstva sorbentu na osnovi lihninu / Erofeiev V. A.; zaiavnyk ta vlasnyk Sevastopolskyi natsionalnyi universytet yadernoi enerhetyky ta promyslovosti. – u201209109; zaiavl. 24.07.2012; opubl. 10.04.2013, biul. № 7/2013.
22. Pat. № 135646 UA MPK A61L2/16 D06M13/00. Sposib otrymannia tekstylnykh materialiv z antymikrobnymy vlastyvostiamy / Martyrosian I. A., Pakholiuk O. V.; zaiavnyk ta vlasnyk Odeska natsionalna akademiia kharchovykh tekhnolohii. – u201901165; zaiavl. 05.02.2019; opubl. 10.07.2019, Biul. № 13/2019.
23. Pat. № 123992 UA MPK D06M11/13 D06M11/65. Tekstylni materialy, yaki maiut antymikrobnii vlastyivosti / Svami Rohini; zaiavnyk ta vlasnyk LIVINGUARD AG. – a201709419; zaiavl. 29.02.2016; opubl. 07.07.2021, Biul. № 27/2021.
24. Pat. № 91619 UA MPK D06M11/00 D06M23/08 Intelktualnyi bakterytsydnyi tekstyl / Volkov O. I.; zaiavnyk ta vlasnyk Kyivskyi natsionalnyi universytet tekhnolohii ta dyzainu. – a200814057; zaiavl. 05.12.2008; opubl. 10.08.2010, Biul. № 15/2010.

25. Pat. № 51203 UA MPK D06M11/00 D06M13/00 Sposib nadannia antymikrobynykh vlastyvostei ta stiiosti do mikrobiolohichnoho ruinuвання tekstylnym materialam, shcho mistiat povnu / Nedilko V. V.; zaiavnyk ta vlasnyk Khersonskiy derzhavnyi tekhnichnyi universytet. – u2009132654 zaiavl. 21.12.2009; opubl. 12.07.2010, Biul. № 13/2010.
26. Pat. № 10203 UA MPK D06M11/00 D06M13/00 Sposib nadannia antymikrobynykh vlastyvostei tselulozным tekstylnym materialam / Sumka O. P.; zaiavnyk ta vlasnyk Khersonskiy derzhavnyi tekhnichnyi universytet. – u200502098; zaiavl. 09.03.2005; opubl. 15.11.2005, Biul. № 11/2005.
27. Pat. № 26328 UA MPK D06M13/00 D06P3/58 Sposib antymikotychnoi obrobky tekstylnykh vyrobiv / Kosinov M. V.; zaiavnyk ta vlasnyk Kosinov Mykola Vasylovych. – u200705969; zaiavl. 29.05.2007; opubl. 10.09.2007, Biul. № 14/2007.
28. Pat. № 117185 UA MPK A61K33/38 B82Y5/00 Sposib otrymannia tekstylnykh materialiv z antymikrobnymy vlastyvostiamy / Skyba M.I., Pivovarov O.A.; zaiavnyk ta vlasnyk Derzhavnyi vyshchyi navchalnyi zaklad "Ukrainskyi derzhavnyi khimiko-tekhnologichnyi universytet". – u201610643; zaiavl. 24.10.2016; opubl. 26.06.2017, Biul. № 12/2017
29. Pat. № 74853 UA MPK A61L15/12 Kompozytsiia dlia nadannia medychnym tekstylnym materialam antymikrobynykh vlastyvostei z prolonofovanoi diieiu / Nazarchuk O. A.; zaiavnyk ta vlasnyk Vinnytskyi natsionalnyi medychnyi universytet im. M.I.Pyrohova. – u201205692; zaiavl. 10.05.2012; opubl. 12.11.2012, Biul. № 21/2012.
30. Pat. № 68230 UA MPK D06M11/00 D06M13/00 Sposib nadannia antymikrobynykh vlastyvostei vovnovmisnym tekstylnym materialam spetsialnoho pryznachennia / Nedilko V. V.; zaiavnyk ta vlasnyk Khersonskiy derzhavnyi tekhnichnyi universytet. – u201107740; zaiavl. 20.06.2011; opubl. 26.03.2012, Biul. № 6/2012.
31. Tao J. Lignin – An underutilized, renewable and valuable material for food industry / J. Tao, S. Li, F. Ye, Y. Zhou, L. Lei., G. Zhao // Food science and nutrition. – 2020. – V. 60 (12). – P. 2011-2033. URL: <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1625025>
32. Gargulak J. D. Commercial Use of Lignin-Based Materials / J. D. Gargulak, S. E. Lebo // ACS Symposium Series. – 1999. – V. 742 (15). – R. 304-320. URL: 10.1021/bk-2000-0742.ch015
33. Ten E. Functionalized Polymers from Lignocellulosic Biomass: State of the Art / E. Ten, W. Vermerris // Polymers. – 2013. – V. 5 (2). – P. 600-642. URL: <https://doi.org/10.3390/polym5020600>
34. Ndaba B. Influence of extraction methods on antimicrobial activities of lignin-based materials: A review / B. Ndaba, A. Roopnarain, M. O. Daramola, R. Adeleke // Sustainable Chemistry and Pharmacy. – 2020. – V. 18. – 100342. URL: 10.1016/j.scp.2020.100342
35. Li T. The current and emerging sources of technical lignins and their applications / T. Li, S. Takkellapati // Biofuels Bioproducts Biorefining. – 2018. – V. 12 (5). – P. 756-787. URL: <https://doi.org/10.1002/bbb.1913>
36. García A. Antioxidant and biocide behaviour of lignin fractions from apple tree pruning residues / A. García, G. Spigno, J. Labidi // Industrial Crops and Products. – 2017. – V. 104. – P. 242-252. URL: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.04.063>
37. Aadil K. R. Green synthesis of silver nanoparticles using acacia lignin, their cytotoxicity, catalytic, metal ion sensing capability and antibacterial activity / K. R. Aadil, N. Pandey, S. I. Mussatto, H. Jha // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2019. – V. 7 (5). – 103296. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103296>
38. Lizundia E. Synergic effect of nanolignin and metal oxide nanoparticles into poly(l-lactide) bionanocomposites: material properties, antioxidant activity, and antibacterial performance / E. Lizundia, I. Armentano, F. Luzi, F. Bertoglio, E. Restivo, L. Visai, L. Torre // Applied Bio Materials. – 2020. – V. 3 (8). – R. 5263-5274. URL: <https://doi.org/10.1021/acsabm.0c00637>
39. Figueiredo P. Properties and chemical modifications of lignin: Towards lignin-based nanomaterials for biomedical applications / P. Figueiredo, K. Lintinen, J.T. Hirvonen, M.A. Kostianinen, H.A. Santosa // Progress in Materials Science. – 2018. – V. 93. – P. 233-269. URL: <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2017.12.001>
40. Polishchuk S.O. Fyzyko-khimichne obhruntuvannia tekhnolohii koloruvannia tekstylnykh materialiv novymy vypusknyymy formamy orhanichnykh barvnykiv : avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia dok. tekhn. nauk : spets. 05.19.03 «Tekhnolohiia tekstylnykh materialiv» / Stepan Oleksandrovych Polishchuk; Khersonskiy derzhavnyi tekhnichnyi universytet. – Kherson, 1999. – 35 s.
41. Mellinas S. Recent Trends in the Use of Pectin from Agro-Waste Residues as a Natural-Based Biopolymer for Food Packaging Applications / C. Mellinas, M. Ramos, A. Jiménez, M. C. Garrigós // Materials. – 2020. – V. 13 (3). – 673. URL: <https://doi.org/10.3390/ma13030673>
42. Kuma, M. Emerging trends in pectin extraction and its anti-microbial functionalization using natural bioactives for application in food packaging / M. Kumar, M. Tomar, V. Saurabh, T. Mahajan, S. Punia, M. D. M. Contreras, S. G. Rudra, C. Kaur, J. F. Kennedy // Trends in Food Science & Technology. – 2020. – V. 105. – 223-237. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.09.009>
43. Mather J. P. Introduction to cell and tissue culture / J. P. Mather, P. E. Roberts // Theory and technique. – New York : Plenum Press, 1998. – R. 175-194.
44. Vyznachennia chutlyvosti mikroorhanizmiv do antybakterialnykh preparativ [Elektronnyi resurs] : metodychni vkazivky : MOZ Ukrainy, Nakaz 05.04.2007 № 167. Rezhym dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0167282-07#Text>
45. Freitas F. M. Green synthesis of lignin nano- and microNational-particles: Physicochemical characterization, bioactive properties and cytotoxicity assessment / F.M. Freitas, M.A. Cerqueira, C. Gonçalves, S. Azinheiro, A. Garrido-Maestu, A.A. Vicente, L.M. Pastrana, J.A. Teixeira, M. Michelin // National library of Medicine. – 2020. – V. 15(163). – P. 1798-1809. URL: 10.1016/j.ijbiomac.2020.09.110.
46. Tao J. Lignin—An underutilized, renewable and valuable material for food industry / J. Tao, S. Li, F. Ye, Y. Zhou, L. Lei, G. Zhao // Food Science and Nutrition. – 2020. – V. 60 (12). – R. 2011-2033. URL: <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1625025>
47. Gerasko E. V. Biocidnye svoystva nanorazmernykh chastic serebra / E. V. Gerasko, S. A. Chulovskaya, V. I. Parfenyuk // Vestnik KGU im. N.A. Nekrasova. – 2011. – № 3. – S. 22-25.
48. Antonovskaya L. I. Vybor metodov, uslovij ispytaniy i parametrov ochenki antibakterialnykh svoystv biocidnykh preparatov / L. I. Antonovskaya, N. A. Belyasova // Himiya, tehnologiya organicheskikh veshchestv i biotekhnologiya. Trudy BGTU. – 2011. – № 4. – S. 178-181.

В.Ю. ЩЕРБАНЬ

Київський національний університет технологій та дизайну
ORCID ID: 0000-0002-4274-4425
e-mail: scherbانvu@ukr.net

Ю.В. МАКАРЕНКО

Київський національний університет технологій та дизайну
ORCID ID: 0000-0003-0884-6097
e-mail: july.victorivna@gmail.com

О.З. КОЛИСКО

Київський національний університет технологій та дизайну
ORCID ID: 0000-0003-4043-1238
e-mail: kipt@i.com.ua

Ю.Ю. ЩЕРБАНЬ

Київський фаховий коледж прикладних наук
ORCID ID: 0000-0001-5024-8387
e-mail: scherbан@i.ua

М.І. КОЛИСКО

Київський національний університет технологій та дизайну
ORCID ID: 0000-0002-9982-7264
e-mail: Sholudko.mi@kntud.edu.ua

РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОГРАМНИХ МОДУЛІВ ПРОЦЕДУРИ РЕКУРСІЇ ПРИ КОМП'ЮТЕРНОМУ ВИЗНАЧЕННІ НАТЯГУ ОСНОВНИХ НИТОК БАГАТОШАРОВОЇ ТКАНИНИ ДЛЯ ВІЙСЬКОВОГО СПОРЯДЖЕННЯ

Для оптимізації будови багатошарової технічної тканини на основі підбору щільності по основі і утку, мінімізації сили прибою уточної нитки була розроблена комп'ютерна програма, програмні модулі якої дозволяють, на основі використання процедури рекурсії, визначати значення поточного натягу по зонам заправки ткацького верстата в залежності від заправних параметрів.

Ключові слова: програмні модулі, процедура рекурсії, натяг, багатошарові тканини.

VOLODYMYR YU. SHCHERBAN

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine

JULY V. MAKARENKO

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine

OXSANA Z. KOLISKO

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine

YURYJ YU. SHCHERBAN

Kyiv Professional College of Applied Sciences

MARYANA I. KOLISKO

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine

IMPLEMENTATION OF SOFTWARE MODULES OF RECURRENCE PROCEDURE IN COMPUTER DETERMINATION OF TENSION OF MAIN THREADS OF MULTILAYER FABRIC FOR MILITARY SOLDIERS

Multilayer technical fabrics are most widely used in various fields of technology. In modern conditions, the urgent problem of developing protective equipment and structural components for landing military equipment has been solved. As a result of the work, multilayer fabric structures were developed, which are used for the production of bulletproof vests, both directly (light series) and with ceramic and titanium armor plates. The developed multilayer structures of fabrics can be used for production of protective elements (fittings of soles, sidewalls) of military footwear for protection against antipersonnel mines, for production of parachute slings for landing of military equipment.

As the main variant, a five-layer fabric was used, which includes two outer protective layers formed by the threads of the root base, two inner force layers formed by the threads of the filling base and the inner central layer for bonding the outer and inner layers with threads of the binder base.

To optimize the structure of the multilayer technical fabric based on the selection of density on the warp and weft, to minimize the surf force of the weft yarn, a computer program was developed, software modules which allow, based on the recursion procedure, to determine the value of current tension. Refueling parameters. Improving the existing technological processes of processing polyamide complex threads on looms requires determining the change in relative tension in the areas of refueling of the main threads. This complex task should be based on the use of specially designed computer programs using a recursion algorithm. Determining the change in relative tension in the areas of refueling of polyamide complex threads on looms, taking into account the guide material, will improve the technology of manufacturing multilayer fabrics used for the manufacture of property and tactical equipment of servicemen.

Development and improvement of special computer programs to determine the tension in each zone of the line of thread of the loom, allows to improve the technology of manufacturing multilayer fabrics used for the manufacture of items of property and tactical equipment of servicemen capable of protecting the human body from fire, cold, cutting, prickly weapons, shock and shot-shot impact. The conducted researches allowed to improve the structure of multilayer technical fabric.

Keywords: software modules, recursion procedure, tension, multilayer fabrics.

Постановка проблеми

Удосконалення існуючих технологічних процесів переробки поліамідних комплексних ниток на

ткацьких верстатах потребує визначення зміни відносного натягу по зонах заправки основних ниток. Виконання цієї складної задачі повинно базуватися на використанні спеціально розроблених комп'ютерних програм з використанням алгоритму рекурсії. Визначення зміни відносного натягу по зонах заправки поліамідних комплексних ниток на ткацьких верстатах, з урахуванням матеріалу напрямної, дозволить покращити технологію виготовлення багатошарових тканин, які використовуються для виготовлення виробів речового майна та тактичного спорядження військовослужбовців.

Аналіз джерел

Багатошарові технічні тканини знаходять саме широке використання в різних областях техніки. В сучасних умовах було вирішено актуальну проблему по розробці захисного спорядження та структурних складових для десантування військової техніки [1, 3, 4]. В результаті роботи були розроблені багатошарові структури тканин, які використовуються для виготовлення бронежилетів, як безпосередньо (легка серія) так і з керамічними та титановими бронепластинами. Розроблені багатошарові структури тканин можуть використовуватися для виготовлення захисних елементів (арматура підошви, боковини) військового взуття для захисту від протипіхотних мін, для виготовлення парашутних строп для десантування військової техніки [5–9].

В якості основного варіанту використовувалася п'ятишарова тканина, яка включає два зовнішніх захисних шара, утворених нитками корінної основи, двох внутрішніх силових шара, утворених нитками наповнювальної основи і внутрішнього центрального шару для зв'язку зовнішніх і внутрішніх шарів нитками в'язучої основи [4].

Для оптимізації будови багатошарової технічної тканини на основі підбору щільності по основі і утку, мінімізації сили прибою уточної нитки була розроблена комп'ютерна програма, програмні модулі якої дозволяють, на основі використання процедури рекурсії, визначати значення поточного натягу по зонах заправки ткацького верстата в залежності від заправних параметрів [3, 6–9].

Розробка та удосконалення спеціальних комп'ютерних програм, для визначення натягу в кожній зоні лінії заправки нитки ткацького верстата, дозволяє покращити технологію виготовлення багатошарових тканин, які використовуються для виготовлення виробів речового майна та тактичного спорядження військовослужбовців, здатних захищати тіло людини від впливу вогнепальної, холодної, ріжучої, колючої зброї, ударного та ударно-дробового впливу. Проведені дослідження дозволили удосконалити структуру багатошарової технічної тканини [3, 4].

На рис. 1а представлена схема заправки ткацького верстата для виготовлення багатошарових тканин, які використовуються для виготовлення виробів речового майна та тактичного спорядження військовослужбовців.

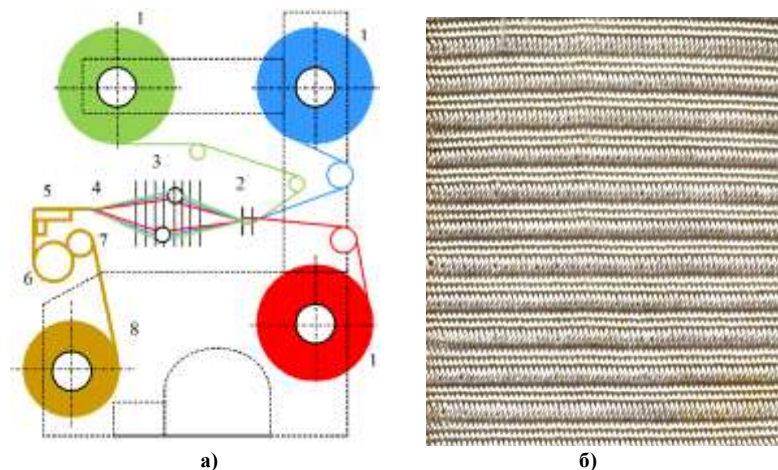


Рис. 1. Загальний вигляд: а) схема заправки ткацького верстата: 1 – ткацький навій; 2 – пристрій контролю обриву основної нитки; 3 – ремізні рамки механізму утворення зіву; 4 – зона формування багатошарової технічної тканини; 5 – напрямна; 6 – вал'ян; 7 – вал для стиснення тканини; 8 – вал для намотування тканини; ■ – в'язуча основа; ■ – наповнювальна основа; ■ – корінна основа; ■ – багатошарова технічна тканина; б) зовнішній вигляд п'ятишарової тканини

На рис. 1б представлений загальний вигляд п'ятишарової тканини. Для в'язучої, наповнювальної та корінної основи використовують поліамідні нитки 58Т та 93.5Т різного кручення.

Метою роботи є: комп'ютерна реалізація алгоритму рекурсії при визначенні натягу ниток при формуванні багатошарових тканин з поліамідних ниток.

Виклад основного матеріалу

Реалізація `procedure TForm2.N42Click` дозволяє здійснювати обрання матеріалу циліндричної напрямної. Процедура `procedure N43Click(Sender: TObject)` здійснює обрання з бази фрикційних властивостей даних для сталевій циліндричній напрямній. Послідовність виконання процедур наступна. На першому етапі обирають матеріал сировини. На головній формі комп'ютерної програми розташований компонент для обрання матеріалу сировини N2: `TMenuItem` (рис. 2а, б). Процедура `procedure TForm2.N2Click` забезпечує обрання виду сировини: процедура `procedure TForm2.N38Click` для

поліамідної комплексної нитки. На другому етапі, при виконанні процедури `procedure N7Click(Sender: TObject)` обирається вид взаємодії нитки з циліндричною напрямною скала - процедура `procedure TForm2.N27Click` відповідає випадку без радіального охоплення. На третьому етапі обирається вид взаємодії нитки з циліндричною ламельною напрямною - процедура `procedure TForm2.N27Click`. На четвертому етапі обирається вид взаємодії нитки з циліндричною напрямною отвору галева ремісної рамки - відповідає процедура `procedure TForm2.N26Click` з урахуванням радіального охоплення.

На рис. 3а представлена головна форма `TForm2 = class(TForm)` з результатами визначення натягу корінної основи. На рис. 3б представлена головна форма `TForm2 = class(TForm)` з результатами визначення натягу наповнювальної основи.

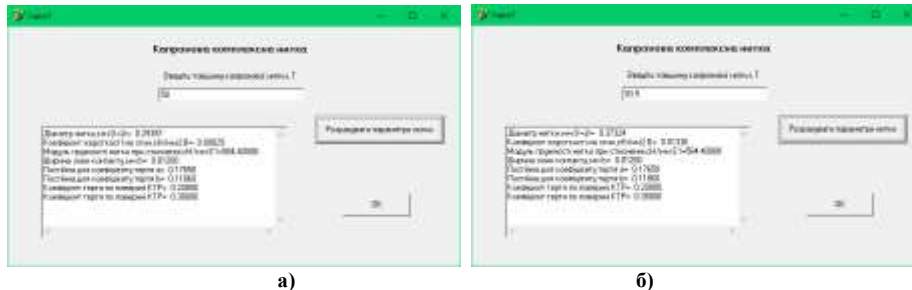


Рис. 2. Компоненти головного меню `MainMenu1 N2: TMenuItem`: а) для поліамідної комплексної нитки 58T; б) для поліамідної комплексної нитки 93.5T

При визначенні натягу по зонах заправки ткацького верстата приймали вхідний натяг постійним: для корінної основи він складав 164 сН; для наповнювальної основи він складав 48 сН.



Рис. 3. Зображення: а) головна форма `TForm2 = class(TForm)` з результатами визначення натягу корінної основи; б) головна форма `TForm2 = class(TForm)` з результатами визначення натягу наповнювальної основи

На рис. 4а представлена головна форма `TForm2 = class(TForm)` з результатами визначення натягу в'язучої основи.

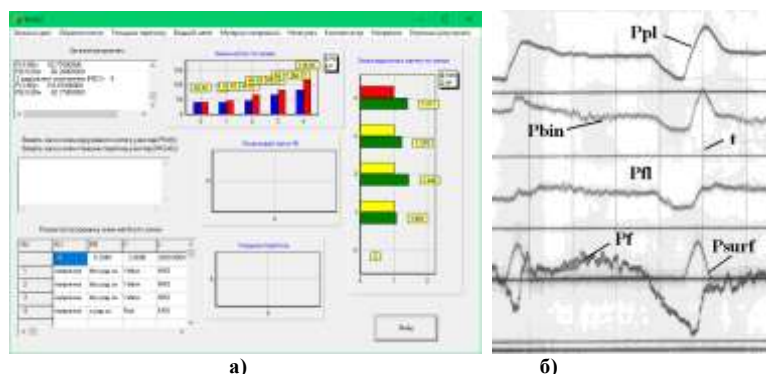


Рис. 4. Зображення: а) головна форма `TForm2 = class(TForm)` з результатами визначення натягу в'язучої основи; б) осцилограма запису зусиль: зразок осцилограми запису технологічних зусиль при формуванні багатошарових технічних тканин: P_{SURF} - сила прибою; P_{PL} - натяг ниток основи зовнішніх захисних шарів; P_{BIN} - натяг ниток основи для зв'язування зовнішніх захисних шарів і силових шарів; P_{FL} - натяг ниток основи силових шарів; P_F - натяг тканини; t - час

Для перевірки результатів розрахунків в роботі була реалізована серія експериментальних досліджень. На рис. 4б представлена осцилограма запису технологічних зусиль. Порівняння теоретичних та експериментальних даних показала, що похибка знаходиться в межах 5–9%. В таблиці 1 представлені значення натягу поліамідних основних ниток по зонах заправки ткацького верстата.

Таблиця 1

Значення натягу поліамідних основних ниток по зонах заправки ткацького верстата

Нитка	NU	KU	DN	V	L	T	P0	P	P/P0
Корінна		3	0.2940	2.0	1500.0	750.0			
	1	напрямна	без рад.ох.	Yellow	NRO		164.00	237.36	1.25
	2	напрямна	без рад.ох.	Yellow	NRO		237.36	287.36	1.07
	3	напрямна	з рад.ох.	Red	ERO		287.26	366.62	1.28
Наповнюв.		3		2.0	1500.0	750.0			
		напрямна	без рад.ох.	Yellow	NRO		48.00	72.61	1.51
		напрямна	без рад.ох.	Yellow	NRO		72.61	91.42	1.26
		напрямна	з рад.ох.	Red	ERO		91.42	121.11	1.32
В'язуча		4	0.2940	2.0	2000.0	1000.0			
	1	напрямна	без рад.ох.	Yellow	NRO		42.00	45.83	1.09
	2	напрямна	без рад.ох.	Yellow	NRO		45.83	66.28	1.44
	3	напрямна	без рад.ох.	Yellow	NRO		66.28	82.77	1.24
	4	напрямна	з рад.ох.	Red	ERO		82.77	116.81	1.41

Висновки

Розроблена комп'ютерна програма для визначення відносного натягу по зонам заправки ткацького верстата при формуванні багатонаправних тканин. Визначення зміни відносного натягу по зонах заправки поліамідних комплексних ниток на ткацьких верстатах, з урахуванням матеріалу напрямної, дозволило покращити технологію виготовлення багатонаправних тканин, які використовуються для виготовлення виробів речового майна та тактичного спорядження військовослужбовців.

Література

1. Слізков А.М. Механічна технологія текстильних матеріалів. Частина II. Ткацьке, трикотажне та неткане виробництво : підручник / А.М. Слізков, В.Ю. Щербань, О.П. Кизимчук. – К. : КНУТД, 2018. – 276 с.
2. Щербань В.Ю. Дослідження впливу матеріалу нитки і анізотропії тертя на її натяг і форму осі / В.Ю. Щербань, В.Ю. Калашник, О.З. Колиско, М.І. Шолудько // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – 223(2). – С. 25–29.
3. Shcherban V.Y., Kolisko O.Z., Melnyk G.V., Sholudko M.I., Kalashnik V.Y. Computer systems design: software and algorithmic components. K.: Education of Ukraine, 2019. 902 p.
4. Scherban V.Yu., Kolisko O.Z., Sholudko M.I., Kalashnik V.Yu. Algorithmic, software and mathematical components of CAD in the fashion industry. K.: Education of Ukraine, 2017. 745 p.
5. Щербань В.Ю. Дослідження впливу матеріалу нитки і анізотропії тертя на її натяг і форму осі / В.Ю. Щербань, В.Ю. Калашник, О.З. Колиско, М.І. Шолудько // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – 223(2). – С. 25–29.
6. Yakubitskaya I.A. Dynamic analysis of layout conditions on the end sections of the groove of the winding drum / I.A. Yakubitskaya, V.V. Chugin, V.Yu. Shcherban // Technology of the textile industry. – 1997. – № 5. – P. 33–37.
7. Shcherban' V., Melnyk G., Sholudko M. and Kalashnyk V. Warp yarn tension during fabric formation / V. Shcherban', G. Melnyk, M. Sholudko, V. Kalashnyk // Fibres and Textiles. – 2018. – Volume 25. – № 2. – P. 97–104.
8. Щербань В.Ю. Математичні моделі в САПР / В.Ю. Щербань, В.Г. Резанова, С.М. Краснитський. – К. : КНУТД, 2011. – 110 с.
9. Yakubitskaya I.A. Differential equations of the relative motion of the filament element on the end sections of the coil of the winding drum / I.A. Yakubitskaya, V.V. Chugin, V.Yu. Shcherban // Technology of the textile industry. – 1997. – № 6. – P. 50–54.

References

1. Slizkov A.M., Shcherban V.Yu., Kizimchuk O.P. Mechanical technology of textile materials. Part II. (Weaving, knitted and non-woven production): textbook. K.: KNUTD, 2018. 276 p.

2. Scherban V.Yu., Kalashnik V.Yu., Kolisko O.Z., Sholudko M.I. Investigation of the influence of the thread material and the anisotropy of friction on its tension and the shape of the axis. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. 2015. Volume 223. Issue 2. pp. 25–29.
3. Shcherban V.Y., Kolisko O.Z., Melnyk G.V., Sholudko M.I., Kalashnik V.Y. Computer systems design: software and algorithmic components. K.: Education of Ukraine, 2019. 902 p.
4. Scherban V.Yu., Kolisko O.Z., Sholudko M.I., Kalashnik V.Yu. Algorithmic, software and mathematical components of CAD in the fashion industry. K.: Education of Ukraine, 2017. 745 p.
5. Scherban V.Yu., Kalashnik V.Yu., Kolisko O.Z., Sholudko M.I. Investigation of the influence of the thread material and the anisotropy of friction on its tension and the shape of the axis. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. 2015. Volume 223. Issue 2. pp. 25–29.
6. Yakubitskaya I.A. Dynamic analysis of layout conditions on the end sections of the groove of the winding drum / I.A. Yakubitskaya, V.V. Chugin, V.Yu. Shcherban // Technology of the textile industry. – 1997. – № 5. – P. 33–37.
7. Shcherban V., Melnyk G., Sholudko M. and Kalashnyk V. Warp yarn tension during fabric formation / V. Shcherban, G. Melnyk, M. Sholudko, V. Kalashnyk // Fibres and Textiles. – 2018. – Volume 25. – № 2. – P. 97–104.
8. Scherban V. Yu. Krasnitsky S.M., Rezanov V.G. Mathematical Models in CAD. Selected sections and examples of application. K.: KNUTD, 2011. 110 p.
9. Yakubitskaya I.A. Differential equations of the relative motion of the filament element on the end sections of the coil of the winding drum / I.A. Yakubitskaya, V.V. Chugin, V.Yu. Shcherban // Technology of the textile industry. – 1997. – № 6. – P. 50–54.

ІННОВАЦІЙНІ СИСТЕМИ І ТЕХНОЛОГІЇ

DOI 10.31891/2307-5732-2021-299-4-159-168

УДК 338.242

О.Б. ВОВК

Національний університет «Львівська політехніка»

ORCID ID: 0000-0001-5523-0901

e-mail: olena.b.vovk@lpnu.ua

Н.Р. ГРАБОВСЬКА

Національний університет «Львівська політехніка»

ORCID ID: 0000-0002-5032-2257

e-mail: natahagr@gmail.com

В.В. ЛУЦКО

Національний університет «Львівська політехніка»

ORCID ID: 0000-0002-2247-6347

e-mail: Vika.purdyk@gmail.com

Р.О. ГОЛОЩУК

Національний університет «Львівська політехніка»

ORCID ID: 0000-0002-1811-3025

e-mail: roman.o.holoshchuk@lpnu.ua

РОЗРОБЛЕННЯ МАТРИЦІ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ НА ОСНОВІ ЗІСТАВЛЕННЯ РІВНІВ ПРОФЕСІОНАЛІЗМУ І СФОРМОВАНOSTІ ПРОФЕСІЙНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ

В умовах сучасних реалій, для формування чітких цілей професійної підготовки, а також оцінки сформованості професіоналізму, в цілому, і персонального, зокрема, потрібні орієнтири, що дозволять однозначно визначати існуючу на даний момент позицію індивіда та прогнозувати рівень його професійного зростання. В роботі представлено критерії та рівні професіоналізму, стадії професійного розвитку, що описують фахове зростання від низького рівня професійної компетентності до найвищого, та сформульовано мету, якій повинна відповідати особа (кандидат). Також побудовано матрицю компетентностей на основі зіставлення рівнів професіоналізму і сформованості професійної компетентності.

Ключові слова: матриця компетентностей, професіоналізм, IT, університет, компанії-роботодавці, студент.

VOVK OLENA, HRABOVSKA NATALIYA, LUTSKO VICTORIYA, HOLOSHCHUK ROMAN

Lviv Polytechnic National University

A DEVELOPMENT OF THE COMPETENCE MATRIX ON THE BASIS OF COMPARISON OF LEVELS OF PROFESSIONALISM AND FORMATION OF PROFESSIONAL COMPETENCE

As you know, professionalism can be described through the ratio of the motivational component of a person (professional values, goals, self-esteem, etc.) and its operational component (ability to learn, mastering techniques and technologies, professional abilities, etc.). As professionalism can be shown both in high indicators of results of activity, and in emotional and physical states of the person, it is necessary to allocate two groups of criteria of efficiency:

1) external (objective) criteria that focus on assessing the effectiveness of the professional task;

2) internal, psychological criteria for evaluating activities.

If we talk about skills and abilities, then first they are acquired as separate components (actions), then they are "honed", combined and form integral structures (so-called skill systems), and then - are generalized to the level of "secondary skills" which are characterized by flexibility, variability, indirectness of knowledge. However, any skills can not only be improved, but also subjected to destructive processes under the influence of subjective and objective factors.

These processes are accompanied by the destruction of the structure of activity, which is manifested in various types of occupational deformities. For example, a programmer who has not worked with a programming language for a long time eventually loses the level of work achieved in it, and to return to the proper level of work, must spend some time to remember and improve previously acquired skills and abilities. In today's conditions, this can be critical, because quite often the result is required immediately.

The article defines qualitative evaluation criteria and quantitative indicators that meet them and which should be quantified to form a clear picture of the level of professionalism of the individual in decision-making in a given situation. The paper presents the criteria and levels of professionalism, stages of professional development, which describe the professional growth from a low level of professional competence to the highest, and formulates the goal to be met by the person (candidate). A matrix of competencies is also built on the basis of comparing the levels of professionalism and the formation of professional competence.

Keywords: matrix of competencies, professional, IT, University of employers, student.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Під професіоналізмом в статті розуміється особлива властивість людей систематично, ефективно і надійно виконувати складну діяльність в найрізноманітніших умовах. Поняття «професіоналізм» повністю корелюється зі ступенем оволодіння людиною всіма гранями структурованої професійної діяльності, яка відповідає існуючим в суспільстві стандартам і наявним сучасним вимогам. Людина може набути цю

властивість в результаті спеціальної підготовки і тривалого досвіду роботи, а може і не досягти, рахуючись «умовним професіоналом». Наприклад, можна вивчити підходи до створення веб-сайтів, проте, якщо не створити і не вивести на ринок жодного веб-сайту – то в такому випадку можна говорити, власне, про «умовного професіонала».

Також в статті визначено якісні критерії оцінювання та кількісні показники, які їм відповідають та які повинні бути виміряні кількісно, для формування чіткої картини щодо рівня фаховості індивіда при прийнятті рішень в тій чи іншій ситуації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Відомо, що професіоналізм може бути описаний через співвідношення мотиваційної складової людини (професійні цінності, цілі, самооцінка і т.п.) та його операційної складової (здатність до навчання, освоєння прийомів і технологій, професійні здібності тощо) [3, 5]. Оскільки, професіоналізм може проявлятися як у високих показниках результатів діяльності, так і в емоційно-фізичних станах людини, то варто виділити дві групи критеріїв ефективності:

1) зовнішні (об'єктивні) критерії, що орієнтують на оцінку результативності виконання професійного завдання;

2) внутрішні, психологічні критерії оцінки діяльності.

Першу групу критеріїв становлять такі показники результативності, як:

- кількість і якість виробленої продукції (незалежно від напрямку діяльності);
- продуктивність праці.

До другої групи критеріїв варто віднести:

• професійно важливі якості (ПВЯ) (наприклад, вміння приймати миттєві рішення в екстремальних ситуаціях);

- професійні знання, вміння і навички;
- професійна мотивація;
- професійна самооцінка;
- рівень очікувань в певній ситуації;
- особливості професійної взаємодії;
- стресостійкість та можливості самокорекції;
- загальна фізична витривалість.

Також можливе використання і додаткових показників та параметрів, що відображають специфіку тої чи іншої професії. І якщо перша група критеріїв є більш-менш зрозумілою, то другу групу критеріїв варто розглянути більш детально. Професійно важливими якостями (ПВЯ) називають індивідуальні якості суб'єкта, що впливають на ефективність діяльності і успішність її освоєння. До ПВЯ відносяться і здібності, але вони не вичерпують усього обсягу ПВЯ. Під час оволодіння професійною роллю (фахом) ПВЯ розвиваються, складаються у прийоми та компетентності, вдосконалюється їх структура [6]. Професійні знання фахівця відрізняються багатогранністю, систематичністю і можливістю відразу пригадати те, що в дану хвилину необхідно для вирішення задачі (завдання), постійною мобілізацією (задіяністю) всього запасу знань.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття

Проте, на сьогодні існує таке явище як гіперперенасичення інформацією. Воно виникає в наслідок практично безперервного поширення інформації різними засобами (і цифровими, в першу чергу), що призводить до зростання в професійному плані, ролі когнітивного та, особливо, інтелектуального факторів. Через це, на сьогоднішній день важливим є не тільки високий рівень знань, але й специфічний стан мислення, здатного відрізнити коректну інформацію від псевдоінформації, вміння прогнозувати і планувати різні варіанти розвитку подій та ситуацій, забезпечуючи при цьому якісні та адекватні рішення складних професійних завдань. Таке мислення можна назвати «професійним».

Якщо говорити про вміння та навички, то спочатку вони набуваються як окремі компоненти (дії), потім вони «відточуються», об'єднуються і утворюють цілісні конструкції (так звані системи навичок), а в подальшому – узагальнюються до рівня «вторинних умінь», яким притаманні гнучкість, варіативність, опосередкованість знань. Проте, будь-які вміння і навички можуть не тільки удосконалюватися, а й піддаватися деструктивним процесам під впливом суб'єктивних і об'єктивних факторів. Ці процеси супроводжуються руйнуванням структури діяльності, що виявляється при різних видах професійної деформації. Наприклад, програміст, що довгий час не працював з тою чи іншою мовою програмування, з часом втрачає досягнутий рівень роботи в ній, і щоб знову вийти на належний рівень роботи, повинен затратити певний час для пригадування та вдосконалення отриманих перед тим умінь і навичок. В умовах сьогодення це може бути критичним, оскільки досить часто результат вимагається вже і негайно.

Професійна мотивація є особливим видом будь-якої конкретної трудової мотивації та обумовлена спеціалізацією в тій чи іншій професійній області, і формується в міру набуття особистого професійного досвіду. Виділяють три групи мотивацій, які спонукають людину до виконання того чи іншого виду робіт [4]:

- спонукання до порядку (системи) в соціумі;
- отримання матеріальних благ для себе та своїх близьких, задоволення моральних та духовних потреб;

- задоволення потреб в самовираженні, самореалізації.

Ці професійні мотивації можуть існувати як окремо, так і утворювати різні комбінації між собою.

Професійна самооцінка – це оцінка суб'єктом праці своїх особистісно значущих фізичних, психічних і соціальних параметрів по відношенню до професійних завдань. З точки зору успішності виконання будь-якого роду діяльності мають значення наступні показники:

- рівень самооцінки;
- адекватність самооцінки;
- стійкість самооцінки;
- гнучкість самооцінки.

У міру оволодіння професійною роллю відбувається розвиток самооцінки, шкала якої може варіюватися від частково-адекватної до максимально-адекватної. При цьому при максимальному загальному високому рівні професійної адекватності з'являються такі додаткові властивості індивіда як стійкість переконань та гнучкість (адаптація) до нових ситуацій. Відхилення самооцінки від адекватного рівня також може призводити до професійної деформації (проте, це впливатиме вже не на професійну діяльність, а на особистість).

Саморегуляція на початку професійного росту спрямована на забезпечення прийнятних робочих характеристик для окремих дій, яка згодом складається у систему адекватної мобілізації ресурсів індивіду до нових ситуацій.

Самозбереження носить спочатку локальний характер. Далі тимчасова зона саморегуляції розширюється до кордонів робочого дня, тижня, місяця. Після цього формуються адекватні способи компенсації професійного вигорання, розширюється зона саморегуляції, свідомо використовуються індивідуальні прийоми саморегуляції.

Професійна взаємодія проходить шлях від здатності вписатися в команду (колектив, групу за умови сумісності з іншими її членами і лише в тій частині діяльності, яка виконується спільно). Завдяки цій здатності включаються і всі інші структури. При цьому, розвивається внутрішньогрупова активність зі створенням власної стратегії поведінки, яка може доходити до високого рівня групової активності та погодження стратегій з оточуючими заради командних (колективних, групових) цілей.

Фізична витривалість на перших порах формується в умовах навчальної діяльності, потім в процесі адаптації до професійного середовища і згодом набуває стійкості в умовах постійної працездатності та відновлення після несприятливих впливів. Професійна компетентність є необхідним компонентом професіоналізму, який формується в процесі професійного навчання та є обізнаністю суб'єкта праці про сферу діяльності. Вона може розглядатись з двох сторін:

- у вузькому сенсі – це знання, вміння, навички, а також способи їх реалізації в діяльності, спілкуванні і саморозвитку особистості;
- у широкому сенсі – це показник успішної взаємодії з соціальним середовищем [2].

Формулювання цілей статті

Тому важливим є формування професійних компетенцій на ранніх рівнях професійного розвитку, одним з яких можна вважати навчання у закладі вищої освіти (ЗВО). Саме побудові (розробленню) матриці компетентностей на основі зіставлення рівнів професіоналізму і сформованості професійної компетентності присвячена дана стаття.

Виклад основного матеріалу

На основі сформованих вище критеріїв побудуємо піраміду з шаблів професіоналізму по аналогії з пірамідою А. Маслоу. Для цього, для оцінки рівня професіоналізму пропонується використовувати п'ятирівневу систему градацій. Найнижчий рівень визначимо як «початковий» («елементарний» або «фундаментальний»). Наступний за ним позначимо як «базовий» («навчальний» або «потенційний»). Середній рівень, що відповідає деякому нормативному (визначеному) ступеню професіоналізму, позначимо як «основний» (або «номінальний»). Ще вищий рівень професіоналізму будемо позначати як «прогресивний» («оптимальний» або «перспективний»). Найбільш якісний рівень, пов'язаний з виходом за межі вимог до професійної діяльності «професіонала», будемо позначати як рівень «досконалий» («майстерність»).

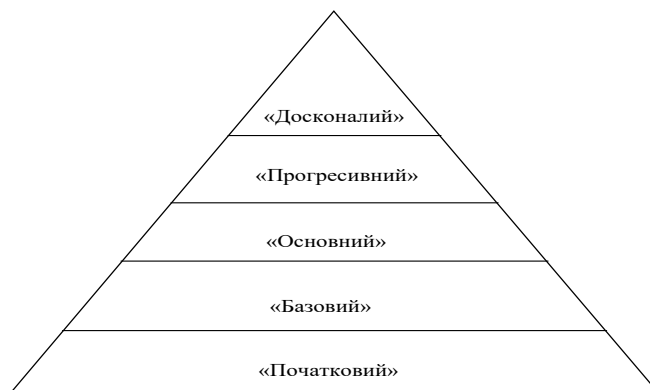


Рис. 1. Професійний розвиток у вигляді «піраміди професіоналізму»

Усередині кожного з рівнів (ступенів) для кількісної оцінки можна ввести підградації (підрівні) професіоналізму. Таким чином, отримаємо шкалу оцінки рівня сформованості професіоналізму.

Професійний розвиток також може бути представлено у вигляді циклічного (або спірального) процесу, що має окремі періоди, яким відповідають якісні своєрідні форми професійної діяльності.

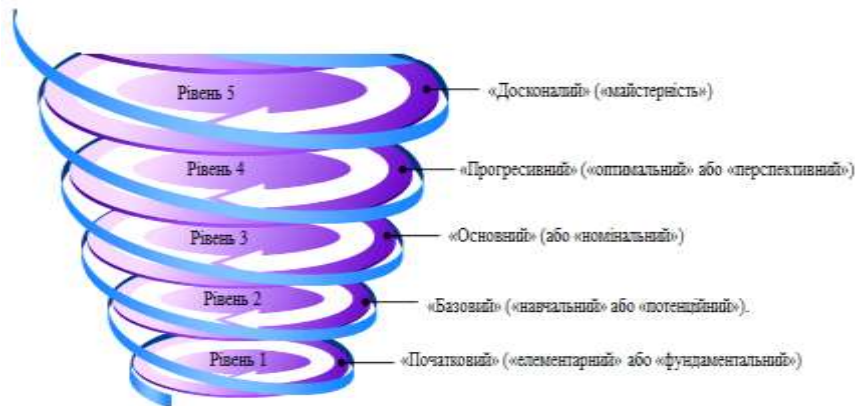


Рис. 2. Професійний розвиток у вигляді «спіралі професіоналізму»

Циклічність процесу підвищення професіоналізму пов'язана з можливістю вирішення людиною її внутрішніх протиріч, викликаних діалектичним запереченням сформованого у неї раніше відношенням до професійної діяльності при переході на новий, більш високий рівень (наприклад: «знаю – не знаю», «можу – не можу»). Для оцінки рівня сформованості професійної компетентності найкраще використовувати узагальнену модель професійного навчання рівня «бакалавр» на базі спеціальності «Комп'ютерні науки». При цьому, неодмінним компонентом є зв'язаність будованої моделі з рівнем усвідомлення суб'єктом (тобто студентом) наявності у нього необхідних знань, умінь і навичок з рівнем професійної компетентності.

Оскільки, навчання відбувається 4 роки, то виділимо чотири стадії росту професіоналізму, починаючи від початкового ознайомлення з новим матеріалом, формою його подачі, тривалістю навчання та закінчуючи сформованою професійною компетентністю у вигляді матриці компетентностей.

Перша стадія: несвідома некомпетентність – у людини немає необхідних знань, умінь, навичок, і вона не знає про вимоги до неї для успішної реалізації професійної діяльності. Перша стадія характеризується наступною професійною самооцінкою суб'єкта: «Я не знаю, що я не знаю». Коли людина усвідомлює брак знань, вмінь, навичок, тощо, необхідних для даної професійної діяльності, вона переходить на другу стадію.

Друга стадія: свідомі компетентність – людина знає, що входить в професійний «стрім», зміст професійних знань в даній професійній ніші, зрозуміє основні його аспекти, вміння та навички і може їх ефективно застосовувати. На цій стадії характерна самооцінка суб'єкта в наступній формі: «Я знаю, що я знаю».

Третя стадія: свідомі некомпетентність – чим більше людина «занурюється» в професійну область, тим більше вона усвідомлює, що їй не вистачає певних професійних знань, умінь, навичок. Тут можливі два результати усвідомлення:

- а) конструктивний – як форма прояву особистісної та професійної активності;
- б) деструктивний – форма соціальної пасивності.

Конструктивний шлях означає, що усвідомлення суб'єктом своєї професійної некомпетентності сприяє підвищенню його мотивації на здобуття відсутніх професійних знань, умінь, навичок. Для цієї стадії характерна наступна рефлексія суб'єкта: «Я знаю, що я не знаю і прагну це вивчити (опанувати)».

Деструктивний результат може призводити до виникнення почуття невпевненості в своїх силах, підвищеної тривожності тощо – це суттєво заважає професійному навчанню: «В мене нічого не вийде, бо я знаю, що я [це] не знаю».

Четверта стадія: «прихована» свідомі компетентність характеризує рівень майстерності: професійні навички повністю інтегровані, вбудовані в поведінку; професіоналізм стає частиною особистості. «Прихованість» полягає в тому, в складній ситуації професіонал приймає єдино вірне рішення, але не може його пояснити. Поєднуючи стадії професійної компетентності (за рівнем їх усвідомлення суб'єктом) з рівнями професіоналізму, отримуємо шкалу, представлену в табл. 1.

Перехід на вищий щабель професіоналізму неможливий без усвідомлення того, у чому індивідуум ще некомпетентний. А це усвідомлення обумовлено наявністю у людини розвиненої рефлексивної культури та мети, яку вона прагне досягти.

Таблиця 1

Зіставлення рівнів професіоналізму і сформованості професійної компетентності

Рівень професіоналізму	Рівень сформованості професійної компетентності
Найвищий («Досконалий»)	«Прихована» свідомість компетентність («я ЗНАЮ, що я ЗНАЮ, але не знаю звідки»)
Прогресивний («Оптимальний» або перспективний»)	Свідомість некомпетентність («я ЗНАЮ, що я НЕ ЗНАЮ»)
	Свідомість компетентність («я ЗНАЮ, що я ЗНАЮ»)
	Несвідомість некомпетентність (я НЕ ЗНАЮ, що я НЕ ЗНАЮ»)
«Основний» («Номінальний»)	Свідомість некомпетентність («я ЗНАЮ, що я НЕ ЗНАЮ»)
	Свідомість компетентність («я ЗНАЮ, що я ЗНАЮ»)
	Несвідомість некомпетентність («я НЕ ЗНАЮ, що я НЕ ЗНАЮ»)
«Базовий» («навчальний» або «потенційний»)	Свідомість компетентність («я ЗНАЮ, що я ЗНАЮ»)
	Свідомість компетентність («я ЗНАЮ, що я ЗНАЮ»)
	Несвідомість некомпетентність («я НЕ ЗНАЮ, що я НЕ ЗНАЮ»)
«Початковий» («навчальний» або «потенційний»)	Свідомість некомпетентність (я ЗНАЮ, що я НЕ ЗНАЮ»)
	Свідомість компетентність («я ЗНАЮ, що я ЗНАЮ»)
	Несвідомість некомпетентність («Я НЕ ЗНАЮ, що я НЕ ЗНАЮ»)

Якщо взяти як приклад студентів спеціальності «Комп'ютерні науки» – то мету, яку прагне досягнути студент можна описати функцією, яка називається «функцією мети»:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \mu(X_{ji}) \rightarrow \max$$

$$f(t) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \mu(X_{ji})$$

i – студент

j – елемент матриці компетентностей X

де

$$X = \langle X_u, X_c, X_s \rangle \quad (1)$$

При цьому, в «просторі професіоналізму» максимальне значення цієї функції можливе тільки за наявності трьох ключових суб'єктів («зацікавлених сторін» або стейкхолдерів), а саме:

- університету (У) – який по своїй суті є орієнтованим на побудову теоретичних підходів при розв'язанні задачі (проблеми), а тому є проблемно-орієнтованим;
- компаній-роботодавців (Р) – які, в першу чергу, орієнтовані на вирішення конкретних задач замовника, а вже потім – на можливе створення теоретичних підходів до розв'язання сформульованих практичних задач (проблем), а отже є задачеорієнтовані / проблемно-орієнтовані;
- студента (С) – якого, власне, цікавить набуття компетентностей для розв'язання задач (проблем) компаній-роботодавців (виконання завдань в реальних проектах) та університету (виконання завдань в межах навчання), а тому – є компетентно-орієнтованим.



Рис. 3. Трикутник «професіоналізму»

Оскільки, ІТ-спеціалісти стають все більш затребуваними в компаніях будь-якого профілю, а очікування щодо продуктивності їх роботи (технічні навички, кількість часу, за який вони можуть виконати певну роботу, «вартість як спеціаліста») – все вищими, то суть цих залежностей полягає в тому, щоб знати рішення, яке б дозволило **оптимально** збалансувати всі необхідні параметри та отримати на виході необхідний професіоналізм студента за задекларовані час та кошти при навчанні в університеті для досягнення найкращого результату для компаній-роботодавців. Проте, це завжди пов'язано як з часовими, так і фінансовими затратами усіх трьох учасників цього процесу.

Для компаній-роботодавців це означає, що після завершення навчання, вони хочуть отримати висококваліфікованих спеціалістів (професіоналів «основного» рівня), готових до розвитку та вдосконалення у відповідності до «піраміди професіоналізму». З іншого боку, після завершення навчання, студент, чий досягнення збігаються (або є вищими) за очікування щодо отримання знань, є набагато вмотивованішим та має бажання вдосконалювати отримані знання, навички та вміння в подальшому, у порівнянні зі студентом, очікування якого щодо отримання знань є низькими (або невідповідними). Тому – важливим є створення такого навчального середовища в університеті, яке допоможе досягти тих очікувань, на які орієнтується Студент.

Формалізовано це можна записати як:

$$\begin{aligned} w_u (\mu(X_{ji})) &\geq U_n \\ w_c (\mu(X_{ji})) &\geq C \end{aligned} \quad (2)$$

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

В результаті проведеного дослідження було сформульовано такі математично-аналітичні узагальнення:

X_{ue} , X_{ce} – **людські ресурси**:

- X_{sed} – залежить від якості абітурієнтів (вступ) – «зона зацікавленості» університету;
- X_{sin} , X_{sed} – «зона зацікавленості» студента та можливості вчитися («зона відповідальності» університету) відповідно:

X_{sin} – залежить від X_u та X_c : $X_{sin}=f(X_u, X_c)$;

- навчання, гуртки, менторство – «зона відповідальності» університету;
- менторство, майстер-класи та маркетингові заходи – «зона відповідальності» компаній-роботодавців;

X_{uinf} , X_{cinf} – **ресурси на розвиток інфраструктури**:

- матеріально-технічна база спільна «зона відповідальності» університету та компаній-роботодавців;
- можливості саморозвитку – «зона відповідальності» студента.

На практиці це може виглядати таким чином:

відображення на об'єкт дослідження 1:

0 рік – абітурієнти: мета (університету / компаній-роботодавців) – отримати цілеспрямованого студента з ресурсом X_{sed} . Активності, що сприяють досягненню мети:

- дні відкритих дверей,
- літні школи,
- майстер-класи,
- постійно діючі курси при кафедрі / університеті (наприклад, робототехніки тощо).

Людські ресурси щодо забезпечення активності та досягнення мети:

- викладачі університету (проведення активностей);
- працівники компаній-роботодавців (піар-менеджери для реалізації / провадження (здійснення) маркетингових заходів).

1 рік – креатив: мета (університету / компаній-роботодавців) – привити бажання студентів вчитися і розвиватися, підтримувати всі (навіть, найутопічніші або найфантастичніші в плані реалізації) ідей, максимізуючи X_{min} . Активності:

- **1 семестр**: пітчинг та оцінка потенціалу ідей – як результат – можлива часткова реалізація

стартапу або коректна відмова від реалізації з обґрунтуванням.

Людські ресурси щодо забезпечення активності та досягнення мети:

- викладачі університету (проведення активностей);
- працівники компаній-роботодавців («ліди» або «сінйори» в якості менторів / журі).

□ **2 семестр:** продовження / реалізації ідей, що були схвалені на попередньому етапі, кодрев'ю інших команд, підсумковий аналіз причин успіху (неуспіху) при реалізації проекту.

Людські ресурси щодо забезпечення активності та досягнення мети:

- викладачі університету (проведення активностей);
- студенти-одногрупники (або старшокурсники) (отримання навиків командної роботи в різнопланових проектах та в різних ролях (виконавець, тім-лід, ментор тощо).

2 рік – проектна робота: мета (університету / компаній-роботодавців) – набуття технічних («хард») та «м'яких» («софт») навичок, максимізація Х. Активності:

□ **1 семестр:** вибір теми проекту, підготовча робота (аналіз ринку, підбір менторів), реалізація беку, кодрев'ю інших команд. Результат – часткова реалізація проекту.

Людські ресурси щодо забезпечення активності та досягнення мети:

- викладачі університету (проведення активностей);
- працівники компаній-роботодавців («девелопери» та (або) «проджект-менеджери» в якості менторів);
- студенти-одногрупники (або старшокурсники) (отримання навиків командної роботи в різнопланових проектах та в різних ролях (виконавець, тім-лід, ментор тощо).

Відображення на об'єкт дослідження 2

□ **2 семестр** (2-го року навчання): продовження реалізації проектів (комплексна розрахункова для дисциплін «Системний аналіз», «Організація баз даних та знань», «Веб-проектування»), її захист. Результат – оцінка командної роботи, оцінка технічних навичок.

- викладачі університету (проведення активностей);
- працівники компаній-роботодавців («девелопери» та (або) «проджект-менеджери» в якості менторів);
- студенти-одногрупники (або старшокурсники) (отримання навиків командної роботи в різнопланових проектах та в різних ролях (виконавець, тім-лід, ментор тощо).

3 рік – профілізація (ШІ / AI): мета (університету / компаній-роботодавців) – проектування систем, дата-сайнс навичок, практична робота в компаніях-роботодавцях, максимізація Х. Активності:

□ **1 семестр:** спільний курсовий проект для дисциплін «Інтелектуальний аналіз даних», «Візуалізація даних» та «Системи штучного інтелекту», його захист. Результат – вивчення основних методів та підходів в сфері штучного інтелекту.

Людські ресурси щодо забезпечення активності та досягнення мети:

- викладачі університету (проведення активностей);
- працівники компаній-роботодавців («девелопери» та (або) «проджект-менеджери» в якості менторів);
- студенти-одногрупники (або старшокурсники) (отримання навиків командної роботи в різнопланових проектах та в різних ролях (виконавець, тім-лід, ментор тощо).

□ **2 семестр:** реалізація індивідуальних (або командних) проектів на замовлення компаній-роботодавців (можливе використання отриманих знань з дисциплін «Видобування великих даних», «Опрацювання великих даних», «Технології паралельних обчислень» тощо). Результат – відбір кращих студентів за чисельними параметрами пропонованої моделі, кращим студентам відшкодування витрат щодо участі в воркшопах, конференціях, симпозіумах тощо, опублікування результатів проектів.

Людські ресурси щодо забезпечення активності та досягнення мети:

- викладачі університету (проведення активностей);
- працівники компаній-роботодавців (працівники R&D-відділів, «девелопери» та (або) «проджект-менеджери» в якості менторів / журі);
- студенти-одногрупники (або старшокурсники) (отримання навиків командної роботи в різнопланових проектах та в різних ролях (виконавець, тім-лід, ментор тощо).

4 рік – деплоймент: мета (університету / компаній-роботодавців) – набуття студентами навичок деплойменту в хмарі, створення комплексних проектів, максимізація Хс. Активності:

□ **1 семестр:** деплоймент в хмарі результатів попереднього (3-го) курсу. Результат – цілісне розуміння структури проекту, його проектування, створення, супроводу.

Людські ресурси щодо забезпечення активності та досягнення мети:

- викладачі університету (проведення активностей);
- працівники компаній-роботодавців (працівники R&D-відділів, «девелопери» та (або) «проджект-менеджери» в якості консультантів).

□ **2 семестр:** вдосконалення (ускладнення) проекту (опрацювання мови та відео в режимі реального часу), виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи (в т.ч. для IT-компаній). Результат – підготовлений студент-бакалавр, що відповідає кваліфікаційним вимогам та матриці компетентності.

Людські ресурси щодо забезпечення активності та досягнення мети:

- викладачі університету (проведення активностей);
- працівники компаній-роботодавців (працівники R&D-відділів, «девелопери» та (або) «проджект-менеджери» як консультанти та (або) співкерівники бакалаврських кваліфікаційних робіт).

В результаті такого підходу професіоналізм особи, яка проходить шлях від абітурієнта до студента-бакалавра (X), формується представленою нижче матрицею компетентностей (розроблена для двох напрямків спеціальності «Комп'ютерні науки»: «Датасайєнтист» (англ. Data-scientist) та «Розробник програмного забезпечення» (англ. software engineer, software developer).

Подальші дослідження в даній сфері передбачають:

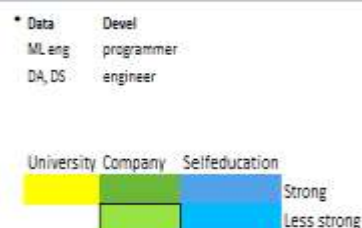
- формування розширеної матриці компетентностей із чітким вказанням ролі кожного з учасників процесу;
- налагодження кооперації між учасниками процесу «університет» та «компанії-роботодавці» до такого рівня, щоб:

$\mu(X_{ji})$ було загальноновизнаним та X_{cl} , w_u та w_c обговорювалися щосеместрово.

Таблиця 2

Матриця компетентностей на основі зіставлення рівнів професіоналізму і сформованості професійної компетентності

Competence matrix									
Knowledge	Competens	trainee		junior		middle		senior	
		Data	Devel	Data	Devel	Data	Devel	Data	Devel
theoretical	HTML, programming languages		X		XXX	X	XXX	X	XXX
	...		X		XXX	X	XXX	X	XXX
	OOP, OOD	++	X		XXX	XX	XXX	XX	XXX
	SQL	++	X		XXX	XX	XXX	XX	XXX
	Data structures, O notation	X	X	XX	XX	XXX	XXX	XXX	XXX
	algorithms	X	X	XX	XX	XXX	XXX	XXX	XXX
	Probability theory	X		XXX	X	XXX	X	XXX	XX
	statistic	X		XXX		XXX	X	XXX	XX
	ML methods	X		XX		XXX		XXX	XX
	DL methods					XXX		XXX	XX
	...					X		XXX	XXX
	space transformation							XXX	
soft skills	English B2			XX	XX	XXX	XXX		
	English C1			XX	XX	XXX	XXX	XXX	XXX
	teamwork	X	X	XX	XX	XX	XX	XX	XX
	time management			XX	XX	XX	XX	XX	XX
	self presentation			XX	XX	X	X	XX	XX
	stress management			XX	XX	X	X	XX	XX
	company values			XX	XX	X	X	X	X
	...							X	X
practical	projects					XXX	XXX	XXX	XXX
	certificates			XX	XX	XXX	XXX	XXX	XXX
	1-3 yy experience			X	X	XXX	XXX	XXX	XXX
	3-6 yy experience					X	X	XX	XX
	6-10 yy experience							X	X



Джерело: авторська розробка

Отже, коротко можна сформулювати вищенаведені тези у вигляді підсумовуючої таблиці-матриці:

Таблиця 3

Матриця критеріїв та обмежень сформованості професійних компетентностей

Об'єкт	Університет	Компанії-роботодавці	Студент
1	Критерії Отримати успішного випускника, який стане X_{sc} та забезпечить X_{cinf} Прогресувати (вдосконалитись), збільшивши X_{uc} (X_{uc} може отримуватись не одразу після закінчення університету)	Отримати фахівця без стадії довчання для зменшення витрат для компанії від невиконання проектів Отримати фахівця з максимально заповненою матрицею компетентностей для збільшення доходів компанії	Здобути якомога більше компетентностей
2	Обмеження X_{cl} – стохастична складова, про значення якої X_{uc} дізнається із запізненням Часові обмеження X_{uc} , пов'язані з пошуком додаткового фінансування	К фахівців з компетентностями $X = \langle X_u, X_{cl}, X_s \rangle$ момент часу t X_{cl} – стохастична складова	Незнання значень w_u та w_c

Для університету та компаній-роботодавців шляхи вирішення задач, зведених в табл. 2 можуть бути сформульовані наступним чином:

- постійне оперативне вирішення інфраструктурних питань згідно з узгодженими графіками та домовленостями між університетом та компаніями-роботодавцями;
- постійна робота над робочими програмами – перманентне вдосконалення на основі неперервного прямого контакту з компаніями-роботодавцями;
- постійний контакт викладач університету – ментор компаній-роботодавців;
- формування єдиного центру інформації для перманентного контакту: викладач університету – ментор компаній-роботодавців – маркетинговий центр – для безперебійного висвітлення подій з метою своєчасного інформування студентів про найактуальніші зміни в процесі навчання в університеті та найактуальніші вимоги щодо кандидатів від компаній-роботодавців (за відсутності такого центру – обов'язкове його створення);
- постійний контакт студент – центр новин – для отримання своєчасного зворотного зв'язку на найактуальніші зміни в процесі навчання в університеті та найактуальніші вимоги щодо кандидатів від компаній-роботодавців.

За таких умов пропонується підхід дозволить оперативно оцінювати ступінь оволодіння професійною роллю суб'єктом (студентом) для університетів з метою від лагодження їх роботи у відповідності до вимог сьогодення, а також оцінити рівень сформованості його (студента) професійних компетентностей (компетенцій) з боку компаній-роботодавців.

Література

1. Дружилов С.А. Обучение и стадии профессиональной компетентности / С.А. Дружилов // Непрерывное образование как условие развития творческой личности : сб. по материалам фестиваля педагогического творчества. – Новокузнецк : Изд-во ИПК, 2001. – С. 31–33.
2. Дружилов С.А. Профессиональная компетентность и профессионализм педагога: психологический подход / С.А. Дружилов // Сибирь. Философия. Образование : научно-публицистический альманах. – Новокузнецк : СО РАО, ИПК, 2005. – Вып. 8. – С. 26–44.
3. Дружилов С.А. Психология профессионализма. Инженерно-психологический подход / С.А. Дружилов. – Харьков : Изд-во «Гуманитарный Центр», 2011. – 296 с.
4. Ильин Е.П. Мотивация и мотивы / Ильин Е.П. – СПб : Питер, 2000. – 512 с.
5. Маркова А.К. Психология профессионализма / Маркова А.К. – М. : Международный гуманитарный фонд «Знание», 1996. – 312 с.
6. Шадриков В.Д. Способности человека / Шадриков В.Д. – М. : Изд-во «Институт практической психологии»; Воронеж : МОДЭК, 1997. – 288 с.
7. Holoshchuk R. Engineering methods for implementation of dual education principles in domain of IT / Holoshchuk Roman, Pasichnyk Volodymyr, Kunanets Oksana, Kunanets Nataliia, Rzhenskyi Antonii, Korzh Roman // Комп'ютерні науки та інформаційні технології, CSIT-2019 : матеріали XIV Міжнародної науково-технічної конференції, 17–20 вересня 2019. – Львів, 2019. Том 3. – С. 99–102. – (SciVerse SCOPUS).
8. Holoshchuk R. Information modeling of dual education in the field of IT / Holoshchuk R., Pasichnyk V., Kunanets N., Veretennikova N. // Advances in Intelligent Systems and Computing (AISC). – 2020. – Vol. 1080. – P. 637–646. – (SciVerse SCOPUS?). – URL : https://doi.org/10.1007/978-3-030-33695-0_43
9. Holoshchuk R. Modeling the distance network-oriented education systems / Holoshchuk Roman,

Pasichnyk Volodymyr, Kunanets Nataliia, Veretennikova Nataliia, Pytlenko Taras // Комп'ютерні науки та інформаційні технології, CSIT-2019 : матеріали XIV Міжнародної науково-технічної конференції, 17–20 вересня 2019, Том 3 – Львів, 2019. – С. 191–196. – (SciVerse SCOPUS).

10. Shakhovska N. A mixed Fog/Edge/AIoT/robotics education approach based on tripled learning / Shakhovska Nataliia, Vovk Olena, Holoshchuk Roman, Hasko Roman // CEUR Workshop Proceedings. – 2020. – Vol. 2616: Proceedings of the 2nd International workshop on control, optimisation and analytical processing of social networks (COAPSN 2020), Lviv, Ukraine, May 21, 2020. – P. 227–236. – (dblp, SciVerse SCOPUS).

References

1. Druzhilov S.A. Obuchenie i stadii professionalnoj kompetentnosti / S.A. Druzhilov // Nepreryvnoe obrazovanie kak uslovie razvitiya tvorcheskoj lichnosti : sb. po materialam festivala pedagogicheskogo tvorchestva. – Novokuzneck : Izd-vo IPK, 2001. – S. 31–33.
2. Druzhilov S.A. Professionalnaya kompetentnost i professionalizm pedagoga: psihologicheskij podhod / S.A. Druzhilov // Sibir. Filosofiya. Obrazovanie : nauchno-publicisticheskij almanah. – Novokuzneck : SO RAO, IPK, 2005. – Vyp. 8. – S. 26–44.
3. Druzhilov S.A. Psihologiya professionalizma. Inzhenerno-psihologicheskij podhod / S.A. Druzhilov. – Harkov : Izd-vo «Gumanitarnyj Centr», 2011. – 296 s.
4. Ilin E.P. Motivaciya i motivy / Ilin E.P. – SPb : Piter, 2000. – 512 s.
5. Markova A.K. Psihologiya professionalizma / Markova A.K. – M. : Mezhdunarodnyj humanitarnyj fond «Znanie», 1996. – 312 s.
6. Shadrikov V.D. Sposobnosti cheloveka / Shadrikov V.D. – M. : Izd-vo «Institut prakticheskoy psihologii»; Voronezh : MODEK, 1997. – 288 s.
7. Holoshchuk R. Engineering methods for implementation of dual education principles in domain of IT / Holoshchuk Roman, Pasichnyk Volodymyr, Kunanets Oksana, Kunanets Nataliia, Rzhenskyi Antonii, Korzh Roman // Kompiuterni nauky ta informatsiini tekhnologii, CSIT-2019 : materialy XIV Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii, 17–20 veresnia 2019. – Lviv, 2019. Tom 3. – S. 99–102. – (SciVerse SCOPUS).
8. Holoshchuk R. Information modeling of dual education in the field of IT / Holoshchuk R., Pasichnyk V., Kunanets N., Veretennikova N. // Advances in Intelligent Systems and Computing (AISC). – 2020. – Vol. 1080. – P. 637–646. – (SciVerse SCOPUS?). – URL : https://doi.org/10.1007/978-3-030-33695-0_43
9. Holoshchuk R. Modeling the distance network-oriented education systems / Holoshchuk Roman, Pasichnyk Volodymyr, Kunanets Nataliia, Veretennikova Nataliia, Pytlenko Taras // Kompiuterni nauky ta informatsiini tekhnologii, CSIT-2019 : materialy XIV Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii, 17–20 veresnia 2019, Tom 3 – Lviv, 2019. – S. 191–196. – (SciVerse SCOPUS).
10. Shakhovska N. A mixed Fog/Edge/AIoT/robotics education approach based on tripled learning / Shakhovska Nataliia, Vovk Olena, Holoshchuk Roman, Hasko Roman // CEUR Workshop Proceedings. – 2020. – Vol. 2616: Proceedings of the 2nd International workshop on control, optimisation and analytical processing of social networks (COAPSN 2020), Lviv, Ukraine, May 21, 2020. – P. 227–236. – (dblp, SciVerse SCOPUS).

С. А. БУРЛАКА

ORCID ID: 0000-0002-4079-4867

e-mail: ipserhiy@gmail.com

В. М. ЯРОПУД

ORCID ID: 0000-0003-0502-1356

e-mail: yaropud77@gmail.com

Н. Г. ЗДИРКО

ORCID ID: 0000-0001-5968-3502

e-mail: natasha@vsau.vin.ua

Вінницький національний аграрний університет

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ОЦІНКИ ТА ДІАГНОСТУВАННЯ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА ПРИ ВИКОРИСТАННІ БІОПАЛИВА

В статті наведено рекомендації щодо оцінки та визначення впливу біопалива на двигун так як його використання дуже спірне, складне і неоднозначне питання. Проведено встановлення залежностей роботи двигуна на біопаливі і його вплив на різні показники енергетичного агрегату так як мало приділено уваги тому, що різні види біопалива є абсолютно відмінними з точки зору їх впливу на машини, паливну апаратуру і далеко не всі задовольняють вимогам, що пред'являються до них при роботі в умовах агропромислового комплексу.

Ключові слова: двигун, біопаливо, рекомендації, оцінка, показники.

S. BURLAKA,

V. YAROPUD,

N. ZDIRKO

Vinnytsia National Agrarian University

RECOMMENDATIONS FOR EVALUATION AND DIAGNOSIS OF DIESEL ENGINE WHEN USING BIOFUELS

The practical use of biofuels is a very controversial, complex and ambiguous issue. Biofuels are considered to be a means of getting rid of many problems. It has gained this reputation due to the lack of attention paid to the complex processes of production of biofuels and raw materials from which it is produced, as well as the great difficulties that arise in its use. Unfortunately, little attention is paid to the fact that different types of biofuels are completely different in terms of their impact on cars, engines, fuel equipment and not all meet the requirements for them when working in the agro-industrial complex. In fact, it is already clear that the daily unregulated use of biofuels will lead to numerous failures of diesel engines and huge repair costs.

Each family of biofuels is produced using different technologies. Despite this, work in this direction is being actively pursued, there are still no standards for various types of biofuels, as well as for the raw materials used, production and technological processes and environmental standards. In practice, this may mean that different biofuel producers will sell under the same name fuels with very different physical and chemical characteristics, not to mention that they contain potentially hazardous substances. In addition, its effect on engine mechanics, whether biofuel in a mixture with conventional or pure biofuel, whatever it may be, has not been sufficiently studied. Biofuel itself can be a strong solvent and gradually clog the injectors with dissolved substances. Biofuels made from ethanol can be hygroscopic, and the moisture dissolved in them affects the corrosion of engine parts. Components of such fuels can also adversely affect engine gaskets and seals, as well as fuel supply systems made from organic materials. Simply put, there is a clear incompatibility between the materials of modern diesel engines and biofuels when used in high concentrations.

Key words: engine, biofuel, recommendations, assessment, indicators.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Недолік конструкцій, способів діагностування та можливостей регулювання при використанні різних видів біопалива є причиною того, що поряд зі скороченням викидів вуглекислого газу, деякі з них можуть привести до забруднення навколишнього середовища іншими, не менш небезпечними речовинами, стандартів на які поки немає [1]. Як наслідок не представляється можливим провести повну всеосяжну діагностику всіх видів шкідливих викидів при використанні біопалива. На тлі вже усталеного в сучасному світі розподілу палива на бензин і дизельне, абсолютно незрозумілим залишається позиціонування біопалива. Біопаливом називають в наші часи будь-яке паливо, вироблене з матеріалів рослинного або тваринного походження [2].

Аналіз досліджень та публікацій

Європейський стандарт EN590 на дизельне паливо допускає присутність в ньому до 5% біодобавок. Однак на відміну від етанолу, який додається в бензин, в дизельному паливі можуть бути різні добавки. У будь-якому випадку, при перевищенні допустимих 5% починаються проблеми з двигуном [3, 4].

Найчастіше в якості сировини для біопалива використовується насіння ріпаку, що вирощується в Європі, пальмова олія з Індонезії і Малайзії або соя, на яку в основному покладаються в США. Хімічний склад олій, одержуваних з різних видів сировини, буде різним. При недостатньому ступені рафінування олій з різної сировини будуть містити різні побічні продукти в різній кількості. Всі вони можуть чинити негативний вплив на продуктивність і надійність роботи двигуна та призводити до погіршення якості палива з плином часу під впливом тепла і світла [5].

Від такої ж проблеми можуть страждати і автозаправні станції. На станціях розташованих біля траси де продають біопаливо у великій кількості, якість може залишатися цілком постійною. Однак в інших місцях біопаливо подовгу перебуває в підземних резервуарах де може псуватися. Якщо склад палива непостійний і змінюється з часом, то працювати з ним буде практично неможливо. Будь-яке завдання по забезпеченню роботи двигуна з паливом перетвориться на непосильну, так як не можна буде забезпечити належну ступінь хімічної нейтральності матеріалів, якщо склад палива постійно змінюється. Налаштувати двигун під оптимальний витрата палива з постійно змінюваними характеристиками згоряння також буде неможливо. Двигуни будуть постійно ржавіти і отримувати інші хімічні пошкодження, система подачі палива буде забиватися продуктами розкладання компонентів самого палива, а автовиробники будуть змушені або обмежувати пропоновані гарантії на двигуни, або розоритися на їх відпрацювання [6].

Зараз жоден з автовиробників не володіє достатньою кількістю засобів і технічних можливостей для перевірки своїх двигунів на сумісність з сучасними сортами біопалива в усьому їх різноманітті. Для них також існує ризик витратити великі гроші і тривалий час на розробку двигуна під паливо, яке проіснує лише десяток років або близько того, а потім буде витіснене паливом «другого покоління».

Паливо «другого покоління» планується створювати вже не з цільових культур і спеціально вирощеної сировини. Його будуть виробляти з відходів - харчових, лісового комплексу, інших органічних відходів [7].

В наші дні деякі виробники не дають гарантію на використання своїх двигунів з паливом B100 (повністю біологічне) [8].

Формулювання цілей статті

Метою роботи є: розробка рекомендацій з проведенням оцінки впливу біопалива на надійності, техніко економічні та екологічні показники.

Виклад основного матеріалу

Експерименти з використанням в якості дизельного палива рослинної олії, переробленої після використання для приготування їжі, мають досить негативні результати. Змішування незгорілого палива з моторними маслами в двигуні само по собі є проблемою звичайних автомобілів з дизельними двигунами [9]. Однак використання в якості палива рослинних олій, які не пройшли переестерифікації без поліпшувачів добавок призводить до того, що ці олії починають реагувати з мастилами, утворюючи полімери, властивості яких ніяк не сприяють нормальній роботі двигунів (рис. 1).

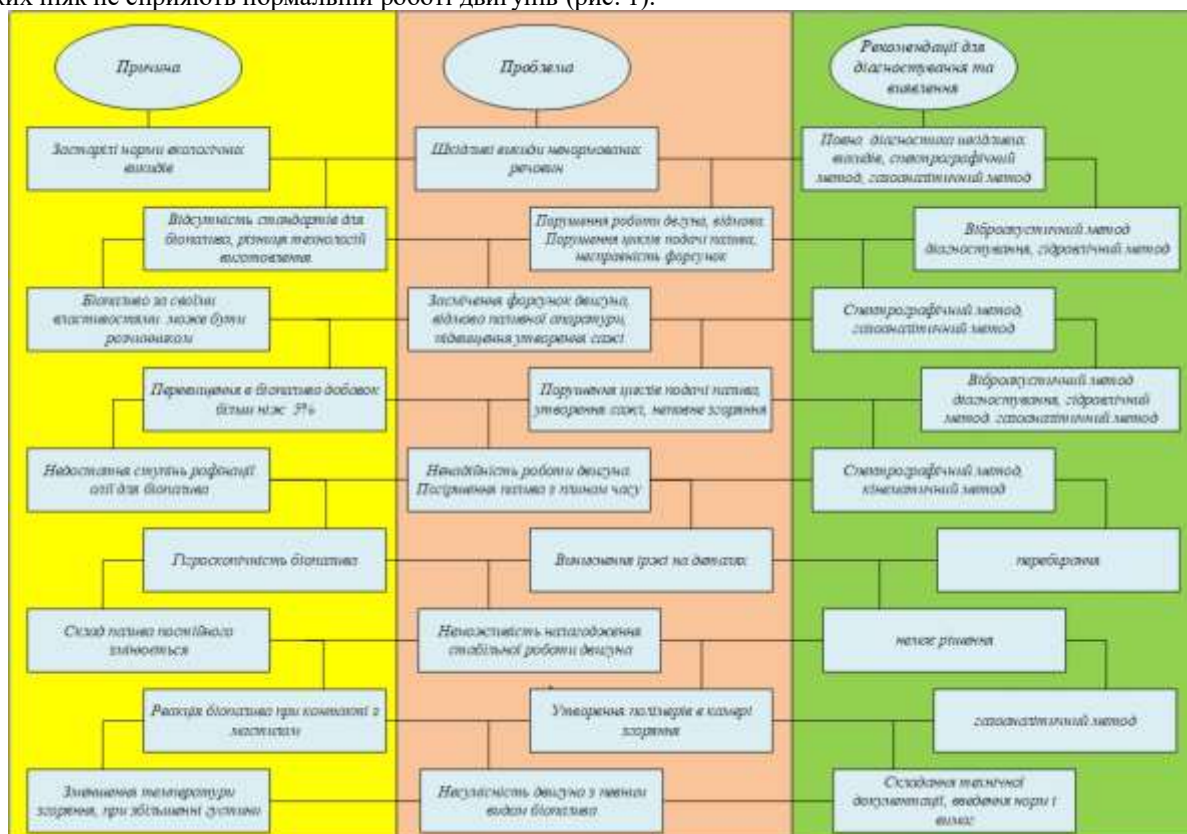


Рис. 1. Проблеми, що виникають при використанні біопалива

З метою розробки рекомендацій та оцінки впливу біопалива та біопаливних композицій на потужності, економічні та екологічні показники за приклад взято двигун Д-240 (4С11/12,5). Дослідження проводилися в умовах регуляторної характеристики з частотами обертання колінчастого валу від 1400 хв⁻¹ (режим максимального крутного моменту) до 2200 хв⁻¹ (режим номінальної потужності) з інтервалом 200 хв⁻¹ і в умовах навантажувальної характеристики з навантаженням 80 %, 90%, 100% при різних частотах

обертання колінчастого валу, а також в умовах характеристики холостого ходу з частотами обертання колінчастого валу від 800 хв^{-1} (мінімально-стійка частота обертання) до 2330 хв^{-1} (максимальна частота обертання). Показники потужності, економічності та екологічності двигуна при роботі на біопаливі та біопаливних композиціях порівнювалися на подібних режимах з відповідними показниками на товарному дизельному паливі нафтового походження.

На всіх частотах обертання колінчастого валу при 100% навантаженні найбільшу потужність двигун видає при роботі на товарному нафтовому дизельному паливі і дещо меншу на біопаливних композиціях. Причому в міру збільшення процентного вмісту метилового ефіру ріпакової олії в сумішевих паливі ця різниця зростає, але не перевищує 5% (рис. 2). На номінальному режимі максимальне зниження потужності і збільшення годинної витрати палива відзначається при роботі на суміші В75. При цьому потужність двигуна впала на 3,2% (з 56,1 кВт до 54,3 кВт), а годинна витрата палива зросла на 8,3% (з 15,02 кг/год до 16,38 кг/год). Найменше зниження потужності (на 0,7%) і підвищення годинної витрати палива (на 3%) на номінальному режимі спостерігається при роботі дизеля на сумішевих паливі В25. В умовах регуляторної характеристики дизеля при 100% навантаженні в діапазоні частот обертання від 1400 хв^{-1} до 2200 хв^{-1} максимальний тиск циклу при роботі на ДП і на всіх видах біопалива зростає. Однак зі збільшенням кількості МЕРО в сумішевому паливі максимальний тиск циклу зменшується. Так, при роботі на ДП на номінальному режимі воно склало 7,54 МПа, на суміші В25 - 2,292 МПа, на суміші В75 - 7,108 МПа і на В100 - 7,0 МПа, тобто найбільше зниження максимального тиску циклу склало 0,54 МПа (рис. 3). З точки зору екологічних показників, найменша концентрація шкідливих речовин у відпрацьованих газах на номінальному режимі відзначається при роботі двигуна на В100. У порівнянні з роботою на ДП концентрація в відпрацьованих газах оксиду вуглецю знижується на 26%, вуглеводнів - на 35%, димність (сажа) - на 14% (рис. 4,5,6).

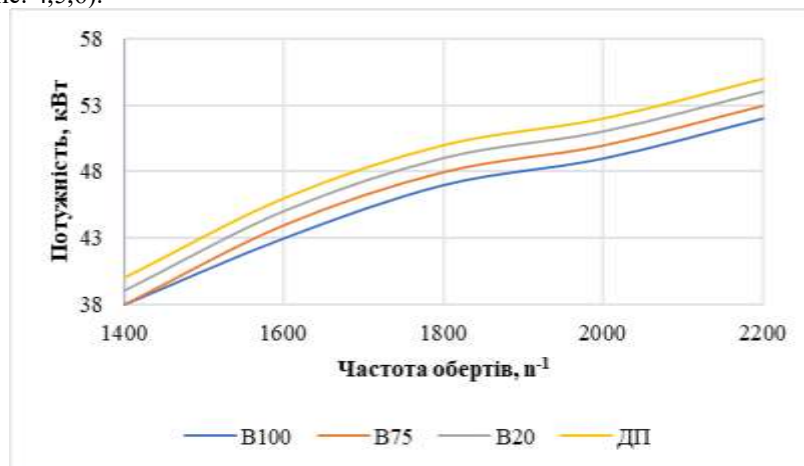


Рис. 2. Показники ефективної потужності двигуна 4Ч11/12,5 (Д-240) в умовах регуляторної характеристики при роботі на паливах різного складу

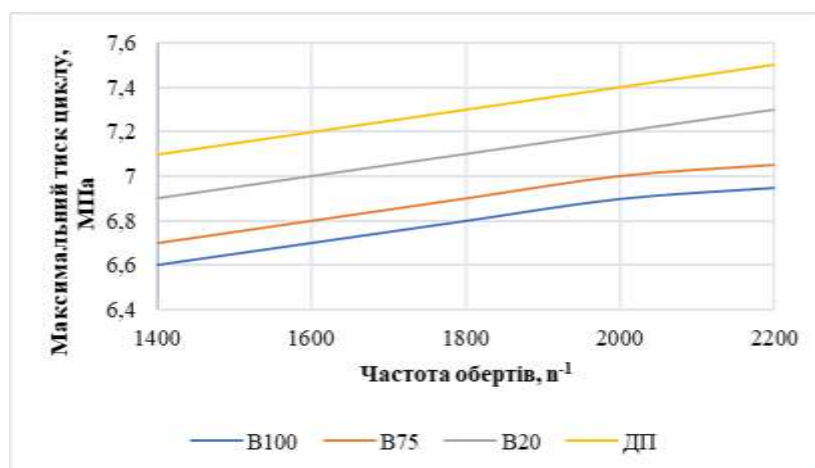


Рис. 3. Показники максимального тиску циклу двигуна 4Ч11/12,5 (Д-240) в умовах регуляторної характеристики при роботі на паливах різного складу

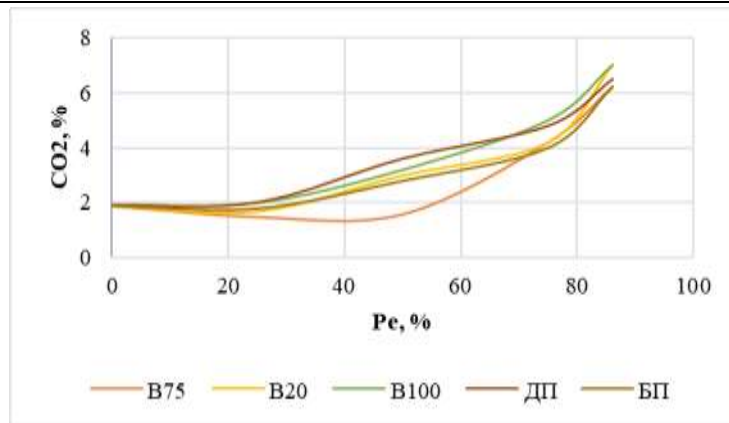
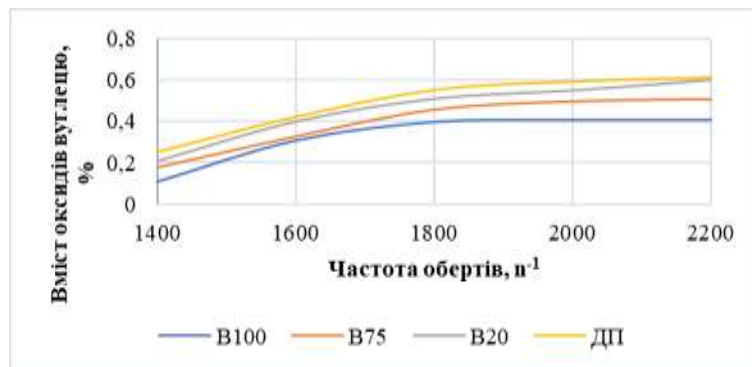
Рис. 4. Викиди CO₂ у відпрацьованих газах в залежності від потужності двигуна

Рис.5. Показники вмісту оксидів вуглецю двигуна 4Ч11/12,5 (Д-240) в умовах регуляторної характеристики при роботі на паливах різного складу

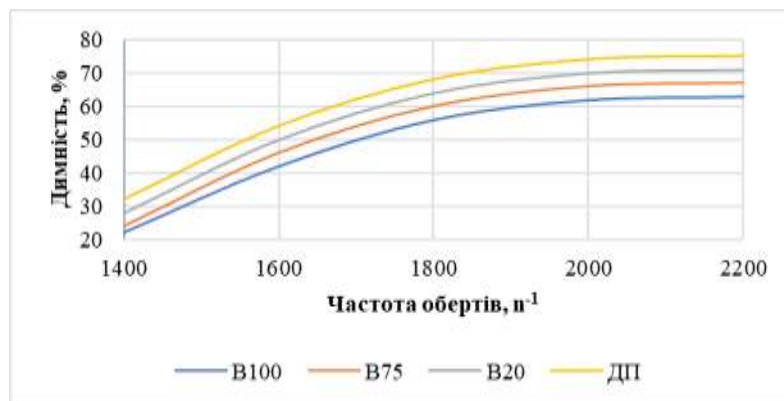


Рис. 6. Показники димності двигуна 4Ч11/12,5 (Д-240) в умовах регуляторної характеристики при роботі на паливах різного складу

Розробку рекомендацій та ефективність використання біопалива на автотракторній техніці пропонується оцінювати комплексом показників на кожному з чотирьох етапів (рис. 7). На першому етапі виконується оцінка фізико-хімічних і теплотворних властивостей біопалива, виявляється відповідність цих властивостей нафтовому (мінеральному) дизельному паливу, відбувається вибір виду палива (ріпакова олія, метиловий ефір ріпакової олії або сумішове паливо) для двигуна з розділеною або нерозділеною формою камери згоряння, даються первинні рекомендації (напрямки) адаптації для використання біопалива. На даний момент для адаптації вітчизняних двигунів для використання біопалива без істотних конструктивних змін найбільш прийнятним альтернативним видом палива є сумішове паливо, що представляє собою біопаливну композицію з нафтового товарного дизельного палива і ріпакової олії (або метилового ефіру ріпакової олії).

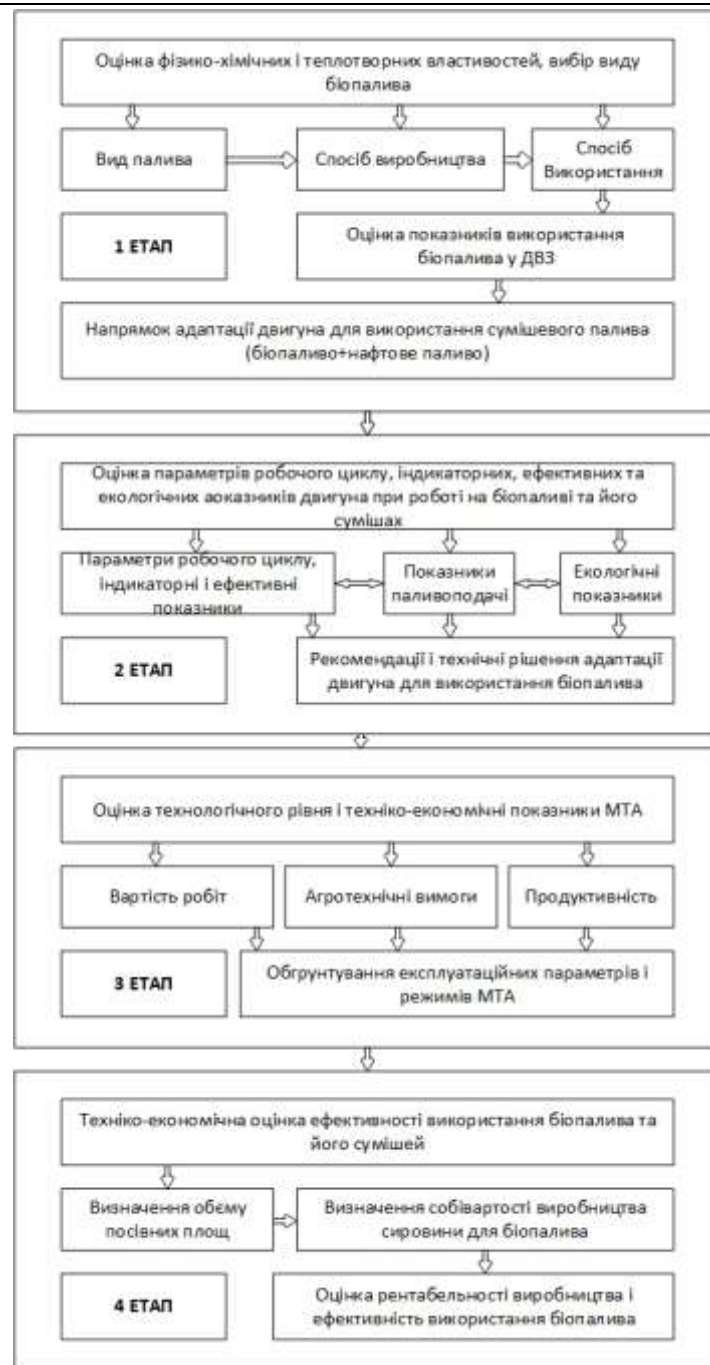


Рис. 7. Структурна схема оцінки показників ефективності використання біопалива

На другому етапі проводиться експериментальна оцінка параметрів подачі палива і робочого циклу, індикаторних, ефективних та екологічних показників двигуна. При цьому виконуються порівняльні дослідження паливної апаратури на безмоторному стенді, а також на гальмівній установці при роботі на нафтовому дизельному паливі і різних видах сумішевого палива. В результаті проведення експериментальних досліджень визначається оптимальне процентне співвідношення нафтового і біологічного палив в суміші, видаються практичні рекомендації та технічні рішення для конструктивної адаптації при використанні сумішевого палива. На третьому етапі оцінюється технологічний рівень і визначаються техніко-економічні показники машинно-тракторного агрегату (МТА) в умовах експлуатації при роботі на сумішевих паливі. При цьому встановлюються оптимальні режими виконання того чи іншого технологічного процесу, що визначають склад і робочі швидкості МТА, розраховуються продуктивність і вартість робіт. Агротехнічні властивості МТА (агротехнічний просвіт, захисна зона, середній питомий тиск рушіїв на ґрунт, керованість, оглядовість з місця водія) практично не залежать від виду застосовуваного палива, так як основний вплив на них чинять конструктивні особливості машин, що входять до складу МТА. Однак якщо враховувати якість одержуваного врожаю з екологічного фактору, то при роботі МТА на сумішевих паливі шкода врожаю буде менша, ніж на нафтовому товарному дизельному паливі, через зменшений вміст у відпрацьованих газах шкідливих речовин. На четвертому етапі визначається техніко-економічна ефективність використання сумішевого палива. При цьому планується площа для посіву

біокультури з урахуванням річної потреби підприємства в біопаливі. Собівартість біопалива, а отже і сумішевого палива, буде залежати від прийнятої технології його виробництва. Основні витрати складаються з витрат на приміщення, приладове обладнання та заробітну плату, вартості насіння і електроенергії. У свою чергу вартість насіння буде залежати від вартості посадкового матеріалу, витрат на придбання посадкової, обробної і збиральної техніки, витрат на паливо, мастильних матеріалів та заробітну плату.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Розроблені рекомендації для діагностування та виявлення причин несправності двигунів працюючих на біопаливі та його сумішах, вказані причини, проблеми та методи їх усунення.

Узагальнюючи отримані результати досліджень при роботі двигуна на біопаливі та біопаливних композиціях в порівнянні з роботою на товарному нафтовому дизельному паливі, можна зробити висновок: найкращою сумішшю, з точки зору найменшого зниження потужності і підвищення витрати палива, є біопаливна композиція B25; за екологічними показниками найкращою сумішшю є B100. На всіх досліджуваних режимах при роботі на біопаливних композиціях незначне зниження потужності (на 1,6 ... 4,8%) і підвищення годинної витрати палива (на 7 ... 11%) пояснюється меншою теплотою згоряння сумішевого палива (теплотворна здатність біопалива) компенсується великим процентним вмістом в ньому вільного кисню, який бере участь в процесі згоряння.

Література

1. Мельник В. М., Войцехівська Т. Й., Сумер А. Р. Дослідження основних техніко-експлуатаційних характеристик альтернативних видів палива для дизельних ДВЗ. Машинобудування та транспорт. 2018. № 2. С. 1-13.
2. Калетник Г.М. Біопалива: ефективність їх виробництва та споживання в АПК України: навч. посібник. К: Аграрна наука, 2010. 327 с.
3. Гулько І.В., Бурлака С.А., Єленич А.П. Оцінка екологічності нафтового палива та біопалива з використанням методології повного життєвого циклу. Вісник Хмельницького національного університету. 2018. Том 2. № 6 (267). С. 246–249.
4. Малаков О.І., Бурлака С.А., Михальова Ю.О. Математичне моделювання та основи конструювання вібраційних змішувачів. Вісник Хмельницького національного університету. 2019. № 5 (277). С. 30-33.
5. Aliev E., Pryshliak V., Yaropud V. Research of physical and mechanical properties of oilseed crops. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. 2017. T.19. №3. P. 103-108.
6. Калетник Г. М. Розвиток ринку біопалив в Україні: монографія. Київ: Аграрна наука, 2008. С. 227.
7. Грабар І.Г., Колодницька Р.В., Семенов В.Г. Біопалива на основі олій для дизельних двигунів: Монографія. Житомир: ЖДТУ, 2011. 152 с.
8. Анісімов В.Ф., Рябошапка В.Б., П'ясецький А.А. Рекомендації керівникам підрозділів АПК та інженерам сільськогосподарського виробництва щодо використання біодизельного палива в умовах сільськогосподарського виробництва. Збірник наукових праць ВНАУ. Серія: Технічні науки. Вінниця. 2014. Випуск 2 (85). С 200-203.
9. Mahmudul H. M., Hagos F. Y., Mamat R., Adam A.A., Ishak W.F.W., Alenezi R. Production characterization and performance of biodiesel as an alternative fuel in diesel engines – A review. Renewable and Sustainable Energy. Reviews. 2017. № 72. Pp 497–509.

References

1. Mel'nyk V. M., Voytsekhivs'ka T. Y., Sumer A. R. Doslidzhennya osnovnykh tekhniko-eksploatatsiynykh kharakterystyk al'ternatyvnykh vydiv palyva dlya dyzel'nykh DVZ. Mashynobuduvannya ta transport. 2018. № 2. S. 1-13.
2. Kaletnik H.M. Biopalyva: efektyvnist' yikh vyrobnytstva ta spozhyvannya v APK Ukrayiny: navch. posibnyk. K: Ahrarna nauka, 2010. 327 s.
3. Hun'ko I.V., Burlaka S.A., Yelenych A.P. Otsinka ekolohichnosti naftovoho palyva ta biopalyva z vykorystannyam metodolohiyi povnoho zhyttyevoho tsyклу. Visnyk Khmel'nyts'koho natsional'noho universytetu. 2018. Tom 2. № 6 (267). S. 246–249.
4. Malakov O.I., Burlaka S.A., Mykhal'ova YU.O. Matematychnе modelyuvannya ta osnovy konstruyuvannya vibratsiynykh zmishuvachiv. Visnyk Khmel'nyts'koho natsional'noho universytetu. 2019. № 5 (277). S. 30-33.
5. Aliev E., Pryshliak V., Yaropud V. Research of physical and mechanical properties of oilseed crops. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. 2017. T.19. №3. R. 103-108.
6. Kaletnik H. M. Rozvytok rynku biopalyv v Ukrayini: monohrafiya. Kyiv: Ahrarna nauka, 2008. S. 227.
7. Hrabar I.H., Kolodnyts'ka R.V., Semenov V.H. Biopalyva na osnovi oliy dlya dyzel'nykh dvyhuniv: Monohrafiya. Zhytomyr: ZHDTU, 2011. 152 s.
8. Anisimov V.F., Ryaboshapka V.B., P'yasets'kyi A.A. Rekomendatsiyi kerivnykam pidrozdiliv APK ta inzheneram sil's'kohospodars'koho vyrobnytstva shchodo vykorystannya biodyzel'noho palyva v umovakh sil's'kohospodars'koho vyrobnytstva. Zbirnyk naukovykh prats' VNAU. Seriya: Tekhnichni nauky. Vinnytsya. 2014. Vypusk 2 (85). S 200-203.
9. Mahmudul H. M., Hagos F. Y., Mamat R., Adam A.A., Ishak W.F.W., Alenezi R. Production characterization and performance of biodiesel as an alternative fuel in diesel engines – A review. Renewable and Sustainable Energy. Reviews. 2017. № 72. Rr 497–509.

А. О. БОЙКО

ORCID ID: 0000-0002-1784-9364

e-mail: a.boiko@uabs.sumdu.edu.ua

О. В. КУЗЬМЕНКО

ORCID ID: 0000-0001-8520-2266

e-mail: o.kuzmenko@uabs.sumdu.edu.ua

В. В. КОЙБИЧУК

ORCID ID: 0000-0002-3540-7922

e-mail: v.koibichuk@uabs.sumdu.edu.ua

О. С. КУШНЕРЬОВ

ORCID ID: 0000-0001-8253-5698

e-mail: o.kushnerov@uabs.sumdu.edu.ua

Сумський державний університет

РОЛЬ ТА МІСЦЕ УКРАЇНСЬКИХ КІБЕРГРАВЦІВ У СВІТОВОМУ КІБЕРСПОРТІ

В статті проаналізовано сучасний стан світової індустрії кіберспорту та визначені основні закономірності її розвитку протягом 2002-2020 рр. Досліджено роль кіберспорту в сучасному українському суспільстві, а також встановлено рівень його поточного розвитку. З'ясовано місце вітчизняного кіберспорту у світовому кіберсередовищі. Ідентифіковані основні проблеми розвитку українського кіберспорту та проаналізовані інструменти досягнення перспективних планів його динамічного становлення.

Ключові слова: кібергравці, кіберспорт, кібертурнір, поступальний розвиток.

ANTON O. BOIKO,

OLHA V. KUZMENKO,

VITALIA V. KOIBICHUK,

OLEKSANDR S. KUSHNEROV

Sumy State University

THE ROLE AND PLACE OF UKRAINIAN CYBER PLAYERS IN WORLD CYBERSPORT

Ukrainian e-sportsmen have long been world-renowned figures in the cyber environment, who have been successful internationally since the early 2000s, but they have no official status in their own country. Thus, only in 2020 in Ukraine, namely on September 7, e-sports is recognized as an official sport along with football, basketball, tennis, swimming and other traditional sports. This event marked a qualitatively new stage in the development of e-sports in Ukraine. The creation of the Ukrainian Professional E-Sports Association (UPEA) opens new opportunities for the development of a modern e-sports ecosystem in our country, free movement of e-athletes around the world and hopes for a synergistic effect of this process for the entire domestic economy. Therefore, in order to effectively develop e-sports, defined by the strategy of its development in Ukraine for 2020-2025, it is necessary to explore the role and place of domestic cyber players in world e-sports and to form the most operational measures to implement the proposed strategic objectives. This determined the purpose of the proposed study.

The article analyzes the current state of the world e-sports industry and determines the basis of the laws of its development during 2002-2020. The analysis is based on such indicators as the total prize fund of world cyber tournaments, the total number of cyber tournaments in the world, the total number of active cyber players in the world, the average prize fund of cyber tournaments, the average earnings of cyber players in the world. The role of e-sports in modern Ukrainian society is studied, and the level of its current development is established. The statistical indicators of the study were: prizes received by Ukrainian e-athletes, the number of Ukrainian active cyber players, the average earnings of Ukrainian cyber players, Ukraine's ranking of prizes in cyber tournaments, the share of prizes won by Ukrainian cyber players in the global prize fund, the share of Ukrainian cyber players in the world. The place of domestic e-sports in the world e-environment has been clarified. The main problems of Ukrainian e-sports development are identified and the tools for achieving long-term plans for its dynamic development are analyzed.

Key words: cyber players, e - sports, cyber tournament, progressive development.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Українські кіберспортсмени вже давно знані особистості світового масштабу в кіберсередовищі, які почали успішно виступати на міжнародному рівні ще з початку двохтисячних років, проте жодного офіційного статусу у власній державі вони не мали. Так, лише у 2020 році в Україні, а саме сьомого вересня, кіберспорт визнано офіційним видом спорту поряд з футболом, баскетболом, тенісом, плаванням та іншими традиційними видами спорту. Саме ця подія визначила якісно новий етап розвитку кіберспорту в Україні. Створення Української Професійної Кіберспортивної Асоціації (UPEA) відкриває нові можливості для розвитку сучасної екосистеми кіберспорту в нашій державі, вільного пересування кіберспортсменів світом та дозволяє сподіватись на синергетичний ефект цього процесу для всієї вітчизняної економіки. Тому з метою ефективного становлення кіберспорту, визначеного стратегією його розвитку в Україні на 2020-2025 роки, необхідно дослідити роль та місце вітчизняних кібергравців в світовому кіберспорті та сформулювати найбільш оперативні заходи по імплементації запропонованих стратегічних завдань. Це й обумовило мету запропонованого дослідження.

Формулювання цілей статті

Встановити роль та місце українських кібергравців в світовому кіберспорті та обґрунтувати пріоритетні інструменти реалізації запропонованої стратегії розвитку кіберспорту в Україні на 2020-2025

роки. Поряд зі значними успіхами конкретних українських кібергравців на міжнародному рівні, загальне розуміння місця українського кіберспорту на міжнародній арені відсутнє. Актуальності набуває формування системи удосконалення інструментів збереження та примноження існуючого потенціалу кіберспорту в Україні, а також активної реалізації стратегії розвитку кіберспорту в Україні на 2020-2025 роки.

Аналіз досліджень та публікацій

Українська наукова спільнота тільки розпочинає свої наукові дослідження присвячені особливостям організації кіберспорту в державі, механізмам його організації та забезпечення подальшого розвитку. Так, Горова К.О. та Горовий Д.А. [0] досліджують тенденції розвитку ринку кіберспорту в Україні та визначають джерела його масштабування, а також перспективи подальшої популяризації. Лазнева І. О. та Цараненко Д. І. [0] досліджують вплив кіберспорту на трансформацію ринку комп'ютерних ігор в світі. Так, авторами встановлена висока інвестиційна привабливість ринку комп'ютерних ігор та ідентифіковано неспадаючий тренд розвитку світового кіберспорту. Найбільш актуальні статті про український кіберспорт носять суто інформаційно-пізнавальний характер та публікуються на ділових електронних порталах (наприклад delo.ua [0]).

Зважаючи на більш тривалий офіційний розвиток кіберспорту в інших країнах світу, закордонні науковці приділили йому значно більшу увагу. Проте, справедливо зазначити, що кількість наукових праць з цієї тематики в світі також незначна. Так, на основі дослідження Рейтмана Д.Г., Андерсон-Коти М. Дж. та інших [0] присвяченого літературному огляду кіберспорту в світі, зауважимо, що починаючи з 2002 р. прослідковується неспадаючий тренд чисельності академічних праць кіберспортивного спрямування. Випереджаюче зростання наукових статей присвячених різним особливостям розвитку кіберспорту спостерігалось у 2012 році, коли обсяг цих публікацій збільшився більше ніж у два рази. Наступні вісім років зростала не тільки чисельність наукових праць присвячених кіберспорту, але й розширювалась кількість галузей знань в яких досліджують кіберспорт. Так, на цей час, кіберспорт вивчають в інформатиці, медіа, бізнесі, спорті, соціології, праві та когнітивних науках. Перша наукова праця присвячена кіберспорту вийшла з соціології [0]. В подальшому дослідження кіберспорту перейшло до спортивної науки [0, 0]. Найбільший обсяг досліджень присвячених кіберспорту спостерігається в медіа галузі, в якій його проблемами почали займатись з 2006 р. [0, 0, 0, 0]. В наступному 2007 р. кіберспорт відкривають для себе й науковці з галузі бізнесу [0]. Одними з останніх галузей знань, які почали досліджувати проблеми кіберспорту є інформатика [0, 0] та право [0]. Сучасний тренд у вивченні кіберспорту проявляють й когнітивні науки [0]. В цілому ж, справедливо зазначити, що загальна частка наукових робіт присвячених кіберспорту ще досить мала, проте основний вектор наукового дослідження вже сформовано.

Виклад основного матеріалу

Переходячи, безпосередньо, до аналізу закономірностей розвитку світового та українського кіберспорту, зупинимось в-першу чергу на динаміці таких показників, як загальна сума призового фонду світових кібертурнірів та загальна кількість активних кібергравців в світі (рисунок 1). Саме дані показники дозволяють сформувати загальне враження про тенденції становлення кіберспорту в світі та особливостей його розвитку. Так, чисельність спортсменів обумовлює його становлення як спорту (без спортсменів будь-якого спорту не існує), в свою чергу, загальна сума призових зумовлює привабливість конкретного спорту для аудиторії (спонсори не приходять в спорт, який не має перспектив в плані нарощення аудиторії, а отже збільшення обсягів рекламних контрактів).

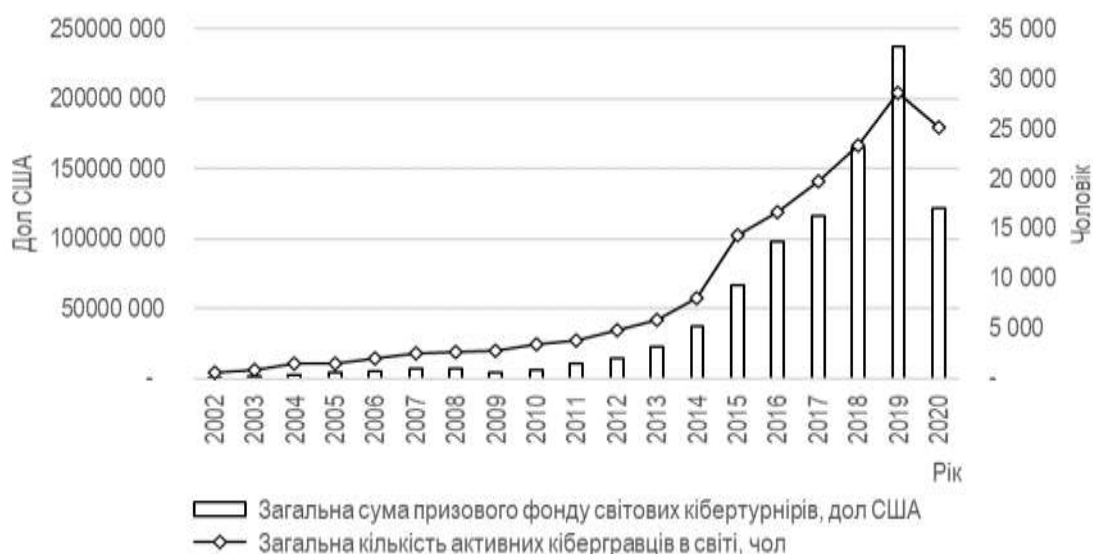


Рис. 1. Динаміка основних показників характеристики світового кіберспорту за 2002-2020 рр. (побудовано на основі [0])

Отже, на основі даних зображених на рисунку 1, справедливо зауважити, що протягом 2002-2020 рр. спостерігалось декілька аномальних змін. Так, перший злам позитивної тенденції зростання загальної

суми призового фонду світових кібертурнірів спостерігається у 2009 р., коли після критичного мінімального зростання досліджуваного показника у 2008 р (зростання порівняно до 2007 р. склало 1%), відбулось його зменшення аж на 44% (3,3 млн. дол США). Ця закономірність обумовлена світовою фінансовою кризою, яка розпочалася у 2007 р., а її негативні наслідки найбільше відчувались у 2008-2009 рр. Для світового кіберспорту це появилось у скороченні інвестиційних ресурсів та значних фінансових втрат основних бізнес партнерів. У той же час, зауважимо, що кількість кіберспортсменів в цей період постійно збільшувалась, так протягом 2007-2009 рр. темп приросту даного показника склав в середньому 5%.

Кардинально інша тенденція спостерігається протягом наступного зламу позитивної динаміки розвитку кіберспорту у 2019-2020 рр. Так, в наслідок пандемії Covid-19 майже в двічі зменшився обсяг призового фонду світових кібертурнірів та на 12% скоротилась чисельність кіберспортсменів. Якщо скорочення призового фонду кібертурнірів пояснюється суто економічною складовою, а саме фінансовою неспроможністю інвесторів підтримувати дані заходи, то негативна тенденція з кількістю активних кіберспортсменів пов'язано з фізичними можливостями людини, яка в період пандемії не спроможна здійснювати активну діяльність. Проте, якщо вести розмову про загальні тенденції розвитку світового кіберспорту, то вбудовується чіткий тренд до його активного розвитку з більше ніж 40% щорічним зростанням середнього призового фонду кібертурнірів та 30% примноженням кількості кіберспортсменів.

Фокусуючись на дослідженні показників характеристики світових кібертурнірів (рисунок 2), зауважимо, що загальна кількість кібертурнірів починаючи з 2002 р. (80 турнірів) неодмінно зростала, досягнувши у 2015 р. значення у 5258 одиниць. Наступні п'ять років (2016-2020 рр.) спостерігалась коливальна тенденція чисельності турнірів, проте їх кількість не зменшувалась до рівня у 4690 одиниць. У той же час, починаючи з 2012 р. та до 2019 р. середній призовий фонд кібертурнірів неодмінно зростав. Найсуттєвіше зростання, більше ніж у два рази (на 60%), припадає на 2016 р., коли середній обсяг призового фонду одного кібертурніру складав більше ніж 20 тис. дол США.

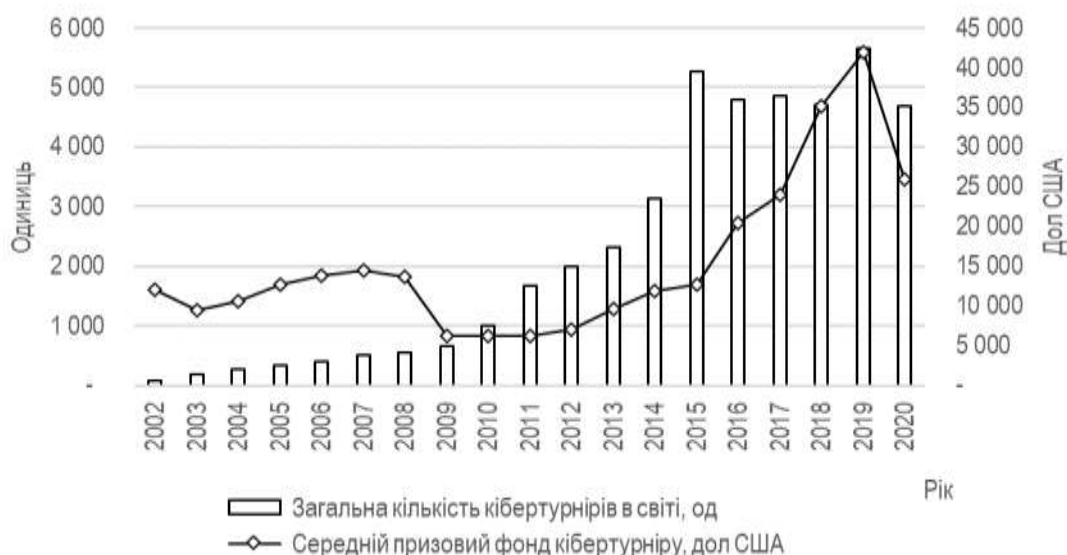


Рис.2. Динаміка основних показників характеристики світових кібертурнірів за 2002-2020 рр. (побудовано на основі [0]).

Таким чином, справедливо зробити висновок, що протягом 2015-2020 рр. кількість кіберспортивних турнірів знайшла своє стабільне значення в проміжку між 6700-5700 одиниць, а середнє значення призових, якщо б не пандемія Covid-19, неодмінно збільшувалось. Зазначена закономірність свідчить про збільшення якості турнірів та набрання тенденції стабілізації кількості турнірів з підвищенням їх якості та обсягів призових фондів. Це є неодмінно позитивною тенденцією, яка сприяє покращенню якості змагань, підвищенню рівня їх престижності та, відповідно, зростанню професіоналізму учасників.

Переходячи до аналізу українських кіберспортсменів та їх місця у світовому кіберспорті, зупинимось в першу чергу, на таких показниках, як кількість українських кібергравців та їх частка у світовому масштабі (рисунок 3). Так, якщо чисельність кіберспортсменів демонструє поширення даного виду спорту в Україні та перспектив його популяризації, то частка українських кібергравців у світовому масштабі визначає саме роль останніх в світовому кіберспорті.

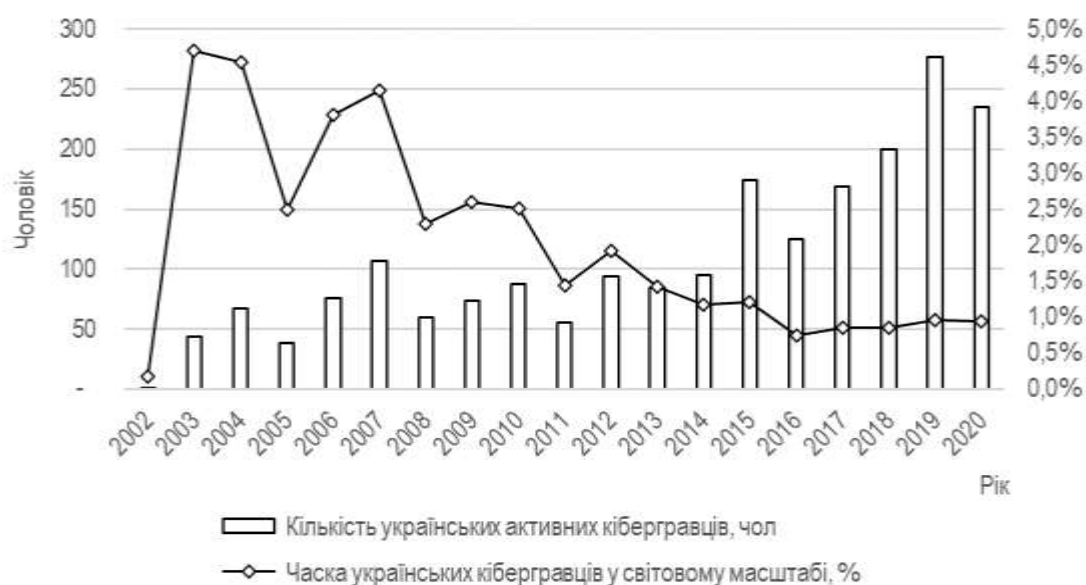


Рис.3. Динаміка основних показників характеристики українських кіберспортсменів за 2002-2020 рр. (побудовано на основі [0])

Таким чином, визначаючи тренд характеристики кількості українських кібергравців протягом 2002-2020 рр. справедливо зауважити про його циклічність. Так, кількість українських кіберспортсменів, що приймали участь в міжнародних змаганнях, кожний наступний рік змінювалась, то зростаючи, то скорочуючись. Про певну стабільність високопрофесійних українських кіберспортсменів можливо говорити тільки в продовж останніх трьох років (2018-2020 рр.), коли їх чисельність перевищувала 200 осіб. Проте, якщо розглядати дані цифри в рамках світового кіберспорту, то можна говорити про критичну ситуацію, оскільки частка українських кіберспортсменів у світовому масштабі не перевищувала 5%. За останні вісім років чисельність вітчизняних кіберспортсменів скоротилась з 2% до 1%. Від світового масштабу кібергравців. Це свідчить про значне відставання розвитку кіберспорту в Україні порівняно до інших держав, де темп приросту активних кіберспортсменів, що приймають участь в міжнародних турнірах, випереджає кожен попередній рік.

Переходячи до якісної характеристики українських кіберспортсменів відзначимо певні позитивні зрушення. Починаючи з 2010 року, за виключенням 2019 р., середній заробіток українських кіберспортсменів перевищував відповідний показник в світі (рисунок 4).

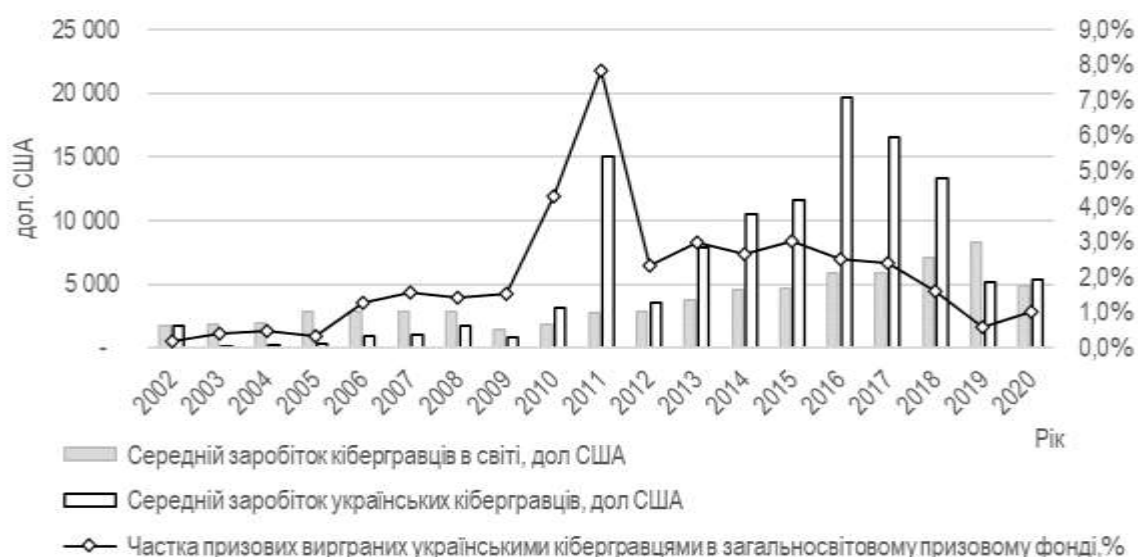


Рис.4. Динаміка основних показників характеристики українських кіберспортсменів за 2002-2020 рр. (побудовано на основі [0])

В середньому за десять років українські кіберспортсмени заробляли на 144% більше ніж кібергравці в світі, тобто рівень вітчизняних кіберспортсменів був значно вищим від середньосвітового. Проте необхідно пам'ятати про незначну чисельність вітчизняних кіберспортсменів. Підтвердженням цьому виступає й показник відношення призових виграних вітчизняними кіберспортсменами до загальносвітового призового фонду. Якщо, аналізувати місце українських кібергравців в світовому кіберспорті на основі відношення призових виграних вітчизняними кіберспортсменами до загальносвітового призового фонду, то

необхідно зазначити, що за виключенням 2010 р. та 2011 р., даний показник не перевищував 4%. Проведений аналіз свідчить про відсутність ефекту масштабу в українському кіберспорті, наша держава має висококласних кіберспортсменів, які демонструють добрі результати на світовій кіберарені, проте чисельність даних гравців мінімальна.

Завершальним етапом дослідження ролі та місце українських кібергравців в світовому кіберспорті є аналіз рейтингового місця України за призовими отриманими в світових кібертурнірах, а також абсолютне значення призових отриманих вітчизняними кіберспортсменами. Отже, справедливо зауважити, що в останні вісім років (2012-2019 рр.) Україна швидко втрачає рейтингові позиції за обсягом призових отриманих у світових кібертурнірах. Так, якщо у 2011 р. наша держава за досліджуваним показником посідала третє рейтингове місце, то в 2019 вже 28 місце. Певне покращення рейтингової позиції України прослідковується в наступному 2020 р. (19 рейтингове місце), проте на фоні скорочення абсолютного значення призових отриманих українськими кіберспортсменами. Ці зміни пояснюються більше наслідками пандемії та, відповідно, ще інтенсивнішого скорочення кіберспортсменів інших держав, які виступають на міжнародних змаганнях та, які не мали змоги виїхати з держави.

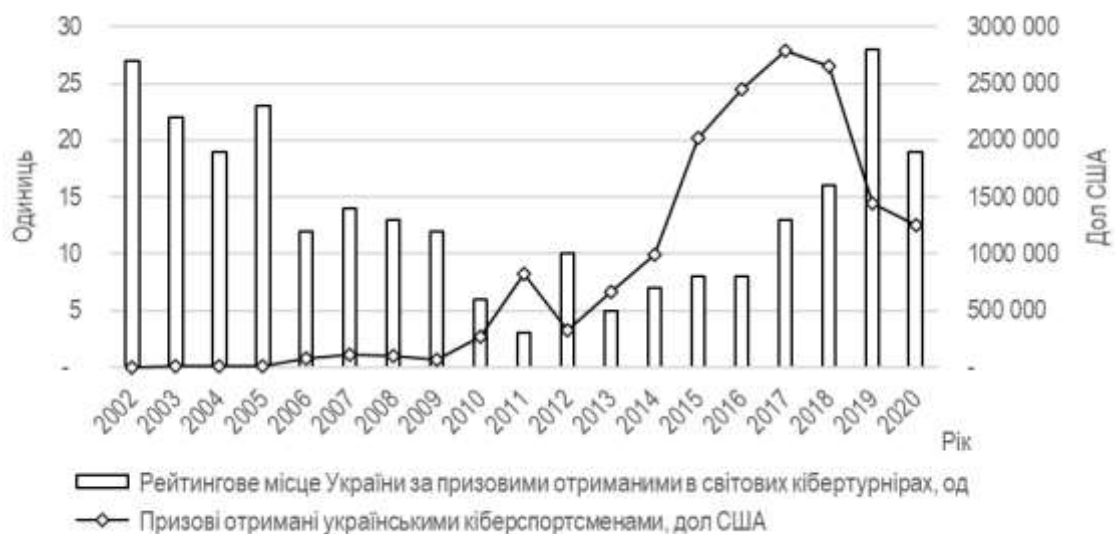


Рис.5. Динаміка основних показників характеристики місця українського кіберспорту в світі 2002-2020 рр. (побудовано на основі [0])

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Таким чином, справедливо зробити висновок, що вітчизняний кіберспорт в 2020 р. почав своє офіційне існування на міжнародній арені. В цілому ж, можна відзначити, що розвиток українського кіберспорту бере свій початок з 2002 р. Саме в цей рік вітчизняний кіберспортсмен вперше прийняв участь у офіційних міжнародних змаганнях. За цей період (2002-2020 рр.) українські кіберспортсмени займали різні місця на світовій арені, досягнувши найкращих результатів у 2011 р. В деяких дисциплінах українські команди тривалий час утримують лідируючі позиції, проте в деяких взагалі відсутні. Протягом 2017-2020 рр. місце вітчизняних кіберспортсменів у світовому кіберпросторі значно погіршилось. Так, після семирічного (2010-2016 рр.) знаходження в десятці найкращих країн за обсягом призових коштів здобутих на кібертурнірах, в останні три роки українські кіберспортсмени знаходяться поза межами п'ятнадцяти найкращих країн за даним показником. Проте мінімальна увага кіберспорту на сьогодні недопустима, оскільки це один з найбільш прибуткових та швидкозростаючих інвестиційний канал, який здійснює вплив на численні економічні процеси в державі.

Виходячи з вище зазначеного та прийнятої стратегії розвитку кіберспорту в Україні на 2020-2025 роки в найближчі три роки основними завданнями для держави, саморегульованих організацій та інших суб'єктів ринку комп'ютерних ігор в Україні буде наступне.

Активна робота щодо популяризації кіберспорту на радіо, телебаченні та в інтернет-просторі. Виходячи з того, що для багатьох батьків кіберспорт асоціюється з комп'ютерними іграми та, як результат, погіршенням здоров'я дітей в результаті адинамії, то активну просвітницьку діяльність необхідно проводити й за допомогою як традиційних каналів зв'язку: телебачення та радіо, так й інтернету. Можливо необхідно запустити й цикл невеликий промо-роликів із залученням діючих кіберспортсменів, менеджерів кіберкоманд, лікарів та інших зацікавлених осіб, які спростовуватимуть хибну суспільну думку про кіберспортсменів та їх ритм життя.

Створення сприятливого інвестиційного клімату для залучення закордонних та вітчизняних інвестицій в кіберспорт. Безумовно, найкращий варіант зміни сучасного інвестиційного клімату, це зменшення податкового навантаження на інвесторів або встановлення пільгового періоду оподаткування на етапі розвитку інвестиційного проекту, проте й достатньою умовою активізації вхідного грошового потоку в

кіберспорт буде спрощення оформлення дозвільних документів на усіх рівнях та мораторій на перевірки бізнесу пов'язаного з кіберспортом державними органами терміном хоча б на три роки.

Збільшення кількості активних глядачів кібертурнірів. Реалізація даного завдання можлива за рахунок активного рекламування існуючих здобутків українських кіберспортсменів; промоції найбільш успішних спортсменів, як гравців та особистостей, які соціально відповідальні до суспільства; виділення ефірного часу на національних телеканалах для трансляції найбільш популярних кібертурнірів. Це призведе до наступного завдання розвитку кіберспорту в Україні, а саме збільшення кількості кіберспортсменів та подальше об'єднання їх у команди міжнародного рівня, а саме головне підвищенні зацікавленості дітей в кіберспорті та трансформації суспільної думки.

Важливою умовою появи висококласних українських гравців є професійні комп'ютерні клуби для тренувань та організація в Україні тренувальних таборів на тривалий проміжок часу. Не менш важливим аспектом розвитку кіберспорту в Україні є й організація в нашій державі різних ліг кіберспорту (наприклад, аматорська ліга, шкільна ліга, студентська ліга, професійна ліга з декількома дивізіонами), а також міжнародних кіберспортивних турнірів. Тільки за умови розгалуженої системи турнірів та численної кількості змагань, вітчизняні кібергравці підвищуватимуть власний рівень гри та ставатимуть більш конкурентоспроможними на міжнародній арені. В свою чергу, недоцільно обмежуватись тільки організацією кібертурнірів на національному рівні, проведення в Україні змагань міжнародного рівня допоможе більшій кількості вітчизняних кіберспортсменів, за умови їх фінансової обмеженості, зрозуміти свій рівень гри порівняно до світових кіберспортсменів та сформувати індивідуальну траєкторію подальшого розвитку.

Базовим, на наш погляд, є також завдання організації в провідних ВНЗ України освітніх програми підготовки бакалаврів та магістрів з кіберспорту. Саме високоякісна освіта, що буде базуватись на європейському та вітчизняному практичному досвіді, дозволить сформувати першочергову ланку побудови ефективної екосистеми кіберспорту в Україні у вигляді підготовлених висококваліфікованих фахівців різного профілю. Це дозволить забезпечення зростаючого попиту в кіберсередовищі на висококваліфікованих робітників та не стримувати активний розвиток вітчизняного кіберспорту.

Дослідження в наступних наукових публікаціях будуть спрямовані на побудову моделей прогнозних показників розвитку кіберспорту в світі та Україні, а також корегування, в залежності від отриманих прогнозних значень, інструментів досягнення стратегічних цілей розвитку кіберспорту на 2020-2024 рр.

Література

1. Bryce, J., & Rutter, J. Killing like a girl: Gendered gaming and girl gamers' visibility. Computer Games and Digital Cultures Conference Proceedings DIGRA 2002, 1. Retrieved from <http://www.digra.org/digital-library/publications/killing-like-a-girl-gendered-gaming-and-girl-gamers-visibility/>
2. Esports Earnings <https://www.esportsearnings.com/history/2020/countries>
3. Hemphill, D. (2005). Cybersport. Journal of the Philosophy of Sport, 32, 195–207. doi:10.1080/00948705.2005.9714682
4. Hutchins, B. (2008). Signs of meta-change in second modernity: The growth of e-sport and the World Cyber Games. New Media & Society, 10, 851–869. doi:10.1177/1461444808096248
5. Mora, P., & He'as, S. (2018). From videogamer to e-sportsman: Toward a growing professionalism of world-class players. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/265047617_FROM_VIDEOGAMER_TO_E-SPORTSMAN_TOWARD_A_GROWING_PROFESSIONALISM_OF_WORLDC-CLASS_PLAYERS
6. Rambusch, J. (2011). Mind games extended: Understanding gameplay as situated activity (Doctoral thesis). Linköping University, Sweden. Retrieved from <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:375941/FULLTEXT01.pdf>se:his:diva-1463
7. Reeves, S., Brown, B., & Laurier, E. (2009). Experts at play: Understanding skilled expertise. Games and Culture, 4, 205–227. doi:10.1177/1555412009339730
8. Reitman J. G., Anderson-Coto M. J., Wu M., Lee, J. S., & Steinkuehler, C. (2020). Esports Research: A Literature Review. Games and Culture, 15(1), 32–50. <https://doi.org/10.1177/1555412019840892>
9. Thiborg, J. (2009). eSport and governing bodies—An outline for a research project and preliminary results. Kultur-Natur Conference. Retrieved from <http://muep.mau.se/handle/2043/10746>
10. Wagner, M. (2006). On the scientific relevance of eSports. Proceedings of the 2006
11. Weber, B., & Mateas, M. (2009). A data mining approach to strategy prediction. 2009 IEEE Symposium on Computational Intelligence and Games. doi:10.1109/CIG.2009.5286483
12. Weiss, T. (2008). Cultural influences on hedonic adoption behavior: Propositions regarding the adoption of competitive video and computer online gaming. DIGIT 2008 Proceedings, 7. Retrieved from <https://aisel.aisnet.org/digit2008/7>
13. Weiss, T. (2011). Fulfilling the needs of eSports consumers: A uses and gratifications perspective. BLED 2011 Proceedings, 30. Retrieved from <http://aisel.aisnet.org/ble2011/30>
14. Zang, L., Wu, J., & Li, Y. (2007). Research on current situation of E-sports in Urumqi, Xinjiang. International Journal of Sports Science and Engineering, 2, 57–61. Retrieved from <http://www.worldacademicunion.com/journal/SSCI/SSCIvol02no01paper08.pdf>

15. Горова К.О., Горовий Д.А., Кіпоренко О.В. Основні тенденції розвитку ринку кіберспорту. Проблеми і перспективи розвитку підприємництва. 2016. № 4 (2). С. 51–55. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/pirpr_2016_4%282%29__12
16. Діловий інтернет портал <https://delo.ua/>
17. Лазнева І. О., Цараненко Д. І. Кіберспорт та його вплив на зміну структури світового ринку комп'ютерних ігор. Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія : Міжнародні економічні відносини та світове господарство. 2018. Вип. 22(2). С. 63–67. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvuumevcg_2018_22\(2\)__17](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvuumevcg_2018_22(2)__17)

Preferences

1. Bryce, J., & Rutter, J. Killing like a girl: Gendered gaming and girl gamers' visibility. Computer Games and Digital Cultures Conference Proceedings DIGRA 2002, 1. Retrieved from <http://www.digra.org/digital-library/publications/killing-like-a-girl-gendered-gaming-and-girl-gamers-visibility/>
2. Esports Earnings <https://www.esportsearnings.com/history/2020/countries>
3. Hemphill, D. (2005). Cybersport. Journal of the Philosophy of Sport, 32, 195–207. doi:10.1080/00948705.2005.9714682
4. Hutchins, B. (2008). Signs of meta-change in second modernity: The growth of e-sport and the World Cyber Games. New Media & Society, 10, 851–869. doi:10.1177/1461444808096248
5. Mora, P., & He'as, S. (2018). From videogamer to e-sportsman: Toward a growing professionalism of world-class players. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/265047617_FROM_VIDEOGAMER_TO_ESPORTSMAN_TOWARD_A_GROWING_PROFESSIONALISM_OF_WORLD-CLASS_PLAYERS
6. Rambusch, J. (2011). Mind games extended: Understanding gameplay as situated activity (Doctoral thesis). Linköping University, Sweden. Retrieved from <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:375941/FULLTEXT01.pdf>se:his:diva-1463
7. Reeves, S., Brown, B., & Laurier, E. (2009). Experts at play: Understanding skilled expertise. Games and Culture, 4, 205–227. doi:10.1177/1555412009339730
8. Reitman J. G., Anderson-Coto M. J., Wu M., Lee, J. S., & Steinkuehler, C. (2020). Esports Research: A Literature Review. Games and Culture, 15(1), 32–50. <https://doi.org/10.1177/1555412019840892>
9. Thiborg, J. (2009). eSport and governing bodies—An outline for a research project and preliminary results. Kultur-Natur Conference. Retrieved from <http://muep.mau.se/handle/2043/10746>
10. Wagner, M. (2006). On the scientific relevance of eSports. Proceedings of the 2006
11. Weber, B., & Mateas, M. (2009). A data mining approach to strategy prediction. 2009 IEEE Symposium on Computational Intelligence and Games. doi:10.1109/CIG.2009.5286483
12. Weiss, T. (2008). Cultural influences on hedonic adoption behavior: Propositions regarding the adoption of competitive video and computer online gaming. DIGIT 2008 Proceedings, 7. Retrieved from <https://aisel.aisnet.org/digit2008/7>
13. Weiss, T. (2011). Fulfilling the needs of eSports consumers: A uses and gratifications perspective. BLED 2011 Proceedings, 30. Retrieved from <http://aisel.aisnet.org/ble2011/30>
14. Zang, L., Wu, J., & Li, Y. (2007). Research on current situation of E-sports in Urumqi, Xinjiang. International Journal of Sports Science and Engineering, 2, 57–61. Retrieved from <http://www.worldacademicunion.com/journal/SSCI/SSCIvol02no01paper08.pdf>
15. Gorova K.O., Gorovyj D.A., Kiporenko O.V. Osnovni tendenciyi rozvy'tku ry'нку kibersportu. Problemy' i perspekty'vy' rozvy'tku pidpry'yemny'cztva. 2016. # 4 (2). S. 51–55. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/pirpr_2016_4%282%29__12
16. Dilovy'j internet portal <https://delo.ua/>
17. Lazneva I. O., Czarantenko D. I. Kibersport ta jogo vply'v na zminu struktury' svitovogo ry'нку komp'yuterny'x igor. Naukovy'j visny'k Uzhgorod's'kogo nacional'nogo universy'tetu. Seriya : Mizhnarodni ekonomichni vidnosy'ny' ta svitove gospodarstvo. 2018. Vy'p. 22(2). S. 63–67. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvuumevcg_2018_22\(2\)__17](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvuumevcg_2018_22(2)__17)

J. POBEREZHETS

e-mail: podolyan@vsau.vin.ua

I. KUPCHUK

e-mail: kupchuk.igor@i.ua

V. YAROPUD

e-mail: yaropud77@gmail.com

S. BURLAKA

e-mail: ipserhiy@gmail.com

Vinnitsa National Agrarian University

DIGESTIBILITY OF NUTRIENTS AND BROILER CHICKEN PRODUCTIVITY UNDER THE ACTION OF PROBIOTIC ENTERO-ACTIVE

The probiotic "Entero-active", due to the formation of lactic and acetic acids, creates an unfavourable pH environment for pathogenic microflora, stimulates the growth of intestinal normal flora, which has a positive effect on the composition of the microbiocenosis. In addition, probiotic microorganisms produce biologically active substances, enzymes and amino acids. The aim of the research was to investigate the digestion of feed nutrients by broiler chickens fed by the probiotic supplement Entero-active. Optimal doses of probiotic feeding are determined on the basis of obtained results. The influence of probiotic supplement on digestibility of feed nutrients, availability of amino acids and retention of mineral elements of mixed fodder is established. Tendencies of changes in productivity and safety of poultry under the effect of probiotic are revealed.

The broiler chickens fed by additive Entero-active have increased the digestibility of dry matter by 2.4% ($P < 0.01$), protein by 3.4% ($P < 0.001$), fiber by 31.1% ($P < 0.001$) and NFE by 4.0% ($P < 0.001$) comparing with the control group.

According to our research, the application of probiotic supplement Entero-active for the broilers' feeding increases the availability of essential amino acids, i.e. lysine by 4.8%, histidine by 3.8%, arginine by 4.9%, threonine by 7.5%, valine by 4.1%, methionine by 2.6%, isoleucine by 7.6% compared with the control indicator. It was found the absorption of Ca, P, Mg, Mn, and increases respectively, by 23.5%, 6.9%, 12.2%, and by 33.1% under the action of probiotics.

The Entero-active probiotic application in the diet of broiler chickens increases the pre-slaughter live weight by 16.7%, the weight of ungutted carcasses by 15.0% and gutted carcasses by 17.3%, feed costs per 1 kg increase by 12.9%, relative to control.

Our studies have made it possible to identify certain patterns in the digestion of nutrients by poultry, depending on the different doses of probiotic Entero-active used in their diets.

Keywords: broiler chickens, probiotic, digestibility, amino acids, mineral elements, slaughter qualities.

Ю. М. ПОБЕРЕЖЕЦЬ,

І. М. КУПЧУК,

В. М. ЯРОПУД,

С. А. БУРЛАКА

Вінницький національний аграрний університет

ЗАТРАВЛЕННЯ ПОЖИВНИХ РЕЧОВИН ТА ПРОДУКТИВНІСТЬ КУРЧАТ БРОЙЛЕРА ПІД ДІЄЮ ПРОБІОТИКУ ЕНТЕРОАКТИВ

Пробіотик «Ентеро-актив», завдяки утворенню молочної та оцтової кислот, створює несприятливе рН-середовище для патогенної мікрофлори, стимулює ріст нормальної флори кишечника, що позитивно впливає на склад мікробіоценозу. Крім того, пробіотичні мікроорганізми виробляють біологічно активні речовини, ферменти та амінокислоти. Метою дослідження було дослідити перетравлення поживних речовин корму курчат-бройлерів, яких годували пробіотичною добавкою «Ентеро-актив». На основі отриманих результатів визначаються оптимальні дози пробіотичного годування. Встановлено вплив пробіотичної добавки на засвоюваність поживних речовин корму, наявність амінокислот та збереження мінеральних елементів комбікорму. Виявлено тенденції зміни продуктивності та збереженості птиці під дією пробіотика.

Кури-бройлери, яких годували добавкою «Ентеро-актив», підвищили засвоюваність сухої речовини на 2,4% ($P < 0,01$), білка на 3,4% ($P < 0,001$), клітковини на 31,1% ($P < 0,001$) і NFE на 4,0% ($P < 0,001$) у порівнянні з контрольною групою.

Згідно з нашими дослідженнями, застосування пробіотичної добавки «Ентеро-актив» для годування бройлерів підвищує доступність незамінних амінокислот, тобто лізину на 4,8%, гістидину на 3,8%, аргініну на 4,9%, треоніну на 7,5%, валіну на 4,1%. %, метіонін на 2,6%, ізолейцин на 7,6% порівняно з контрольним показником. Встановлено, що всмоктування Ca, P, Mg, Mn збільшується відповідно на 23,5%, 6,9%, 12,2% і на 33,1% під дією пробіотиків.

Застосування Ентероактивного пробіотика в раціоні курчат-бройлерів збільшує передзайну живу масу на 16,7%, масу непотрошених туш на 15,0% та потрошених на 17,3%, витрати корму на 1 кг збільшуються на 12,9% порівняно з контролем.

Наші дослідження дозволили виявити певні закономірності перетравлення поживних речовин домашньою птицею залежно від різних доз пробіотика «Ентеро-актив», які використовуються в їх раціоні.

Ключові слова: курчат-бройлери, пробіотик, засвоюваність, амінокислоти, мінеральні елементи, забійні якості.

Introduction

Nowadays, there is a problem of offering competitive, environmentally friendly and cost-effective products in many world countries. It is known that antibiotics are widely used to increase the growth of farm animals often used as growth stimulator. However, this approach has got a number of disadvantages, as the antibiotics accumulate

in livestock products developing stable microflora, which increases their efficiency, reducing the balance of microorganisms in the gastrointestinal tract leading to antibiotic application control in Europe (Barrow P. A., 1992; Mookiah, S. *et al.*, 2014; Shtainer T. *et al.*, 2010; Podolian Yu. M., 2016; Chudak R.A. *et al.*, 2019).

Analysis of research and publications

Numerous feed additives have been used in animal diets in recent years. However, they do not always have a positive effect on product quality. Nowadays, this issue is important because of advanced technologies introduction for new feeds application, the application of chemical and microbiological synthesis products in animal nutrition (Dunkley C., 2008; Alavi S.A. *et al.*, 2012; Sobolev O. I. *et al.*, 2019).

Probiotics have become widespread among feed additives of natural origin. They create an unfavorable pH environment for pathogenic and opportunistic microflora, stimulate the growth and biological activity of normal intestinal microflora having a positive effect on the composition of the microbiocenosis, probiotic microorganisms also produce biologically active substances and amino acids (Xiaolu Liu, 2012; Park J. H., 2014; Podolian Yu. N., 2017; Salim H.M. *et al.*, 2013; Chudak R. A. *et al.*, 2020).

Digestibility of nutrients depends on the species and the animal age, chemical composition, preparation methods for feeding, feeding level and other factors. It is known that the hydrolysis of feed nutrients to monomers is carried out using enzymes and acids, and symbiotic microorganisms that are in the digestive tract (Chudak R.A. *et al.*, 2020.).

Formulation of goals

The aim of the research was to investigate the digestion of feed nutrients by broiler chickens fed by the probiotic supplement Entero-active. This probiotic supplement contains lactic acid bacteria of the *Lactobacillus* and *Enterococcus* genus. This drug was developed at PE BTU-center (Ladyzhyn, Vinnytsia region).

Material and methods

The experiment was carried out at the research farm of Vinnytsia National Agrarian University. The experiment lasted for 42 days. Four groups of one-day-old broiler chickens of the Ross-308 cross were selected by the method of analogous groups, each group contained 50 heads (Kozyr V. S. *et al.*, 2002).

Broilers were kept in one tier group cages considering all zoohygienic requirements. The control group consumed a basic diet (BD), i.e., complete feeds. The experimental groups were additionally fed by different doses of a probiotic drug (Table 1).

The amount of digestible nutrients, nitrogen balance and retention of mineral elements was determined by the difference between the nutrients, nitrogen or minerals intake with feed and their excretion with manure according to generally accepted methods (Ibatullin I. I. *et al.*, 2017).

Table 1.

Feeding patterns

Group	Duration, days	Feeding characteristics		
		Age, days		
		1 - 10	11 - 28	29 - 42
Control	42	BD (complete feeds)		
Experimental II	42	BD+0.062% Entero-active	BD +0.025% Entero-active	BD +0.0125 % Entero-active
Experimental III	42	BD +0.125% Entero-active	BD +0.05% Entero-active	BD +0.025% Entero-active
Experimental IV	42	BD +0.25% Entero-active	BD +0.1% Entero-active	BD +0.05% Entero-active

Control slaughter of poultry was performed to research hematological parameters at the end of the experiment. Morphological parameters of blood were determined at Vinnytsia Veterinary Hospital. Hematological parameters were researched according to appropriate methods (Levchenko V.I. *et al.*, 2002).

Biometric data processing was performed on a PC according to M.O. Plokhinskyi, 1969. The results of the average values were considered statistically significant at * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$.

Results and Discussion

According to the research results, the highest digestibility of protein and nitrogen-free extractives (NFE) was observed when the average dose of the additive were additionally fed; they were higher by 3.4% and 4.0% ($P < 0.001$) than the control one. The broilers of the II and IV groups had increased the digestibility of protein, although a probable difference with the control was not found (Fig. 1).

It is advisable to pay attention to the dry matter and fiber digestibility by broiler chicken dependence on different doses of Entero-active probiotic supplement comparing them with the control poultry group.

According to the research results, feeding the probiotic maximum dose increased the dry matter digestibility by 2.3% ($P < 0.01$), the average dose increased the dry matter digestibility by 2.4% ($P < 0.01$).

The maximum dose of the additive caused the highest digestibility of fiber by broilers (31.1% ($P < 0.001$)) relative to the control group. However, in groups II and III the digestibility of fiber was higher than in the control by 20.2% ($P < 0.01$) and 16.0 % ($P < 0.001$), respectively.

Group II consumed the minimum dose of probiotic drug; they outperformed by NFE digestibility the control group by 1.5% ($P < 0.05$).

The consumption of probiotics by group IV increased the NFE digestibility by 1.3% ($P < 0.01$). However, it caused decrease of fat digestibility by 1.3% ($P < 0.01$).

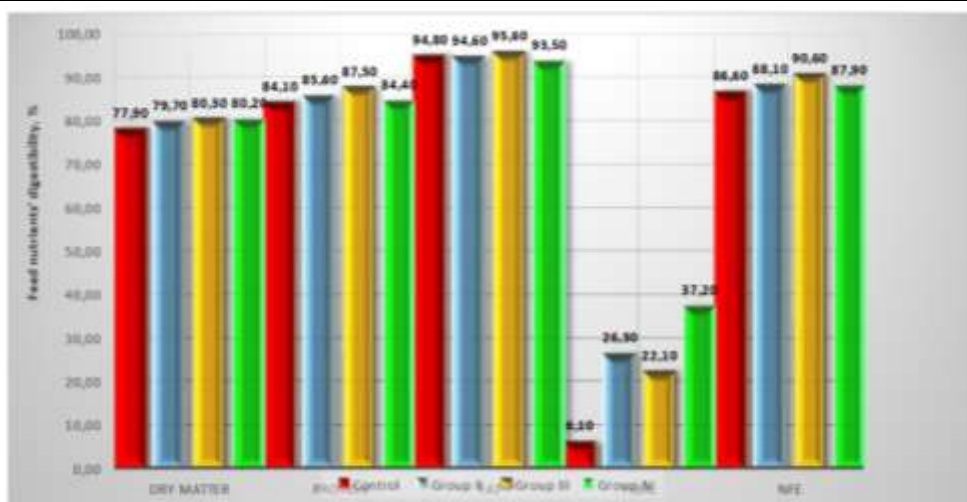


Fig. 1 Coefficients of feed nutrients digestibility

According to research data, the probiotics application for broiler chicken feeding has a positive effect on the amino acids' digestibility (Fig. 2).

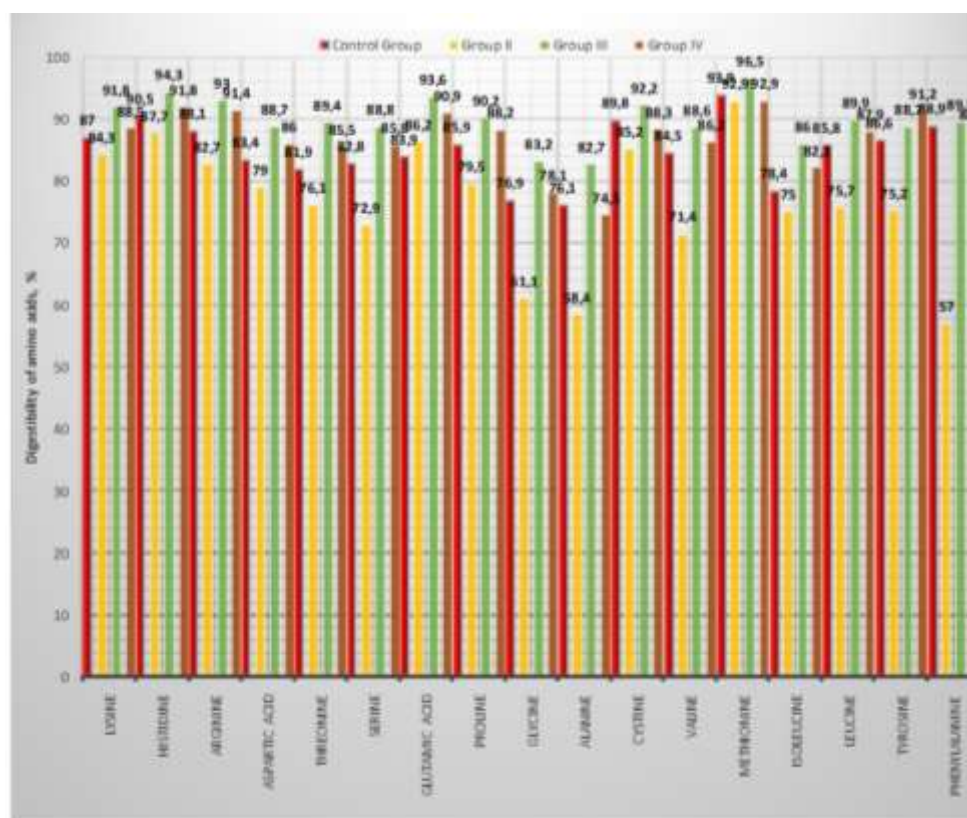


Fig. 2 Digestibility of amino acids by broiler chickens, %

According to the research results, the broiler chickens fed by the average dose of the supplement have the highest digestibility of amino acids. Thus, the digestibility of such essential amino acids as lysine, histidine, arginine, valine, methionine, isoleucine and leucine in group III significantly exceeds the control analogues, respectively, by 4.8%, 3.8%, 4.9%, 4.1%, 2.6%, 7.6% and 4.1% ($P < 0.001$). In group II the absorption of phenylalanine was by 31.9% ($P < 0.001$) less than the control sample.

It should be noted that feeding by the minimum dose of probiotics causes a decrease in the coefficients of digestion of amino acids compared to control values. The highest digestibility of aspartic and glutamic acids was found in the group III, it was higher by 5.3% and 9.7% ($P < 0.001$ and $P < 0.001$), respectively, compared with the control.

It was found that the digestibility of threonine was by 7.5% ($P < 0.001$), serine was by 6.0% ($P < 0.001$), proline was by 4.3% ($P < 0.001$), glycine was by 6.3% ($P < 0.001$), alanine was by 6.6% ($P < 0.001$) and cystine was by 3.1% ($P < 0.001$) more in group III than in the control one. The highest content of tyrosine is observed in group IV, it was higher by 4.6% ($P < 0.01$).

The mineral elements play a vital role in metabolism, because the organic matter of feed is better used by

animals in the presence of sufficient amounts of both macro-and micronutrients. Diets imbalance in terms of mineral content leads to metabolic disorders in animals, as well as a decrease in natural immunity.

Therefore, an important aspect of our research was to study the retention of mineral elements in the feed of broiler chickens (Table 2).

Table 2.

Retention of mineral feed elements, %

Group	Ca	P	Mg	Mn
Control I	17.9 ± 1.53	60.8 ± 1.42	31.8 ± 1.14	7.2 ± 2.45
Experimental II	39.9 ± 2.82***	67.7 ± 1.95*	32.7 ± 3.95	31.8 ± 3.29**
Experimental III	40.1 ± 0.91***	66.8 ± 1.02*	40.8 ± 0.68***	26.0 ± 1.13***
Experimental IV	41.4 ± 1.49***	66.4 ± 2.18	44.0 ± 1.69**	40.3 ± 1.36***

It was found that poultry additionally fed by feed additive had an increased retention of Ca and Mn, respectively, in group II by 22.0% and 24.6% ($P < 0.001$ and $P < 0.01$), in group III by 22.2% and 18.8% ($P < 0.001$ and $P < 0.001$) and in group IV by 23.5 % and 33.1% ($P < 0.001$ and $P < 0.001$) compared with the control group.

The animal growth phosphorus need is the sum of the absorbed phosphorus accumulated in soft tissues and phosphorus deposited in the bones. A significant difference in the phosphorus absorption increase was observed in experimental groups II and III by 6.9% and 6.0% ($P < 0.05$), respectively.

The probiotic has a positive effect on Mg content, it was by 9.0% ($P < 0.001$) and by 12.2% ($P < 0.01$) more in group III and IV than in the control. Lack of this mineral element in the poultry diet leads to increased excitability of the nervous system, ataxia and seizures.

It was found that group II consumed 189.4 kg of feed, it is by 1.5% less than the control group. However, feed consumption per 1 kg of growth decreased by 3.1% in group II, by 7.7% in group III and by 12.9% in group IV (Fig. 3).

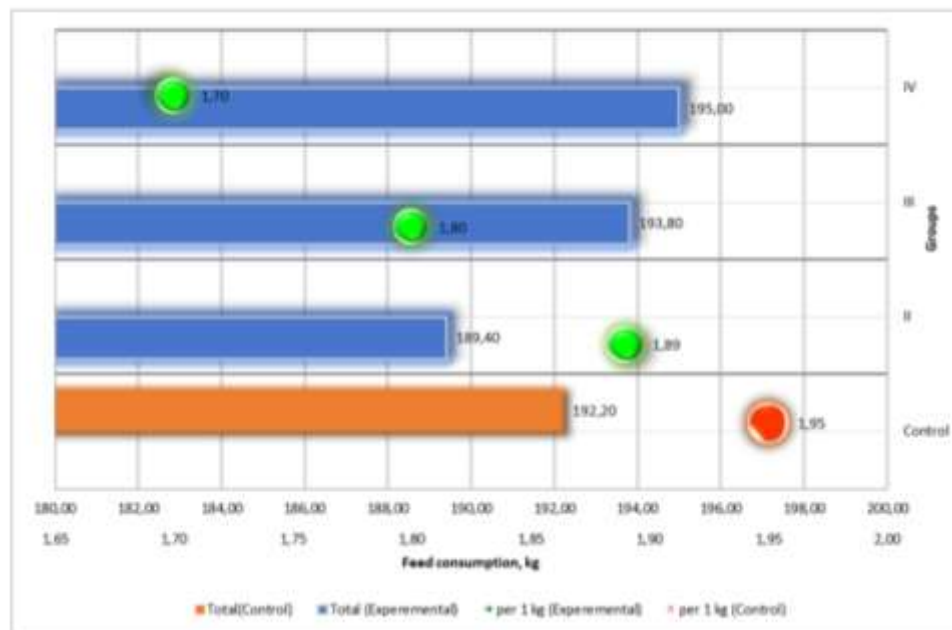


Fig. 3 Feed costs and returns of broilers, kg

It should be noted that poultry additionally fed by Entero-active probiotic drug have increased both feed conversion feed payment. However, feed costs per 1 kg of growth were lower than in the control group.

According to the research results, the probiotic additive had a positive effect on the slaughter indicators of broiler chickens (Table 3).

Poultry from groups III and IV had a significant advantage by 9.3% ($P < 0.001$) and 16.7% ($P < 0.01$) considering the pre-slaughter live weight.

When broilers consumed the probiotic drug, the weight of ungutted and gutted carcasses increased by 8.7% ($P < 0.001$) and 9.5% ($P < 0.01$) in the group III, and by 15.0% ($P < 0.01$) and 17.3% ($P < 0.05$) in group IV respectively, compared with chickens in the control group.

Table 3

Slaughter rates of broiler chickens, g

Indicator	Group			
	Control I	Experimental II	Experimental III	Experimental IV
Pre-slaughter weight	2,064.5 ± 15.3	2,104.0 ± 14.8	2,258.0 ± 26.7***	2,410.7 ± 95.6**
Ungutted carcass weight	1,867.2 ± 8.3	1,923.0 ± 55.9	2,031.0 ± 24.8***	2,148.0 ± 93.1**
Semi gutted carcass weight	1,650.5 ± 53.0	1,652.5 ± 73.0	1,793.2 ± 30.0	1,918.0 ± 101.6
Gutted carcass weight	1,406.0 ± 18.2	1,412.5 ± 89.5	1,540.5 ± 29.5**	1,650.0 ± 82.14*

The weight of semi-gutted carcass was higher by 8.6 % and 16.2 % in groups III and IV, respectively, than in the control group. However, no significant difference was found.

The obtained results on the nutrients digestibility increase under the influence of probiotic additives are consistent with other scholars' researches (Belova et al., 2009; Fedorchenko, 2017; Wondwesen and Moges, 2017). Many scientists confirm the probiotic drugs positive effect on the amino acids absorption and retention of mineral feed elements in poultry (Urdzik, 2010; Balukh, 2016). The positive effect of probiotics on slaughter rates is mentioned in the scientific publications, in particular, that their use increases slaughter qualities and improves the development of internal organs and digestive organs (Patreva and Shevchenko, 2010; Otchenashko, 2012).

Conclusion

1. The broiler chickens fed by additive Entero-active have increased the digestibility of dry matter by 2.4% ($P < 0.01$), protein by 3.4% ($P < 0.001$), fiber by 31.1% ($P < 0.001$) and NFE by 4.0% ($P < 0.001$) comparing with the control group.

2. The application of probiotic supplement Entero-active for the broilers' feeding increases the availability of essential amino acids, i.e. lysine by 4.8% ($P < 0.001$), histidine by 3.8% ($P < 0.001$), arginine by 4.9% ($P < 0.001$), threonine by 7.5% ($P < 0.001$), valine by 4.1% ($P < 0.001$), methionine by 2.6% ($P < 0.001$), isoleucine by 7.6% ($P < 0.001$) compared with the control indicator.

3. It was found the absorption of Ca, P, Mg, Mn, increases respectively, by 23.5% ($P < 0.001$), 6.9% ($P < 0.05$), 12.2% ($P < 0.01$), and by 33.1% ($P < 0.001$) under the action of probiotics.

4. The Entero-active probiotic application in the diet of broiler chickens increases the pre-slaughter live weight by 16.7% ($P < 0.01$), the weight of ungutted carcasses by 15.0% ($P < 0.01$) and gutted carcasses by 17.3% ($P < 0.05$), feed costs per 1 kg increase by 12.9%, relative to control.

References

1. Alavi S.A., Zakeri A., Kamrani B., Pourakbari Y. 2012. Effect of prebiotics, probiotics, acidifier, growth promoter antibiotics and synbiotics on humoral immunity of broiler chickens. *Global Vet.*, 8. 612–617.
2. Balukh, N. 2016. Probiotyky ta fermenty u ratsionakh broileriv [Probiotic and enzyme in broiler diets]. – *Theoretical and Applied Veterinary Medicine*, 4(1): 23–26. [in Ukrainian].
3. Barrow P. A. 1992. Probiotics for chickens. *The Scientific Basis*. Chapman and Hall. London. 225–257 p.
4. Belova, N., Yezhova O., Kornilova V., Maslov M. 2009. Vplyvnyie probiotykov y vyta myna S na yspol'zovanyie pytatel'nykh veshchestv korma [The effect of probiotics and vitamin C on the use of feed nutrients]. – *Poultry keeping*. No. 5: 16–18. [in Ukrainian].
5. Chudak R.A., Kazmiruk L. V. 2020. Productivity and metabolism in broilers under the action of compound feeds of different composition. *Slovak international scientific journal. Slovakia: Bratislava*. № 46. Vol. 1. P. 58–64. (in Ukrainian)
6. Chudak R.A., Poberezhets Y.M., Vozniuk O.I., Dobronetska V.O. 2019. Echinacea pallida extract effect on quails meat quality. *Ukrainian journal of ecology*. Vol 9, No 2. P. 151–155. (in Ukrainian).
7. Chudak R.A., Ushakov V.M., Poberezhets Y.M., Lotka H.I., Polishchuk T.V., Kazmiruk L.V. 2020. Effect of Echinacea pallida supplementation on the amino acid and fatty acid composition of Pharaoh Quail meat. *Ukrainian Journal of Ecology*. Vol. 10 (2). P. 302–307. DOI: 10.15421/2020_101. DOI: <http://dx.doi.org/10.15421/201680>. (in Ukrainian)
8. Dunkley C. 2008. The Use of Probiotics and Prebiotics in Poultry Feeds. *Feed and Nutrition*. May. P. 25 – 28.
9. Fedorchenko, A. 2017. Probiotyky dlia broilera [Probiotics for broiler]. – *Our Poultry*. №3: 35–48. [in Ukrainian].
10. Ibatullin I. I., Zhukorskyi O. M., Bashchenko. I., et al. 2017. Methodology and organization of scientific research in animal husbandry. *Kyiv: Ahrar. Nauka*. 327 p. (in Ukrainian).
11. Kozyr V. S., Svezhentsov A. I. 2002. Practical methods of research in animal husbandry. *DA: Art Press*. 354 p. (in Ukrainian).
12. Levchenko V. I., Vlizlo V. V., Kondrakhin I. P. et al. 2002. *Veterinary clinical biochemistry*. Bila Tserkva. 400 p. (in Ukrainian).
13. Mookiah S., Sieo C.C., Ramasamy K., Abdullah N., Ho Y.W. 2014. Effects of dietary prebiotics, probiotic and synbiotics on performance, caecal bacterial populations and caecal fermentation concentrations of broiler chickens. *J. Sci. Food Agric.*, 94, 341–348.
14. Otchenashko, V.V. 2012. Vykhyd produktiv zaboju ta kharchova tsinnist miasa perepeliv za vykorystannia kombikormiv z riznymy rivniamy enerhii [Yield of slaughter products and nutritional value of quail meat using compound feeds with different energy levels]. – *Modern poultry farming*. № 5: 5–9. [in Ukrainian].
15. Park J. H., Kim I. H. 2014. Supplemental effect of probiotic *Bacillus subtilis* B2A on productivity, organ weight, intestinal *Salmonella* microflora, and breast meat quality of growing broiler chicks. *Poult Sci*, 93(8), 2054–2059.
16. Patreva, L.S., Shevchenko T.V. 2010. Vplyv probiotyky «Baikal EM-1» na morfolohichnyi sklad tushok kachok [Influence of probiotic "Baikal EM-1" on the morphological composition of duck carcasses]. – *Agricultural Science and Food Technology. Animal Feeding and Feed Technology*. № 4 (44): 143–145. [in Ukrainian].
17. Plohin'skiy N. A. 1969. Guide for biometrics for livestock breeders. *M.: Kolos*. 256p.
18. Podolian Yu. M. 2016. Influence of probiotic on productivity of broiler chickens. *Biological journal of the Melitopol State Pedagogical University named after Bogdan Khmelnytsky*. Vol. 6 (3). P. 141–148. (in Ukrainian).
19. Podolian Yu. N. 2017. Effect of probiotics on the chemical, mineral, and amino acid composition of broiler chicken meat. *Ukrainian Journal of Ecology*. Vol 7, № 1. P. 61 – 65. DOI: <http://dx.doi.org/10.15421/20178>. (in Ukrainian).
20. Salim, H.M., Kang, H.K., Akter, N., Kim, D.W., Kim, J.H. 2013. Supplementation of Direct-fed microbials as an alternative to antibiotic on growth performance, immune response, cecal microbial population and ileal morphology of broiler chickens. *Poult. Sci.*, 92, 2084–2090.
21. Shtainer T., Nikol R., Zasiakin M. 2010. Stimulate the growth of birds naturally. *Our Poultry Farming*. March. P. 30 – 31.
22. Sobolev, O. I., Gutty, B. V., Soboliev, S. V., Borshch, O. O., Liskovich, V. A., Prystupa, O. I., Demus, N. V., Paladiychuk, et al. 2019. Chemical composition, energy and biological value of broiler chicken meat caused by various doses of selenium. *Ukrainian Journal of Ecology*. №9 (4). P. 622–627. ISSN 2523–4692. (in Ukrainian).
23. Świątkiewicz, S., Arczewska-Włosek, A. 2012. Prebiotic fructans and organic acids as feed additives improving mineral availability. *World's Poult. Sci. J.*, 68(2), 269–279.
24. Wondwesen, A., Moges S. 2017. Review on Application of Probiotics in Poultry. – *Production British Journal of Poultry Sciences* 6 (3): 46–52.
25. Xiaolu Liu, Hai Yan, Le Lv, Qianqian Xu, Chunhua Yin, Keyi Zhang, Pei Wang, Jiye Hu 2012. Growth Performance and Meat Quality of Broiler Chickens Supplemented with *Bacillus licheniformis* in Drinking Water. *Asian–Australas J Anim Sci*. May; 25(5), 682–689.

Г. А. РІПКА

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0172-867X>e-mail: Textiles.snu@gmail.com

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

І. О. ЗАСОРНОВА

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6655-5023>e-mail: izasornova@gmail.com

Хмельницький національний університет

СПОСІБ ОЦІНКИ ВПЛИВУ КОНТУРІВ ВИШИТОГО ЕЛЕМЕНТА НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТКАНИНИ

В статті розглянуто питання поліпшення якості нанесення вишитого елемента на текстильний матеріал, з метою підвищення конкурентоспроможності швейних виробів на вітчизняному ринку товарів та послуг. Встановлено, що під час машинного вишивання найбільш руйнівним є границя системи «тканина-вишивка». Запропоновано обирати хвиленодібний контур вишитого елемента.

Ключові слова: комп'ютерна вишивка, руйнування текстильного матеріалу, контур рисунка, якість вишивки.

RIPKA GALYNA A.

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Severodonetsk, Ukraine

ZASORNOVA IRYNA O.,

Khmelnytskyi National University, Ukraine

METHOD OF ESTIMATING THE EFFECT OF CONTOURS EMBROIDERED ELEMENT ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF FABRICS

Computer embroidery is one of the modern types of garment decoration. But in our country this industry is insufficiently studied. Instead, today there are entire associations of embroidery companies abroad, periodicals are published, special schools operate, international conferences are held, and Internet conferences on computer embroidery are organized.

The article discusses the issues of improving the quality of applying an embroidered element to a textile material in order to increase the competitiveness of garments in the domestic market of goods and services.

It was found that during machine embroidery, the most vulnerable point is the border of the "fabric-embroidery" system. If the embroidered pattern along the contours of the edge is characterized as a "straight line", then the maximum value of the destruction of the samples at the warp occurs with tatami stitches, and weft with tatami stitches and zigzag. When the pattern is embroidered in the form of a circle, the destruction already occurs not only along the perimeter of the "arc line", but also in the middle. If the embroidered pattern is a rectangle with wavy edges, in contrast to the straight and arc border lines in the system "fabric-embroidery", the process of destruction occurs within, starting from the upper and then the lower contours. There is also a decrease in rupture characteristics at (S), (Z), and (T) – stitches.

When studying the effect of embroidery needles on the physical and mechanical characteristics of textile materials, it was experimentally established that this process should be attributed to the destructive, the degree of which depends on their number, as well as the step and type of stitches. This is evidenced by the increase in the values of the coefficient of air permeability of the samples of materials and the decrease in the breaking indicators in comparison with the initial values.

Thus, the research and their analysis shows that the degree of change in rupture characteristics, as a control indicator, primarily depends on the contour of the edge of the pattern, as well as the type of computer embroidery weave, but the greatest influence of these factors occurs when the geometry of the system boundary "fabric-embroidery" is a straight line, and the smallest - a wavy line that does not contradict the mathematical model, the conclusions of which were used in the design of the embroidered element for children's clothing (pants).

Keywords: computer embroidery, destruction of textile material, contour pattern, quality of embroidery.

Постановка проблеми. Спираючись на багатовіковий досвід українського народу в оздобленні одягу та побутових речей, перекладаючи його на сучасні технології проєктування та виробництва, дизайнери із сезону в сезон виходять на подіум з новими моделями, оздобленими вишивкою.

Вишивка стає дедалі популярнішою завдяки автоматизованому парку вишивальних машин, а також комп'ютеризованому допоміжному обладнанню, високоякісним ниткам, великої кількості вишивальних програм для розробки будь-якого рисунка чи логотипа фірми тощо. На сьогоднішній день комп'ютерна вишивка є одним з сучасних видів оздоблення швейних виробів. Але в нашій країні ця галузь вивчена недостатньо. Про що свідчить невелика кількість публікацій, в основному рекламно-оглядового характеру та інтерв'ю малочисельних вишивальних фірм та фірм-дистриб'юторів іноземних корпорацій. Натомість, сьогодні за кордоном існують цілі асоціації вишивальних компаній, видається періодична література, працюють спеціалісти, проводяться міжнародні конференції, організовуються Інтернет-конференції, присвячені питанням комп'ютерної вишивки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питаннями руйнування текстильного матеріалу машинною голкою займаються Рябчиков М.Л., Засорнов О.С., Мазнев Є.О. та інші науковці [1, 3-5]. Вивченням технологічного процесу нанесення машинної вишивки на текстильний матеріал – Тихомиров В.Л. [6], Проскурнин Ю.І. [7], Кожнина Г.С. [8] та інші [9-15]. Однак поліпшення якості нанесення рисунка на швейні вироби досі залишається актуальною проблемою та потребує наукових досліджень.

Виклад основного матеріалу. При вивченні впливу вишивальних голок на фізико-механічні характеристики текстильних матеріалів експериментально було встановлено, що даний процес слід віднести до руйнівного, ступінь якого залежить від їх номера, а також кроку та типу стібків. Про це свідчить збільшення значень коефіцієнта повітропроникності проб матеріалів та зменшення розривальних показників у порівнянні з вихідними значеннями.

Тому, в процесі розробки фізичної моделі вишитих елементів було сформульовано припущення про можливість руйнівного впливу комп'ютерного вишивання по краях границі системи «тканина-вишивка», значення якого залежатиме від контурів нанесеного рисунка. Так, якщо його контур прямолінійний та співпадає з напрямком основних або утокових ниток, то руйнування проби буде проходити по його границі. Але, якщо геометрія границі вказаної системи відрізняється від прямолінійної, то руйнування матеріалу, наприклад, для хвилястої лінії, буде відбуватися в інших межах.

Дані припущення нами перевірялись спочатку теоретично, з використанням математичної моделі, а потім експериментально, з використанням проб текстильного матеріалу типу джинс, з волокнистим складом 100 Б/100 ПЕ, розміром (50×200) мм по ширині яких, у напрямку основи і утоку такими заповненнями, як сатин (S), зигзаг (Z) і татамі (T) були вишиті геометричні фігури прямокутник, коло та прямокутник із хвилеподібними краями по більшій його стороні (рис. 1).



Рис. 1. Вихідні зразки форми вишитих елементів: а – прямокутник (S); б – прямокутник (Z); в – прямокутник (T); г – коло (S); д – коло (Z); е – коло (T); ж – хвилеподібний контур (S); з – хвилеподібний контур (Z); и – хвилеподібний контур (T)

Очевидно, що вказані контури не випадкові, а обґрунтовані наявністю прямої, дугової та хвилястої ліній на границі системи «тканина-вишивка» [1-2]. Для визначення ступеня впливу вишивального процесу в залежності від вказаних чинників використовувались розривальні характеристики проб у порівнянні з їх вихідними показниками (785,0 Н по основі; 1045,0 Н по утоку) [16]. Так, якщо рисунок, вишитий у вигляді прямокутника, тобто за контурами краю характеризується як «пряма лінія», то максимальне значення руйнування проб по основі (на 26,1 %) відбувається при татамі (рис. 2, в), а по утоку (на 32,1 %) – як при (Z), так і (T) - стібках (рис. 2, б, в). В тому разі, коли рисунок вишито у вигляді кола, заповненого по площі вишивальною ниткою, то руйнування проби вже відбувається не тільки по периметру «дугової лінії», але й в його середині (рис. 3).

В першому випадку вказаний процес характерний тільки для утокових проб і всіх трьох типів стібків (S, Z, T), які зумовлюють зменшення вихідних значень розривальних характеристик, та найбільшу

ступінь руйнування (на 29,2 %) привносять стібки Z. А в другому випадку, тобто коли руйнується власне рисунок, вишитий на основних пробах, то максимальне зменшення (на 21,7 %) контролюючого показника спостерігається знову-таки при стібках типу Z.

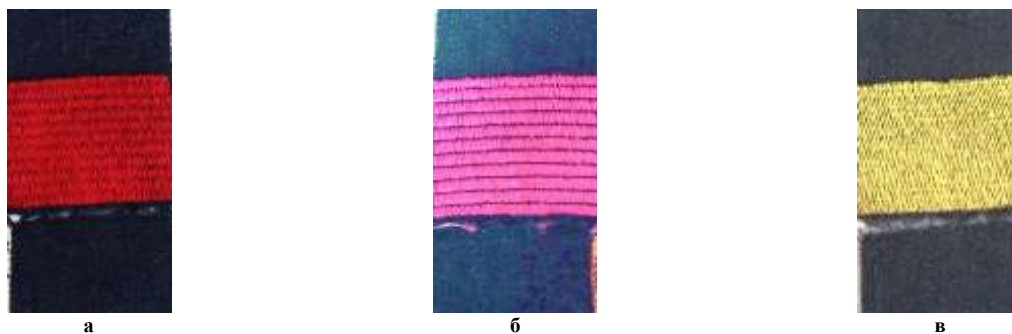


Рис. 2. Руйнування прямолінійного контуру вишивки різними типами стібків: а – сатин; б – зигзаг; в – татамі



Рис. 3. Руйнування дугової лінії контуру вишивки різними типами стібків: а – сатин; б – зигзаг; в – татамі

Якщо вишитий рисунок представляє собою прямокутник з хвиляподібними краями по більшій стороні фігури, то слід відмітити, що при S-стібках основні проби матеріалу зменшили розривальне навантаження на 0,64 %, а утокові – на 3,2 %. Що ж стосується Z і T-стібків, то зменшення показників по основі відбулося на 3,2 і 2,2 %, а по утоку – відповідно на 4,1 і 3,0 % в порівнянні з їх вихідними значеннями.

Окрім цього необхідно зазначити, що на відміну від прямолінійної та дугової лінії границі в системі «тканина-вишивка» процес руйнування при хвилястій лінії відбувається в межах, починаючи з її верхніх, а потім нижніх контурів (рис. 4).



Рис. 4. Руйнування хвиляподібної лінії контуру вишивки різними типами стібків: а – сатин; б – зигзаг; в – татамі

Такий процес руйнування в даному випадку зумовлюється напруженням при деформації розтягування не по центральній лінії проби, оскільки її основна і утокова пряжа закріплена вишивальними нитками, а розподіляється по найбільш вразливим (верхнім та нижнім) екстремальним зонам хвилястої лінії. Це призводить до збільшення стійкості зразків матеріалу при розривальних випробуваннях.

Отже, проведені дослідження та їх аналіз свідчить про те, що ступінь зміни розривальних характеристик, як контролюючого показника, насамперед, залежить від контуру краю рисунка, а також типу переплетення комп'ютерної вишивки, але найбільший вплив вказаних чинників відбувається, коли геометрія границі системи «тканина-вишивка» представляє собою пряму лінію, а найменший – хвилясту лінію, що не

суперечить математичній моделі, висновки якої були використані при розробці конструкції вишитого елемента для дитячого одягу (штанів) (рис. 5).



Рис. 5. Рекомендації форми контуру вишитих елементів:
а – тип стібка фону (Т); б – тип стібка фону (S, Т); в – тип стібка фону (Т)

Висновки. 1. При вивченні впливу вишивальних голок на фізико-механічні характеристики текстильних матеріалів експериментально було встановлено, що даний процес слід віднести до руйнівного, ступінь якого залежить від типу стібків.

2. Так, якщо вишитий рисунок за контурами краю характеризується як «пряма лінія», то максимальне значення руйнування проб по основі (на 26,1 %) відбувається при (Т) - стібках, а по утку (на 32,1 %) при (Т) і (Z)-стібках.

3. Коли рисунок вишито у вигляді кола, то руйнування вже відбувається не тільки по периметру «дугової лінії», але й в його середині.

4. Якщо вишитий рисунок представляє собою прямокутник з хвилеподібними краями, на відміну від прямолінійної та дугової ліній границі в системі «тканина-вишивка», то процес руйнування відбувається в межах, починаючи з верхніх, а потім нижніх контурів. Також спостерігається зменшення розривальних характеристик при (S), (Z), і (Т)-стібках.

5. Подібні вишиті малюнки краще всього використовувати, як захисний елемент в зоні колінних суглобів дитячого одягу.

Література

1. Рябчиков М.Л. Розрахунок та конструювання машин легкої промисловості / М.Л. Рябчиков, І.Г. Дейнека. – Л.: СНУ ім. В. Даля. – 2010. – 264 с.
2. Матеріали з сайту ТОВ «Епсіма, НВП», м. Житомир. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://epsima.com>.
3. Ріпка Г.А. Обґрунтування критеріїв оцінки руйнування зразків матеріалу вишивальними голками / Г.А. Ріпка, Є.О. Мазнев, А.А. Мичко // Технологический аудит и резервы производства. – 2015. – № 2/4(22). – С. 39-44.
4. Патент 98638 України, МПК G 01N 15/08(2006.01). Спосіб визначення ступеня руйнування текстильного матеріалу (окрім нетканих і трикотажних полотен) машинною голкою / Мичко А.А., Дейнека І.Г., Ріпка Г.А., Мазнев Є.О.; заявник і патентовласник Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля № u2014 03509; заявл. 07.04.2014; опубл. 12.05.2015. бюл. № 9, 4 с.
5. Wael A. Hashima. The mechanical vibrations of the sewing machine's needle. Part 2: the free longitudinal vibrations / A. Wael // Vlakna & Textil. Volume 27(4). – 2020. – pp. 17-25.
6. Тихомиров В.Л. Графический редактор вышивок GR3. / Руководство пользователя вышивального автомата «Лика-5» / В.Л. Тихомиров. – К.: СисТех, 2002. – 60 с.
7. Проскурнин Ю.И. Программный комплекс для создания и редактирования дизайнов машинной вышивки “Urfinus-professional” / Руководство пользователя по управлению вышивальными машинами Harry и Velles. – ООО «Джуссофт». – Сергиев Посад. – 2012. – 177 с.
8. Кожнина Г.С. Лазер приходит в мир вышивки / Г.С. Кожнина // Швейная промышленность. – 2006. – № 2 – С. 50-51.
9. Матеріали з сайту ТОВ «Епсіма, НВП», м. Житомир. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://epsima.com>.
10. Zasornova I.O. Practical usage of program module “VISHIVANKA” for filling some part of embroidery ornament with double cruciform elements / I.O. Zasornova // Tendencies and innovations the textile and fashion industry, 8-10 November, 2018. – Plovdiv, Bulgaria. – pp. 273-277.
11. Slavinskaya A. Capsulal approach to celebrity of ethnic embroidery in formation of modern wardrobe / A. Slavinskaya, O. Syrotenko, I. Zasornova, O. Zasornov // Vlakna & Textil. Volume 26(4). – 2019. – pp. 69-83.
12. Artemenko A. Costume Designin for hospitality establishments staff on the basis of analysis the Slavic Snakes ornamentation / A. Artemenko, O. Yakymchuk, D. Yakymchuk, N. Myrhorodska, I. Zasornova // Vlakna & Textil. Volume 25(1). – 2018. – pp. 3-7.
13. Amal Abdullah Albishri. Influences of the operating parameters of embroidery stitches on electrical properties of the conductive threads / Amal Abdullah Albishri, Emad El-Din Sayed Gohar and Marwa Mohamed Tharwat // Vlakna & Textil. Volume 28(3). – 2018. – pp. 3-19.

14. Chuprina N.V. Formation of fashion system in the XX – the beginning of the XXI century / N.V. Chuprina, T.F. Krotova, K.L. Pashkevich, T.V. Kara-Vasylieva, M.V. Kolosnichenko // *Vlakna a textile*. Volume 27(4). – 2020. – pp. 48-57.

15. Pashkevych K.L. Modern directions of eco-design in the fashion industry / K.L. Pashkevych, K. Khyrana, O.V. Kolosnichenko, T.F. Krotova, A.M. Veklich // *Art & Design*. – No4(08). – 2019. – pp. 9-20.

16. Материалы текстильные. Ткани и шпунтовые изделия. Методы определения разрывных характеристик при растяжении: ГОСТ 3813-72 (ИСО 5081-77, ИСО 5082-82). – [Действующий с 1973-01-01]. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 20 с. (Межгосударственный стандарт).

References

1. Ryabchikov M.L., Deineka I.G. (2010). Rozrakhunok and design of machines of light industry. SNU im. V. Dahl. [in Ukraine].
2. Materials from the site of LLC "Epsima, NVP", m. Zhitomir. [Electronic resource]. Access mode: <http://epsima.com> [in Russian].
3. Ripka G.A., Maznev E.O., Michko A.A. (2015). Obruntuvannya criterion for evaluating the evaluation of educational material with visual goals. Technological audit and production reserves. No. 2/4 (22) [in Ukraine].
4. Michko A.A., Deineka I.G., Ripka G.A., Maznev E.O (2015). Patent 98638 of Ukraine, IPC G 01N 15/08 (2006.01). Methods of making the step of ruining textile material (surrounding non-woven and knitted fabrics) by machine head; applicant and patentee of the Skhidnoukrainian National University of the Name of Volodymyr Dahl No. u2014 03509; declared 04/07/2014; publ. 05/12/2015. bul. No. 9 [in Ukraine].
5. Wael A. Hashima. (2020). The mechanical vibrations of the sewing machine's needle. Part 2: the free longitudinal vibrations. *Vlakna & Textil*. Volume 27(4).
6. Tikhomirov V.L. (2002). Graphic editor for embroidery GR3. / User's guide for the Lika-5 embroidery machine. SisTech [in Russian].
7. Proskurnin Yu.I. (2012). A software package for creating and editing machine embroidery designs "Urfinus-professional" / User's Guide for operating Happy and Velles embroidery machines. - LLC "Jussoft". - Sergiev Posad [in Russian].
8. Koznina G.S. (2006). The laser comes to the world of embroidery. Clothing industry. No2. [in Russian].
9. Materials from the site of LLC "Epsima, NVP", m. Zhitomir. [Electronic resource]. Access mode: <http://epsima.com> [in Ukraine].
10. Zasornova I.O. (2018). Practical usage of program module "VISHIVANKA" for filling some part of embroidery ornament with double cruciform elements. Tendencies and innovations the textile and fashion industry, 8-10 November, Plovdiv, Bulgaria.
11. Slavinskaya A., Syrotenko O., Zasornova I., Zasornov O. (2019). Capsular approach to celebrity of ethnic embroidery in formation of modern wardrobe. *Vlakna & Textil*. Volume 26(4).
12. Artemenko A., Yakymchuk O., Yakymchuk D., Myrhorodska N., Zasornova I. (2018). Costume Designin for hospitality establishments staff on the basis of analysis the Slavic Snakes ornamentation. *Vlakna & Textil*. Volume 25(1).
13. Amal Abdullah Albishri, Emad El-Din Sayed Gohar and Marwa Mohamed Tharwat. (2018). Influences of the operating parameters of embroidery stitches on electrical properties of the conductive threads. *Vlakna & Textil*. Volume 28(3).
14. Chuprina N.V., Krotova T.F., Pashkevich K.L., Kara-Vasylieva T.V., Kolosnichenko M.V. (2020). Formation of fashion system in the XX – the beginning of the XXI century. *Vlakna & Textil*. Volume 27(4).
15. Pashkevych K.L., Khyrana K., Kolosnichenko O.V., Krotova T.F., Veklich A.M. (2019). Modern directions of eco-design in the fashion industry. *Art & Design*. – No4(08).
16. Textile materials. (2002). Fabrics and piece goods. Methods for determining tensile strength in tension: GOST 3813-72 (ISO 5081-77, ISO 5082-82). - [Effective from 1973-01-01]. – М.: IPK Publishing house of standards. (Interstate standard).

За зміст повідомлень редакція відповідальності не несе

Повні вимоги до оформлення рукопису
http://journals.khnu.km.ua/vestnik/?page_id=37

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол № 1 від 26.08.2021 р.**

Підп. до друку 26.08.2021 р. Ум.друк.арк. 41,08 Обл.-вид.арк. 39,08
Формат 30х42/4, папір офсетний. Друк різнографією.
Наклад 100, зам. № _____

Тиражування здійснено з оригінал-макету, виготовленого
редакцією журналу “Вісник Хмельницького національного університету”
редакційно-видавничим центром Хмельницького національного університету
29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 7/1. тел (0382) 72-83-63