

ISSN 2307-5732
DOI 10.31891/2307-5732

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

5.2021

ВІСНИК

**Хмельницького
національного
університету**

Технічні науки

Technical sciences

SCIENTIFIC JOURNAL
HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2021, Issue 5, Volume 301

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, № 5(3019)

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=aIUP9OYAAAAJ
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., Защепкіна 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, Бубуліс 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), 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)

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

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол № 8 від 10.10.2021 р.**

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

☎	(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.
Свідоцтво 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

ІЛЛЯШ О. Е., БРЕДУН В. І.

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ КЛАСТЕРНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ
ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ ДЛЯ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ 7

ГОРАЧ О. О., РЕЗВИХ Н. І.

СПОЖИВЧІ ВЛАСТИВОСТІ МІКРОЗЕЛЕНІ ТА ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ
У ХАРЧОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ 13

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

ГУРМАН І. В., ПЕТЛЯК Н. С., ЧЕШУН В. М., ДЖУЛІЙ А. В., ЧОРНЕНЬКИЙ В. І.

ВИЗНАЧЕННЯ ЕНТРОПІЙНОЇ СКЛАДОВОЇ ПОКАЗНИКІВ ДАТЧИКІВ
ДЛЯ ГЕНЕРАЦІЇ КРИПТОКЛЮЧІВ МОБІЛЬНОГО ДОДАТКУ СИСТЕМИ КЛІЄНТ-БАНК 18

ДЖУЛІЙ В. М., КЛЬОЦЮ П., МУЛЯРІ В., ЖИЛЕВИЧ М. Л., ДЖУЛІЙ А. В.

КОНТРОЛЬ ДОДАТКІВ ІНТЕРНЕТ-ТРАФІКА КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ
МЕТОДАМИ МАШИННОГО НАВЧАННЯ 22

ОГНСВИЙ О. В., ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ Ю. В.

МЕТОДИ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЙНИХ РЕСУРСІВ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ 27

RADIUK PAVLO M., SKRYPNYK TETIANA K., KARLECHUK DMYTRO T.

APPLYING MENTAL MODELS TO MAKING CONTROLLED CRITICALLY SAFE DECISIONS
IN IT PROJECT MANAGEMENT 32

РИМАР П. В., ВОЙТКО Б. С.

РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ФОРМУВАННЯ
РОЗКЛАДУ НАВЧАЛЬНИХ ЗАНЯТЬ З ВИКОРИСТАННЯМ 1С: «ПІДПРИЄМСТВО» 36

ЯКОВЧУК М. В., МІХАЛЕВСЬКИЙ В. Ц., СКРИПНИК Т. К.

ПОРІВНЯННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ
В ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ ТА ЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ СИСТЕМАХ 41

МАШИНОБУДУВАННЯ, МЕХАНІКА ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

ОЛЕКСАНДРЕНКО В. П., СВДЕРСЬКИЙ В. П., КИРИЧЕНКО Л. М., ЄФІМЕНКО В. В.

ВПЛИВ СКЛАДУ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА АДГЕЗІЙНУ МІЦНІСТЬ
ФТОРОПЛАСТОВИХ ПОКРИТТІВ ДО МЕТАЛЕВИХ ПОВЕРХОНЬ 45

СТАРІЙ А. Р.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРИВОДУ ВІБРАЦІЙНОЇ МАШИНИ
ДЛЯ МИЙКИ І ОЧИСТКИ ЗАНУРЕНИМ ПУЛЬСУЮЧИМ СТРУМЕНЕМ РІДИНИ
З ТВЕРДИМИ ЧАСТИНКАМИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЇЇ ПРОДУКТИВНОСТІ 52

ЗАЛЮБОВСЬКИЙ М. Г., ПАНАСЮК І. В.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ГАЛТУВАЛЬНОЇ МАШИНИ
ЗІ СКЛАДНИМ РУХОМ РОБОЧОЇ ЄМКОСТІ, ЩО СПОЖИВАЄТЬСЯ НА ЇЇ ВЕДУЧОМУ ВАЛУ 59

СЕРДЮК О. В., СУХОРУКОВ С. І., СЕРДЮК В. В., КОРЧИНСЬКИЙ О. А.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОБКОЧУВАННЯ РОЛИКОМ
ІЗ ГВИНТОВОЮ РОБОЧОЮ ПОВЕРХНЕЮ 66

СТАДНІК М. І., ЯРОШЕНКО Л. В., ВИДМИШ А. А., ПРОЦЕНКО Д. П. ОСОБЛИВОСТІ ПУСКОВОГО РЕЖИМУ ВІБРОТРАНСПОРТЕРА З ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИМ ДЕБАЛАНСНИМ ПРИВОДОМ	69
--	----

ХАРЛАМОВ Ю. О., ПОЛОНСЬКИЙ Л. Г., БАЛИЦЬКА Н. О., МЕЛЬНИК О. Л., НОЧВАЙ В. М. КЛАСИФІКАЦІЯ З'ЄДНАНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ЗА УМОВАМИ ЗНОШУВАННЯ	79
---	----

ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕНЕРГЕТИКА

ГОНЧАРЕНКО Ю. П., КОНОВАЛОВ О. В., ПОЛЕЩУК І. І., ПРЯДКО В. А., ГУНЬКО І. О. ОДИН ІЗ АСПЕКТІВ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В СІЛЬСЬКИХ МЕРЕЖАХ 0,4 кВ	87
---	----

БЕЗВЕСІЛЬНА О. М., ОМЕЛЬЧУК І. А., НЕЧАЙ С. О. ВИКОРИСТАННЯ ЗВОРОТНОГО ЗВ'ЯЗКУ ПРИ СТИМУЛЯЦІЇ М'ЯЗІВ ОПОРНО-РУХОВОГО АПАРАТУ В СИСТЕМІ АВТОМАТИЧНОГО ВИМІРЮВАННЯ МЕХАНІЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ М'ЯЗОВОГО ВОЛОКНА	92
--	----

ВОЗНЯК О. М., ШТУЦЬ А. А., КОЛІСНИК М. А. ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЛІНІЙНОГО АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ВІБРОЦЕНТРОБЖНОГО СЕПАРАТОРА ЗЕРНА	99
--	----

ЛІЩИНА Н. М., ЛІЩИНА В. О., ЯЩУК А. А., СІВАКОВСЬКА (СУРИНОВИЧ) О. М. СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ РОЗУМНИМ БУДИНКОМ	109
--	-----

МЕЛЬНИК Ю. В., МЕЛЬНИК А. Л. ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ТА ЗАСОБІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ	114
---	-----

АВТОМАТИЗАЦІЯ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ ТА РАДІОТЕХНІКА

ВАЩИЩАК С. П., БОЙЧУК А. М., СТИСЛО Т. Р., МЕЛЬНИЧУК С. І., МАНУЛЯК І. З. НАПРАВЛЕНА АНТЕНА ДЛЯ КОНТРОЛЮ БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ ДІАПАЗОНУ 5 ГГц	119
---	-----

KRASILENKO VLADIMIR, LAZAREV ALEXANDER, NIKITOVICH DIANA SIMULATION OF CELLS FOR SIGNALS INTENSITY TRANSFORMATION IN MIXED IMAGE PROCESSORS AND ACTIVATION FUNCTIONS OF NEURONS IN NEURAL NETWORKS	127
---	-----

ПЕТРУШАК В. С., ПІДЧЕНКО С. К., ТАРАНЧУК А. А. ВПЛИВ ШУМІВ НА ПРОЦЕС КВАНТУВАННЯ ПЕРІОДИЧНИХ СИГНАЛІВ МЕТОДОМ ПРЯМОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ	136
---	-----

ПЯТІН І. С., МАКАРИШКІН Д. А., МІШАН В. В., ШПРУК М. С. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕДУРИ ПОЧАТКОВОГО ДОСТУПУ ДО МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ П'ЯТОГО ПОКОЛІННЯ	141
--	-----

БОЙКО Ю. М., НОВІКОВ Д. В. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ КАНАЛЬНОГО КОДУВАННЯ У ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯХ З OFDM	150
---	-----

КОВТУН І. І., БОЙКО Ю. М., КАРПОВА Л. В., ПЕТРИШИН В. Ю. ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ ПАРАМЕТРІВ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ	160
---	-----

МАРТИНЮК О. Р., ЯШИНА О. М., РАДЕЛЬЧУК Г. І., КУСТОВСЬКИЙ Р. С. ПОРІВНЯННЯ ПРОГРАМНИХ МЕТРИК ДЛЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ПРОГРАМНИХ ПРОДУКТІВ	166
---	-----

ПЯТІН І. С., ГАВРОНСЬКИЙ В. Є., ЛУЖАНСЬКИЙ В. І., МИХАЛЬЧУК В. О. ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ З СИГНАЛАМИ F-OFDM	170
---	-----

ТЕХНОЛОГІЇ ХІМІЧНОЇ, ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

МАРЦЕНЮК В. П., СВЕРСТЮК А. С., БАГРІЙ-ЗАЯЦЬ О. А., ПАВЛИШИН А. В., БОЙМИСТРУК І. І. МОДЕЛЮВАННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ТА БІОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИМИ РІВНЯННЯМИ	177
МИХАЙЛОВА Н. В., ПРИВАЛА В. О. ОБГРУНТУВАННЯ І РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ІЗОЛЮЮЧОГО КОСТЮМУ ДЛЯ РОБІТНИКІВ ХІМІЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ	188
РІПКА Г. А., ЗАСОРНОВА І. О. СПОСІБ ОЦІНКИ ВПЛИВУ КОНТУРІВ ВИШИТОГО ЕЛЕМЕНТА НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТКАНИНИ	196
ЛЕЩИШИН М. М. ТВЕРДОТІЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ КОЛОДКИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВЗУТТЯ ПІДВИЩЕНОЇ КОМФОРТНОСТІ	201
МАРТИРОСЯН І. А., ПАХОЛЮК О. В., НІКОЛАЙЧУК Л. Г. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ БАВОВНЯНО-ПОЛІЕСТЕРОВИХ ТКАНИН З БІОЦІДНОЮ ОБРОБКОЮ	209
ПЕЛИК Л. В., ПЕЛЕХ Ю. А. ВПЛИВ ЖОРСТКОСТІ ТА НЕЗМИНАЛЬНОСТІ НА ОЦІНЮВАННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ	213
НЕЧІПОР С. В., БАШТИНСЬКА А. В. ОСОБЛИВОСТІ ПРОЄКТУВАННЯ ВИРОБІВ-ТРАНСФОРМЕРІВ ДЕМІСЕЗОННОГО ВЕРХНЬОГО ЖІНОЧОГО ОДЯГУ ЗІ ШТУЧНОЇ ШКІРИ	217
СОКОЛОВСЬКА О. Г., ВАЛЕВСЬКА Л. О. ОЧИЩЕННЯ ЗЕРНА КІНОА – ВАЖЛИВИЙ ЕТАП ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ	225
ХЛЄБНІКОВА Н. Б., ДАНИЛКОВИЧ А. Г. ОЦІНКА ЯКОСТІ ХУТРОВОГО ВЕЛЮРУ	230
ЩЕРБАНЬ В. Ю., КОЛИСКО О. З., КОЛИСКО М. І., КАЛАШНИК В. Ю., ЩЕРБАНЬ Ю. Ю. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АЛГОРИТМУ ДИХОТОМІЇ ПРИ КОМП'ЮТЕРНОМУ ВИЗНАЧЕННІ НАТЯГУ КОМПЛЕКСНИХ НИТОК	240

ЕКОЛОГІЯ

DOI 10.31891/2307-5732-2021-301-5-7-12
УДК 504.062

ІЛЛЯШ О. Е.

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4710-3202>
e-mail: iloks2504@gmail.com

БРЕДУН В. І.

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8214-3878>
e-mail: bvi37h@gmail.com

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ КЛАСТЕРНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ ДЛЯ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

У роботі наведені результати досліджень, направлені на вибір оптимального варіанту кластерної моделі системи управління побутовими відходами для умов Полтавської області, та обґрунтування доцільності поетапної її організації на основі різних сценаріїв від початкового до перспективного, спрямованого на створення умов в області для будівництва регіональних об'єктів оброблення відходів та функціонування раціональних схем магістральних перевезень побутових відходів.

Ключові слова: кластерна модель, система управління побутовими відходами, регіональний об'єкт оброблення відходів.

ILLIASH OKSANA E.

Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic National University

BREDUN VIKTOR I.

Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic National University

PECULIARITIES OF FORMATION OF THE CLUSTER MODEL OF THE HOUSEHOLD WASTE MANAGEMENT SYSTEM FOR POLTAVA REGION

The paper presents the results of research in the field of strategic planning of municipal waste management systems. Features of formation of household waste management systems on the basis of the cluster approach are considered. These studies were conducted as part of the development of the Regional Waste Management Plan in Poltava region for the period up to 2030, in particular with the participation of a group of experts authors of this work. The main results of these studies are the rationale for choosing the optimal cluster model of municipal waste management system for the conditions of Poltava region, and the rationale for its phased organization based on different scenarios from initial to future. The initial scenario is proposed as a basis for the organization of waste management systems within the newly created territorial communities, and the promising scenario is aimed at creating conditions in the region for the construction of regional waste treatment facilities and the operation of rational schemes of main transportation of household waste. The proposed cluster model of the regional system of household waste management is the basis for the stage of investment planning of costs for each community individually and for Poltava region as a whole. Improvement of this model should be carried out at the stage of developing local waste management plans, taking into account the specifics and main trends in the organization of household waste collection in each community.

Keywords: cluster model, household waste management system, regional waste treatment facility.

Постановка проблеми

З 2019 року в регіонах України розпочато роботу зі стратегічного планування систем управління відходами регіонального рівня як один із етапів реалізації положень Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року (схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 року № 820 [1]) та завдань Національного плану управління відходами до 2030 року (схваленого розпорядженням Кабінету Міністрів України від 20 лютого 2019 року № 117-р [2]).

Згідно даних документів одним із першочергових завдань для кожного регіону України є розроблення регіонального плану управління відходами, вагомою складовою якого є планування системи управління побутовими відходами. Робота над проектом «Регіонального плану управління відходами у Полтавській області до 2030 року» [3] була проведена групою наукових експертів Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» у період з листопада 2020 до червня 2021 року й на сьогодні проект даного документу пройшов стадію громадського обговорення, повну процедуру стратегічної екологічної оцінки й підготовлений для затвердження на рівні виконавчого органу влади на обласному рівні (за відсутності законодавчо прийнятої процедури затвердження даних документів на державному рівні).

Формування дієвої системи управління побутовими відходами є одним із пріоритетних завдань для регіонів в умовах завершеного процесу децентралізації влади в Україні наприкінці 2020 року й відповідно перенесення повноважень щодо вирішення більшості питань, пов'язаних із розвитком громад, зокрема поводження з відходами, саме на місцеві рівні.

Аналіз останніх досліджень

Вперше застосування принципу стратегічного планування до управління твердими побутовими відходами (ТПВ) у Полтавській області було здійснено в рамках розробки європейськими експертами у 2016 р. «Субрегіональної стратегії поводження з відходами для Полтавської області» [4], яка розпочала своє

практичне впровадження з 2017 року в рамках реалізації «Комплексної програми поводження з твердими побутовими відходами у Полтавській області на період 2017–2021 роки» [5]. В основу стратегії розвитку сфери поводження з ТПВ було покладено субрегіональний підхід, згідно якого було заплановане створення п'яти субрегіонів наступної структури [5]:

1. Полтавський субрегіон – м. Полтава та п'ять районів колишнього адміністративного устрою області: Полтавський, Новосанжарський, Машівський, Карлівський, Чутівський;
2. Горішніплавнівський субрегіон – м. Горішні Плавні, м. Кременчук та чотири райони області: Глобинський, Козельщинський, Кобеляцький, Кременчуцький;
3. Пирятинський субрегіон – шість районів області: Пирятинський, Чорнухинський, Лохвицький, Лубенський, Оржицький, Гребінківський;
4. Хорольський субрегіон – шість районів області: Хорольський, Семенівський, Великобагачанський, Решетилівський, Шишацький, Миргородський;
5. Гадяцький (Зіньківський) субрегіон – м. Гадяч та чотири райони: Гадяцький, Зіньківський, Котелевський, Диканьський.

Даний субрегіональний підхід до сфери поводження з ТПВ у Полтавській області започатковано проектом «Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH» в рамках «Реформи управління на сході України» [4]. В рамках даного проекту була запропонована Стратегія поводження з ТПВ для частини території Полтавської області, а саме для Полтавського субрегіону, у якій відстежується логічний шлях від оцінки загальних обсягів утворення змішаних ТПВ, визначення їх морфологічного складу, оцінки поточної ситуації управління відходами в субрегіоні, до можливих варіантів дій для досягнення бажаних результатів. Передбачалося, що основні положення даної субрегіональної стратегії повинні стати частиною реалізації програми загальної стратегії поводження з ТПВ у Полтавській області. Загальною стратегією передбачалися суттєві інвестиції, які було заплановано спрямувати на будівництво субрегіональних сучасних полігонів та сортувально-переробних комплексів ТПВ [5].

Однак успішна реалізація даної стратегії вимагала відповідних організаційних домовленостей між залученими органами самоврядування, як необхідна передумова досягнення адекватних рівнів фінансування запланованих рішень та залучення приватного сектору до надання послуг щодо поводження з відходами на районному та субрегіональному рівнях. Саме відсутність такої передумови за різних причин, зокрема внаслідок розвитку в країні процесу децентралізації влади, а значить очікуваних змін в адміністративному устрої області, стали перепоною в реалізації положень запланованої Стратегії.

На окремих місцевих рівнях дана Стратегія реалізовувалась через конкретні пілотні проекти, спрямовані, передусім, на розвиток системи збирання ТПВ від населення як унітарним, так і роздільного. Більшість з цих проектів на сьогодні є прикладами успішних практик поводження з ТПВ в Полтавській області [6, 3].

Подальший розвиток даної Стратегії поводження з твердими побутовими відходами в Полтавській області [4] на сьогодні відбувається в рамках розроблення й початку реалізації Регіонального плану управління відходами до 2030 року (РПУВ) [3].

Мета роботи полягає в проведенні аналізу альтернативних варіантів планування раціональної моделі системи управління побутовими відходами в рамках кожної з територіальних громад й в цілому, а також проведення техніко-економічного обґрунтування вибору оптимального з них. Саме це завдання стало основою досліджень, проведених авторами даної роботи як членів групи експертів з розробки Регіонального плану управління відходами у Полтавській області [3].

Вклад основного матеріалу

В основу планування системи управління побутовими відходами було покладено кластерний підхід, що рекомендовано Національною стратегією управління відходами в Україні до 2030 року [1].

Поняття «кластеру» загально відоме й широко використовується в практиці управління, а «кластерний підхід» використовується у якості складової механізми регіонального управління. Розглядаючи кластерний підхід з позицій рівнів суб'єктів регіональної політики, варто враховувати важливий для кластерної системи територіальний аспект, який визначає їх об'єкту підпорядкованість конкретному рівню. На сьогодні методик чіткого визначення територіальних меж кластерної системи немає. З одного боку, кордони кластеру повинні охопити достатній обсяг ресурсів, з іншого використати переваги близького взаємного розташування. Роль кластерів посилюється в результаті завершеного процесу децентралізації влади й посилюється роль у ньому суб'єктів регіональної політики місцевих рівнів, в наслідок чого підтримка кластеру може бути більш дієво координувана із програмами регіонального розвитку.

Згідно проекту РПУВ [3] у Полтавській області планується поетапне впровадження системи управління побутовими відходами, засновану на кластерному підході, що означає послідовну реалізацію трьох сценаріїв.

Кожний з цих сценаріїв, перш за все, орієнтований на створення так званих «зон оптимального охоплення», якими можуть бути кластери або підкластери (субрегіони). Їх визначення необхідне для оптимального планування системи управління побутовими відходами в певних територіальних межах.

При виборі сценаріїв щодо формування зон оптимального охоплення системою управління побутовими відходами розглядалися:

- 1) варіанти територіальних меж потенційних зон охоплення (далі – кластерів/підкластерів), зокрема:

– межі окремих територіальних громад з їх основними показниками (чисельністю населення, співвідношенням міського та сільського населення, площею території, специфікою природно-географічною, забезпеченням транспортними шляхами);

– межі декількох територіальних громад, об'єднаних у підкластери/субрегіони навколо регіональних об'єктів оброблення відходів (РООВ);

– межі укрупнених об'єднань підкластерів у кластери навколо РООВ з комплексними технологіями;

2) сценарії щодо різних способів збирання (у т.ч. роздільного) та оброблення побутових відходів в межах визначених кластерів, в рамках яких можливе досягнення визначених цілей даним Регіональним планом.

Аналіз різних альтернатив та обґрунтування на його основі оптимального сценарію управління побутовими відходами ґрунтувалося на наступних критеріях:

– оптимальна чисельність охопленого кластером населення – не менше 150 тис. осіб, та відповідно обсяги утворення муніципальних відходів у кластері – близько 50 тис. тонн на рік;

– потенційна можливість створення у кожному запланованому кластері регіонального полігону для захоронення відходів або регіонального об'єкту оброблення відходів (РООВ) із комплексною технологією;

– мінімізація поточних витрат на транспортування відходів та капітальних й експлуатаційних затрат на об'єкти оброблення та захоронення відходів;

– місцеві обмеження на розташування полігонів через невідповідність геологічних/гідрогеологічних параметрів, схильність районів до затоплення, близькість до природоохоронних зон тощо;

– новий адміністративний устрій області (60 об'єднаних територіальних громад – далі ТГ) та сформовані взаємозв'язки між громадами, існуючі проекти співробітництва територіальних громад тощо.

При розгляді сценаріїв враховувались положення проекту Закону України «Про управління відходами», зокрема, планування сценаріїв проводилось для потоків муніципальних відходів, що утворюються на територіях населених пунктів громад, головною частиною яких є побутові відходи, крім них крупногабаритні, ремонтні відходів, «зелені» відходи, небезпечні у складі побутових та ін.

Під час аналізу можливих варіантів формування кластерів та сценаріїв щодо способів збирання та оброблення відходів нами розглядалися наступні альтернативи.

Альтернативи (варіанти) формування кластерів.

Варіант 1: при плануванні кластерів взятій за основу новий адміністративний устрій Полтавської області, а саме, 4 нових адміністративних райони: Полтавський; Кременчуцький; Миргородський; Лубенський (табл. 1).

Таблиця 1

Основні показники кластерів за варіантом 1

№ з/п	Назва кластеру	Кількість населення	Обсяг ТПВ, т/рік
1	Лубенсько-Пирятинський	190138	59 323,0
2	Миргород-Шишаки	204873	63 920,4
3	Кременчук-Горішні Плавні	396055	123 569,2
4	Полтавський	595912	185 924,5

Варіант 2: при плануванні кластерів взяті за основу три об'єкти комплексної переробки – сортувально-переробні комплекси (СПК), що були заплановані ще в рамках діючої «Комплексної програми поводження з твердими побутовими відходами у Полтавській області на 2017–2021 роки» [5] (табл. 2):

– для Полтавського кластеру – СПК поблизу обласного центру м. Полтави;

– для Горішніплавнінського кластеру – СПК поблизу м. Горішні Плавні;

– для Пирятинського кластеру – поблизу м. Пирятин.

Таблиця 2

Основні показники кластерів за варіантом 2

№ з/п	Назва кластеру	Кількість населення	Обсяг ТПВ, т/рік
1	Пирятинський	354127	110 487,6
2	Горішні Плавні	396055	123 569,2
3	Полтавський	636796	198 680,4

Варіант 3: при плануванні кластерів взята за основу модель формування субрегіонів, що була затверджена рішенням Полтавської облради 14.07.2017 року в рамках Комплексної програми поводження з ТПВ. Дана модель була модернізована з урахуванням більшості вищенаведених критеріїв (табл. 3).

Таблиця 3

Основні показники кластерів за варіантом 3

№ з/п	Назва кластеру	Кількість населення	Обсяг ТПВ, т/рік
1	Пирятинсько-Лубенський	236925	73 920,6
2	Миргород-Шишацький	107237	33 457,9
3	Кременчук-Горішніплавнінський	396055	123 569,2
4	Гадяч-Зіньківський	102562	32 000,0
5	Полтавський	544199	169 790,1

На основі проведеної техніко-економічної оцінки витрат на перевезення відходів з територій громад до об'єктів перероблення відходів в рамках кожного з варіантів формування кластерів (дана оцінка була зроблена для кожної з 60 ТГ) та результатів її обговорення серед територіальних громад для Полтавської області в якості базового варіанту був прийнятий варіант № 1, що передбачає формування 4 кластерів.

В рамках Регіонального плану для Полтавської області була зроблена також оцінка різних сценаріїв реалізації системи управління побутовими відходами.

Сценарій № 1 (початковий) – оброблення відходів планується здійснювати на об'єктах, спеціально визначених у межах однієї або декількох територіальних громад. В рамках даного сценарію планується перехід від 725 місць видалення побутових відходів, що експлуатуються на даний час на території Полтавської області до 44 об'єктів захоронення (полігони) та видалення (звалища) побутових відходів, що є контрольованими й паспортизованими об'єктами. Навколо цих об'єктів формуються зони охоплення (одна або декілька територіальних громад) – 44 зони охоплення.

Сценарій № 2 (альтернативний або перехідний) – оброблення відходів планується здійснювати на регіональних об'єктах, спеціально визначених у межах однієї зони оптимального охоплення як об'єкти спільного користування територіальними громадами. Відповідно в рамках даного сценарію планується перехід до розширення зон охоплення за рахунок закриття й рекультивації більшості місць видалення відходів (звалищ ТПВ як тимчасових об'єктів). В результаті планується здійснення об'єднання територіальних громад навколо регіональних об'єктів полігонного захоронення та об'єктів перероблення, тобто формування підкластерів (або субрегіонів). Даний сценарій № 2 може реалізовуватись як перехідний до основного стратегічного сценарію № 3 або для певних громад за їх вибором й відповідним техніко-економічним обґрунтуванням може стати альтернативним сценарію № 3.

Сценарій № 3 (основний) – оброблення відходів планується здійснювати на регіональних об'єктах, спеціально визначених для кількох (двох та більше) зон оптимального охоплення як об'єкти спільного користування. Відповідно в рамках даного сценарію планується перехід до формування укрупнених зон охоплення (кластерів) за рахунок організації системи транспортування відходів до РООВ комплексної переробки та регіональних полігонів.

Однак стратегічне планування системи управління побутовими відходами здійснено із умови реалізації сценарію № 3 як основного в рамках 4-кластерної моделі. Основою планування стали питання визначення потенційних місць розташування регіональних об'єктів оброблення відходів (РООВ) та питання розробки логістичних схем транспортування побутових відходів від територій громад до РООВ.

Основними завданнями логістичного планування регіональних схем збору й транспортування побутових відходів є: забезпечення всіх населених пунктів необхідним санітарним обслуговуванням, тобто послугою із збирання побутових відходів; забезпечення економічно та екологічно обґрунтованих нормативно регламентованих графіків очищення територій; визначення необхідного матеріально-технічного забезпечення; визначення необхідного кадрового забезпечення.

Вибір варіантів рішень при логістичному плануванні потребує врахування регіональної (місцевої) специфіки, зокрема особливостей соціально-економічного стану території, архітектурно-планувальних особливостей населених пунктів, поінформованості населення стосовно методів збирання відходів та психологічної готовності населення до прийняття певних варіантних рішень.

Таким чином, специфіка організації раціональної системи збирання та вивезення побутових відходів передбачає, по-перше, виділення головних принципів побудови такої системи, а по-друге, проробку структури логістичних схем, на основі яких можна розробляти оптимальні схеми руху сміттєзбиральної техніки з урахуванням певних територіальних особливостей.

В рамках розробки Регіонального плану управління відходами постала необхідність вирішення всього комплексу перелічених вище задач. Таким чином структура системи збору та транспортування побутових відходів має бути багатоетапною, особливо при плануванні реалізації сценарію № 3 як перспективного.

Перший етап – збір муніципальних відходів на територіях ОТГ. Другий етап – транспортування муніципальних відходів від місцевих об'єктів оброблення відходів до РООВ. В окремих випадках не виключається можливість організації й трьохетапної схеми.

В рамках Регіонального плану не було здійснено детального планування логістичних схем перевезень побутових відходів в рамках окремих ОТГ, так як дане питання є ключовим при розробці схем санітарної очистки населених пунктів громад. Тому планування першого етапу перевезень було проведено за спрощеною процедурою, результатом якої є орієнтовні територіально усереднені в межах кожної ТГ показники техніко-економічної ефективності перевезень. Планування другого та, за необхідності, третього етапів перевезень було виконано детально.

Важливим аспектом є планування місць розташування місцевих та регіональних об'єктів РООВ. Просторова структура розміщення населених пунктів на території ТГ, ландшафтно-екологічні особливості територій, існуюча система партнерської взаємодії між різними ТГ, фінансово-економічний стан ТГ, ментальні особливості населення ТГ суттєво впливають на можливість розміщення об'єктів РООВ на тих чи інших територіях. При плануванні логістичної структури на перспективний період це породжує її можливу багатоваріантність, що суттєво збільшує обсяги розрахунково-планувальних робіт, але й підвищує варіативну функціональність проекту регіонального плану та обґрунтованість вибору кінцевих рішень.

Досвід планування схем санітарної очистки населених пунктів свідчить, що системи регіональної логістики відходів Полтавської області мають, здебільшого, комбінований міський-сільський, а частіше селищно-сільський тип.

На підставі цього положення нами був здійснений попередній орієнтовний вибір типів спеціалізованих транспортних засобів для перевезення побутових відходів. Для першого етапу перевезень були обрані сміттєвози з об'ємом бункера 9 м³ із заднім механізованим завантаженням, які є найбільш універсальними для застосування в умовах Полтавської області. Конкретний тип, марка і кількість сміттєвозів уточнюються на стадії розробки схеми санітарної очистки для конкретних ТГ. На стадії виконання розрахунків другого етапу перевезень були заплановані для використання транспортні сміттєвози типу МКТ-150 або їх аналоги з місткістю кузова 50 м³.

Методика планування регіональної логістичної структури базується на положеннях Методичних рекомендацій з розроблення регіональних планів управління відходами [7], якими рекомендовані до використання комплекс базових розрахункових показників. За наведеними показниками здійснено техніко-економічний аналіз логістичної структури для кожної ТГ області та визначено орієнтовний рівень витратності перевезень при реалізації початкового сценарію 1 та перспективного сценарію № 3.

Приклад карти-схеми розрахункових точок та попередніх розрахункових маршрутів між населеними пунктами Решетилівської територіальної громади наведено на рис. 1. Приклад карти-схеми напрямків перевезень побутових відходів між головними об'єктами інфраструктури в межах Полтавського кластеру за сценарієм № 3 (базовий варіант № 1) наведено на рис. 2.

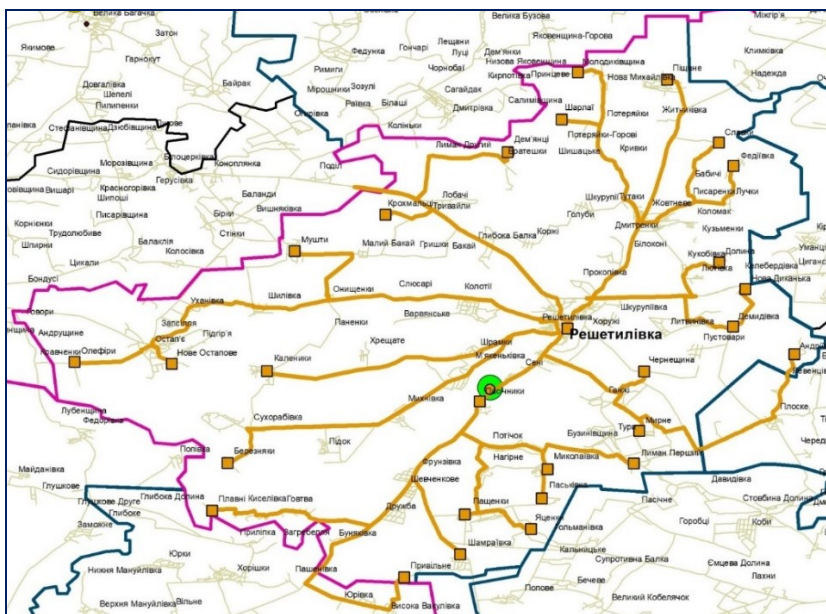


Рис. 1. Карта-схема розрахункових точок та попередніх розрахункових маршрутів між населеними пунктами Решетилівської територіальної громади

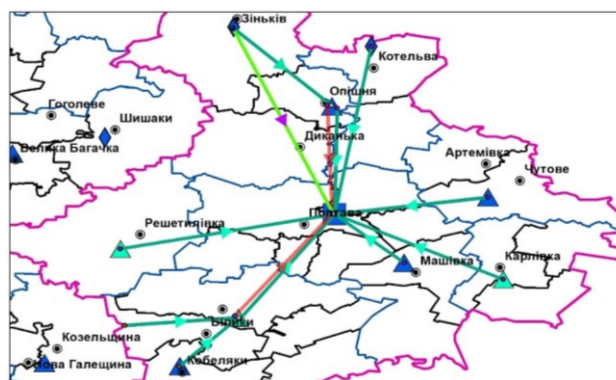


Рис. 2. Карта-схема напрямків перевезень побутових відходів між головними об'єктами інфраструктури в межах Полтавського кластеру за сценарієм № 3 (базовий варіант № 1)

Висновки

На сьогодні для Полтавської області в рамках розробленого проекту Регіонального плану управління відходами до 2030 року запропонована кластерна модель системи управління побутовими відходами із формуванням 4 кластерів, оптимальність якої обґрунтовано на основі комплексу техніко-економічних показників. Дана модель має поетапний характер реалізації: від організації системи збирання й перевезення побутових відходів на місцеві об'єкти видалення в межах кожної територіальної громади (початковий сценарій) до планування системи управління побутовими відходами в межах кожного кластеру (перспективний сценарій), зокрема організації логістичної схеми маршрутів магістральних перевезень відходів від територій громад (від визначених місцевих об'єктів) до регіональних об'єктів оброблення відходів, потенційні місця розташування яких визначені в рамках планування перспективного сценарію.

Запропонована кластерна модель регіональної системи управління побутовими відходами є основою для стадії інвестиційного планування витрат як для кожної громади окремо, так й для Полтавської області у цілому. Як результат, в рамках Регіонального плану визначені орієнтовні питомі витрати на перевезення відходів за кожним із сценаріїв для кожної із територіальних громад та розраховані орієнтовні значення тарифів за поводження з побутовими відходами із розрахунку на 1 людину на місяць.

Однак, дані техніко-економічні показники системи управління побутовими відходами та визначені розміри тарифів потребують уточнення вже на стадії розроблення місцевих планів управління відходами та/або Схем санітарного очищення населених пунктів громади, виходячи із специфіки та основних тенденцій організації збору побутових відходів на території кожної громади.

Література

1. Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року [Електронний ресурс] : розпорядження Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820-р. – Режим доступу : <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80/page>

2. Про затвердження Національного плану управління відходами до 2030 року [Електронний ресурс] : розпорядження КМУ від 20 лютого 2019 р. № 117-р. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/117-2019-%D1%80#Text>

3. Регіональний план управління відходами у Полтавській області до 2030 року : проект [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.adm-pl.gov.ua/advert/oprilyudnennya-dlya-obgovorennya-proektu-regionalniy-plan-upravlinnya-vidhodami-u-poltavskiy->

4. Субрегіональна стратегія поводження з твердими побутовими відходами для Полтавської області : проект «Реформа управління на сході України» «Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH» : представлено для Полтавської обласної державної адміністрації, GFA Consulting Group, січень 2016.

5. Комплексна програма поводження з твердими побутовими відходами у Полтавській області на період 2017–2021 роки : затверджена рішенням сесії Полтавської обласної ради № 497 від 14.07.2017.

6. Управління твердими побутовими відходами в умовах розвитку місцевого самоврядування та міжмуніципального співробітництва : [навчально-практичний посібник / за заг. редакцією Толкованова В.В., Ілляш О.Е.]. – Київ, 2018. – 369 с.

7. Про затвердження Методичних рекомендацій з розроблення регіональних планів управління відходами [Електронний ресурс] : наказ Міністерства екології та природних ресурсів № 142 від 12.04.2019 зі змінами від 10.09.2021. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0142737-19#Text>

References

1. Pro skhvalennia Natsionalnoi stratehii upravlinnia vidkhodamy v Ukraini do 2030 roku [Elektronnyi resurs] : rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 8 lystopada 2017 r. № 820-r. – Rezhym dostupu : <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80/page>

2. Pro zatverdzhennia Natsionalnoho planu upravlinnia vidkhodamy do 2030 roku [Elektronnyi resurs] : rozporiadzhennia KМУ vid 20 liutoho 2019 r. № 117-r. – Rezhym dostupu : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/117-2019-%D1%80#Text>

3. Rehionalnyi plan upravlinnia vidkhodamy u Poltavskii oblasti do 2030 roku : proekt [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://www.adm-pl.gov.ua/advert/oprilyudnennya-dlya-obgovorennya-proektu-regionalniy-plan-upravlinnya-vidhodami-u-poltavskiy->

4. Subrehionalna stratehiia povodzhennia z tverdymy pobutovymy vidkhodamy dlia Poltavskoi oblasti : proekt «Reforma upravlinnia na skhodi Ukrainy» «Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH» : predstavlenu dlia Poltavskoi oblasnoi derzhavnoi administratsii, GFA Consulting Group, sichen 2016.

5. Kompleksna prohrama povodzhennia z tverdymy pobutovymy vidkhodamy u Poltavskii oblasti na period 2017–2021 roky : zatverdzhena rishenniam sesii Poltavskoi oblasnoirady № 497 vid 14.07.2017.

6. Upravlinnia tverdymy pobutovymy vidkhodamy v umovakh rozvytku mistsevoho samovriadvannia ta mizhmunitsypalnoho spivrobitnytstva : [navchalno-praktychnyi posibnyk / za zah. redaktsiieiu Tolkovanova V.V., Illiash O.E.]. – Kyiv, 2018. – 369 s.

7. Pro zatverdzhennia Metodichnykh rekomendatsii z rozroblennia rehionalnykh planiv upravlinnia vidkhodamy [Elektronnyi resurs] : na kaz Ministerstva ekolohii ta pryrodnykh resursiv № 142 vid 12.04.2019 zi zminamy vid 10.09.2021. – Rezhym dostupu : <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0142737-19#Text>

Рецензія/Peer review : 12.09.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.10.2021 р.

ГОРАЧ О. О.

Херсонський державний аграрно-економічний університет

ORCID ID: 0000-0002-8737-5002

e-mail: olga_gorach@ukr.net

РЕЗВИХ Н. І.

Херсонський державний аграрно-економічний університет

ORCID ID: 0000-0002-4727-512X

e-mail: n_rezvykh@ukr.net

СПОЖИВЧІ ВЛАСТИВОСТІ МІКРОЗЕЛЕНІ ТА ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ У ХАРЧОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

У роботі наведено результати проведених досліджень з використання мікрозелені у харчовій промисловості для виготовлення харчових продуктів різного функціонального призначення, встановлено споживчі властивості мікрозелені різних сільськогосподарських культур, подано переваги використання їх в харчовій промисловості. Досліджено лікувальні властивості мікрозелені, а також їх вплив на здоров'я людини. Розглянуто особливості вирощування, зберігання та транспортування. Встановлено, що подальше використання мікрозелені в харчовій промисловості потребує подальших досліджень споживчих властивостей, які враховували вплив їх на організм людини, тобто санітарно-гігієнічні, антисептичні, біологічні властивості, а також їх енергетичну та лікувальну цінність. Окрім того, на сьогодні не вирішеними та актуальними залишаються питання з розроблення ресурсозберігаючих технологій з переробки та зберігання готової сировини, що дозволить значно подовжити термін зберігання та використання сировини, що в майбутньому призведе до можливості використання цієї сировини не тільки на вітчизняних, але й на європейських ринках.

Ключові слова: харчова промисловість, мікрозелень, функціональність, біологічно-активні речовини, споживчі властивості, показники якості, органічні речовини, сполуки, вітаміни, амінокислоти.

GORACH OLGA O., RESVIH NINA I.
Kherson State Agrarian and Economic University

CONSUMER PROPERTIES OF MICROGREEN AND FEATURES OF APPLICATION IN THE FOOD INDUSTRY

The paper presents the results of research on the use of microgreens in the food industry for the manufacture of food products for various functional purposes, established the consumer properties of microgreens of different crops, the benefits of their use in the food industry. Current trends in the formation of a healthy diet dictate the need to create new products with increased biological and physiological value. An important role in this is played by the possibility of using raw materials grown in the immediate vicinity of the places of its processing. This significantly reduces the cost of transportation and storage of raw materials, expand the range of food. Improving the nutrition of the population is possible through the use in the recipe of natural plant raw materials, traditionally grown, collected, prepared and processed in Ukraine, which has high biological value is an important scientific and technical task of the food industry. Demands for food products are growing – they must not only meet the established, traditional tastes of consumers, but also belong to the category of healthy foods, not harm the human body, but strengthen it. There is a new need for nutrition, in which the necessary component of food is recognized not only useful but also dietary fiber.

The medicinal properties of microgreens and their effects on human health have been studied. Features of their cultivation, storage and transportation are considered. It is established that the further use of microgreens in the food industry requires further studies of consumer properties, which took into account their impact on the human body, ie sanitary, antiseptic, biological properties, as well as their energy and medicinal value. In addition, today the issues of developing resource-saving technologies for processing and storage of finished raw materials remain unresolved and relevant, which will significantly extend the shelf life and use of raw materials, which in the future will lead to the use of these raw materials not only domestic but also European markets.

Studies to determine the consumer properties of microgreens, we conclude that it contains a large number of vitamins, essential amino acids, minerals such as calcium, potassium, phosphorus, magnesium, iodine, iron, etc. and chlorophyll, in addition, has a preventive and curative effect. It strengthens the immune system, increases the body's efficiency, has a beneficial effect on the endocrine and nervous systems, improves kidney function, improves cardiovascular function, reduces capillary permeability and has anti-inflammatory effects, and sulforaphane has anti-cancer and antibacterial effects. However, the further use of microgreens in the food industry requires further studies of consumer properties, which took into account their impact on the human body, ie sanitary, antiseptic, biological properties, as well as their energy and medicinal value.

Key words: food industry, microgreens, functionality, biologically active substances, consumer properties, quality indicators, organic substances, compounds, vitamins, amino acids.

Постановка проблеми

Харчування – один з найбільш важливих факторів, що визначають здоров'я людини. Харчовий раціон з використанням продуктів, максимально збалансованих за основними властивостями відповідно до фізіологічних потреб, умовами проживання та роботи – одне з найважливіших умов нормального росту і розвитку людини.

Сучасні тенденції формування здорового раціону харчування диктують необхідність створення нових продуктів з підвищеною біологічною і фізіологічною цінністю. Важливу роль у цьому відіграє можливість використання сировини, що вирощується в безпосередній близькості від місць його переробки. Це дозволяє помітно скоротити витрати на транспортування і зберігання сировини, розширити асортимент продуктів харчування.

Поліпшення харчування населення можливо за рахунок використання в рецептурі харчових продуктів натуральної рослинної сировини, традиційно вирощеної, зібраної, підготовленої та переробленої в

Україні, що володіє високою біологічною цінністю є важливим науково-технічним завданням харчової промисловості.

Зростають вимоги до харчових продуктів – вони повинні не тільки відповідати сформованим, традиційним смакам споживачів, але і ставитися до категорії продуктів здорового харчування, не шкодити людському організму, а зміцнювати його. Виникла нова потреба в харчуванні, при якому необхідним компонентом їжі визнані не тільки корисні, але і харчові волокна.

Аналіз останніх джерел

В роботі наведено дані про використання мікрозелені у раціоні харчування, приведені переваги використання її в раціон харчування. Відомо, що на сьогоднішній день до інноваційних продуктів відносять ті продукти харчування, які мають профілактичний або лікувальний ефект на організм людини. До одних з таких інноваційних продуктів відносять мікрозелень, яку можна виростити в домашніх умовах без застосування особливих прийомів та техніки вирощування.

Започатковано вирощування мікрозелені було в США. Мікрозелень почала з'являтися в меню шеф-кухарів ще у 1980-х роках в Сан-Франциско (штат Каліфорнія). У Південній Каліфорнії, мікрозелень почали вирощувати приблизно з середини 1990-х років. На початку використання мікрозелені, як продукту харчування з високим вмістом органічних сполук використовували не багато їх різновидів. В основному для цих цілей використовували такі культури, як рукола, базилік, буряк, капуста, кінза та суміш під назвою Rainbow Mix. На сьогодні мікрозелень вирощують у багатьох регіонах США і з кожним роком різноманітність її видів збільшується. У США з'явилося багато дрібних виробників, що продають свою зелень на фермерських ринках або в ресторанах. Дрібний пластиковий контейнер із дренажними отворами, такий як плоский ящик для розсади або розфасовочний салатний ящик, дозволяє вирощувати паростки в невеликому масштабі. Вирощування та збут високоякісної мікрозелені в комерційних масштабах є набагато складнішим.

Основною перевагою застосування мікрозелені у харчовій індустрії є те, що вона швидко зростає. Урожай можна знімати через 7–10 днів після посадки, вона не потребує спеціального місця для вирощування, достатнє місця на підвіконні. Зелень можна вирощувати цілий рік, особливо це актуально в зимово-весняний період, коли людський організм гостро потребує вітамінів. Окрім, позитивного впливу на організм людини та досить зручного та практичного вирощування, використання мікрозелені в сирому вигляді, може суттєво зекономити час на приготування їжі.

Метою роботи є дослідити актуальність використання в харчовій промисловості мікрозелені різних сільськогосподарських культур з метою збагачення харчових продуктів поживними та корисними речовинами, які мають профілактичний й лікувальний ефект на організм.

Виклад основного матеріалу

На основі проведеного аналізу літературних джерел з використання мікрозелені у продуктах харчування, дозволяє зробити висновок, що на сьогоднішній день ця сировина є перспективною й відноситься до інноваційних продуктів харчування. Використання мікрозелені в раціоні харчування дозволяє наповнити організм людини поживними органічними речовинами, такими як білки, вітаміни (С, В, К, Е), каротиноїди, мінерали та інші корисні елементи (калій, кальцій, фосфор, магній, залізо, йод, сірка), а також ефірні олії.

Мікрозелень дуже часто називають сучасним суперфудом, оскільки дозволяє поповнити організм людини поживними органічними речовинами, вітамінами та мікроелементами. В якості мікрозелені можуть використовуватися практично всі культури. Ці молоді рослини не піддаються жодним впливам навколишнього середовища, тому несуть максимум користі. Вченими було доведено, що в мікрозелень міститься у 100 разів більше ферментів, ніж у сирі овочі, оскільки вона перебуває в активній стадії зростання. За перші 10 днів свого життя мікрозелень не встигає накопичити в собі шкідливих речовин з атмосфери і живе в екологічно чистих умовах. Крім того, відкритті останнім часом медико-гігієнічні властивості мікрозелені, а саме вміст в ній великої кількості бета-каротину призвело до використання її у повсякденному раціоні харчування. З медичної точки зору, корисні властивості мікрозелені пов'язані з тим, що вона блокує ультрафіолетове випромінювання, захищаючи нашу шкіру, волосся і нігті від негативного впливу навколишнього середовища [1].

Проведені наукові дослідження з вивчення складу мікрозелені свідчать проте що у пророщених паростках міститься дуже багато рослинного білка, вітамінів (С, В, К, Е), каротиноїдів, мінералів та інших корисних елементів (калію, кальцію, фосфору, магнію, заліза, йоду, сірки), а також вона характеризується високим вмістом ефірних олій. Кожен із цих компонентів позитивно впливає на людський організм.

Дослідження властивостей окремих компонентів дозволяють встановити позитивний вплив на організм людини. Так, фолієва кислота потрібна для утворення нових клітин крові, що особливо важливо для жінок, які планують завагітніти. Вітамін С – це найкращий антиоксидант. Каротиноїди сприяють кращій роботі імунітету. Рутин запобігає формуванню тромбів і має протизапальний ефект. Хлорофіл – це відомий антиоксидант з протипухлинною дією. Також особливістю вживання мікрозелені є її лікувальна дія на організм. При регулярному вживанні мікрозелені можна поліпшити функціонування серцево-судинної, травної, нервової, репродуктивної та ендокринної систем. Крім того, мікрозелень продовжує молодість,

покращують стан шкіри, нігтів та волосся, а також є дієтивною їжею з мінімальним вмістом калорій [2]. В якості мікрозелені, можуть бути використані насіння різних культур, оскільки виростити мікрозелень можливо практично з усіх рослинних культур, а саме зернових, бобових та овочевих, окрім рослин сімейства пасльонові (картопля, помідори, баклажани та перець), тому що в їх проростках міститься соланін, який є отруйною речовиною і може призвести до проблем із травленням. Також не варто вирощувати гарбузові рослини, оскільки мікрозелень з них виходить гірка. Паростки квасолі містять токсичні речовини, якими можна отруїтися.

Асортимент мікрозелені налічує десятки різних культур, але найпопулярнішими є: буряк, редис, соняшник, горох, капуста, крес-салат, соя, овес, гречка, гірчиця, дайкон, кінза, амарант [3]. Вчені зі США провели аналіз вмісту вітамінів С, Е, К, бета-каротину та інших каротиноїдів у 25 комерційно доступних видах мікрозелені. Загалом вміст перелічених вітамінів і каротиноїдів у мікрозелені виявилось приблизно у 5 разів більше, ніж у зрілих аналогах рослин. Щоб виростити мікрозелень, використовують тільки екологічно чисте насіння мікрозелені, яке не було раніше протруєне або було зібране власноруч.

На смак мікрозелень різних культур відрізняється. Зелені паростки за смаковими якостями нагадують плоди дорослої рослини, але є ніжнішими та ароматнішими. Для любителів пікантності підійдуть гірчиця, цибуля, кінза та редиска, а для любителів солодкої їжі, варто звернути свою увагу на соняшник, кукурудзу, амарант та горошок.

Характеризуючи мікрозелень з анатомічної та морфологічної будови це пророщені рослини у фазі листя сім'ядолі заввишки до 15 см, що мають 1–2 листки. Мікрозелень вирощують із насіння звичайної зелені та насіння зернових культур. Не використовуються пасльонові, оскільки вони містять алкалоїди. Від посіву насіння до збирання врожаю потрібно 10–14 днів. Споживчі властивості мікрозелені різних культур наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Споживчі властивості мікрозелені різних культур

№ з/п	Мікрозелень	Термін пророщення, діб	Біологічна цінність	Вплив на здоров'я
1	Люцерна	5–12	Вітаміни, мінералами, 14 амінокислот, які необхідні для правильного функціонування нашого організму і запобігання ряду хвороб	Прискорює загоєння ран; очищає організм; корисна для шкіри; захищає від остеопорозу; сприяє втраті ваги
2	Горох	10–12	Вітаміни: С, РР, групи В, А, Е, мінеральні речовини: фосфор, марганець, залізо, калій, йод, кальцій, мідь, магній, бета-каротин, фолієву кислоту, каротиноїди, ферменти, хлорофіл, антиоксиданти	Забезпечення організму енергією; запобігання утворенню тромбів; підтримання імунітету; запобігає старінню стінок судин; поліпшення кровообігу
3	Рукола	3–5	Вітамін С, каротин, йод	Зміцнює імунітет; інтенсивно впливає на обмін речовин; сприяє виведенню холестерину
4	Чіа	10–12	Рослинний білок, здорові жири, клітковину	Надає організму витривалість і силу; зміцнюючи кровоносні судини; покращує кровотворення, обмін речовин
5	Соняшник	1–2	Йод, фосфор, магній, кальцій, цинк, вітаміни Е і К, фолієву кислоту	Допомагає боротися з болем в суглобах; корисний для нормалізації кислотно-лужного балансу; очищає організм від токсинів і шлаків
6	Спаржа	7–10	Калій, вітамін А	Стимулює роботу нирок; позитивно впливає на роботу кишківника; для здоров'я і краси шкіри, нігтів і волосся
7	Амарант	2–3	Вітаміни, фітостерини, які мають властивості зменшення холестерину	Запобігає виникненню раку; запобігає серцево-судинних захворювань; активізує травлення
8	Ріпа	2–3	Вітаміни К, А, С, Е і В6, фолієва кислота, мідь, марганець, харчові волокна, кальцію, калію, магнію, залізо, фосфор	Запобігає відшаруванню сітківки; сприяє здоров'ю кісток; збільшує вироблення червоних кров'яних тілець

№ з/п	Мікрозелень	Термін пророщення, діб	Біологічна цінність	Вплив на здоров'я
9	Ячмінь	1–2	Білки, харчові волокна, вітамін Е, бета-каротин, мінерали	Покращує травлення; контролює рівень цукру в крові (діабет); запобігає серцевим захворюванням і раку
10	Буряк	2–3	Зміцнює імунітет, містить вітаміни К, С і Е, бета-каротин і лютеїн	Знижують ймовірність розвитку серцевих захворювань та інсульту; захищають від раку легенів; підвищують імунну функцію
11	Броколі	1–2	Вітаміни А, С, К, розчинні волокна, сірка, білки і кальцій	Покращує здоров'я кісток; травлення та інші важливі функції людського організму; відмінний засіб з оздоровчими та протипухлинними властивостями
12	Гречка	2–3	Мікрозелень гречки містить «отруйну» речовину фагопірин, помірне вживання не принесе проблем, але надмірне може викликати проблеми з чутливістю шкіри	Здатна підвищити імунітет; поліпшити травний тракт і поповнити організм запасами поживних речовин; мікрогрін запобігає розвитку раку, набрякам ніг, атеросклерозу
13	Морква	2–3	Вітамін А, який допомагає запобігти втраті зору, клітковину, яка допомагає травленню; вітамін К, магній, кальцій, фолієва кислота, калій	Допомагає запобігти втраті зору, допомагає травленню, містить велику кількість поживних речовин
14	Пшениця	2–3	Поживні речовини, вітаміни А, С, В, амінокислоти, мінерали	Запобігає розвитку раку. знижує рівень холестерину в крові; сповільнює старіння

Таким чином, мікрозелень є корисним харчовим продуктом. Окрім вітамінів, вона містить мінеральні елементи (кальцій, калій, фосфор, магній, йод, залізо тощо), незамінні амінокислоти, хлорофіл. Регулярне вживання мікрозелені зміцнює імунітет, підвищує працездатність організму, сприятливо впливає на ендокринну та нервову системи, покращує роботу нирок. Мікрозелень містить нерозчинну клітковину, яка сприяє виведенню токсинів та шлаків, а також посилює перистальтику кишечника. Рутин, що міститься в мікрозелені, зменшує проникність капілярів і має протизапальну дію, а сульфорафан має протиракову та антибактеріальну ефекти [4].

Перевагою мікрозелені є невибагливість її до світла, тепла, простору. Для отримання врожаю потрібні широкі піддони та субстрат – земля чи джут залежно від вибраної культури. Висвітленням можуть бути лампи, закріплені у верхній частині стелажу з відривом 50–60 см. За один цикл – 10–12 днів при площі 4 м² можна отримати 20 кг пагонів. На рис. 1 зображено техніку вирощування мікрозелені.



Рис. 1. Техніка вирощування мікрозелені

Найбільша кількість корисних поживних речовин міститься у свіжій мікрозелені. При зберіганні їх кількість знижується. Зрізана мікрозелень більш схильна до дії зовнішніх факторів і гнильних мікроорганізмів, які можуть проникати з її поверхні в більш глибокі шари, викликаючи їх розкладання [2]. Чим більше обсіменіння, тим швидше відбувається розкладання і тим коротший термін зберігання. У середньому термін зберігання мікрозелені становить 2–3 доби.

Недоліком мікрозелені є те, що вона має короткий термін зберігання. Найкраще адаптована гречана мікрозелень до зберігання та транспортування. Вченими розроблено спосіб зберігання мікрозелені з гречки зі збереженням її якості упродовж більш ніж 14 днів, що є ваговим результатом. Найчастіше для зберігання та транспортування в комерційних цілях застосовуються пластикові контейнери із кришкою, які не забезпечують правильний баланс кисню та вуглекислого газу для дихання будь-якої живої зелені. Також

використовується в якості пакувальних матеріалів тара із плівки, яка відрізняється від пластикових контейнерів швидкістю передачі кисню. Тому питання зберігання мікрозелені, як готового продукту харчування є актуальним питанням та потребує подальших глибоких наукових досліджень та виробничих випробувань.

Висновки

На основі проведеного аналізу наукових досліджень з питань застосування мікрозелені в харчовій промисловості як джерела поживних та корисних речовин з високою біологічною цінністю можна зробити висновок, що вона є цінною продовольчою сировиною. Проведені дослідження з визначення споживчих властивостей мікрозелені, дозволяють зробити висновок, що вона містить велику кількість вітамінів, незамінних амінокислот, мінеральних елементів таких як: кальцій, калій, фосфор, магній, йод, залізо тощо та хлорофіл, окрім цього має профілактичний та лікувальний ефект. Дозволяє зміцнити імунітет, підвищує працездатність організму, сприятливо впливає на ендокринну та нервову системи, покращує роботу нирок, покращує роботу серцево-судинної системи, зменшує проникність капілярів і має протизапальну дію, а сульфорафан має протиракову та антибактеріальну ефекти. Однак подальше використання мікрозелені в харчовій промисловості потребує подальших досліджень споживчих властивостей, які враховували вплив їх на організм людини, тобто санітарно-гігієнічні, антисептичні, біологічні властивості, а також їх енергетичну та лікувальну цінність. Окрім того, на сьогоднішній день не вирішеними та актуальними залишаються питання з розроблення ресурсозберігаючих технологій з переробки та зберігання готової продукції, що дозволить значно подовжити термін зберігання та використання сировини, що в майбутньому призведе до можливості використання цієї продукції не тільки на вітчизняних, але й на європейських ринках. Тому розроблення, розширення та систематизація споживчих характеристик мікрозелені в якості продовольчої сировини з різних сільськогосподарських культур є важливим завданням сьогодення, враховуючи тенденції розвитку інноваційних технологій у світі та в Україні.

Література

1. Борисенко А.А. Алгоритмы и комплекс программ для разработки рецептур и оценки качества нутриентно сбалансированных поликомпонентных пищевых продуктов : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» / А.А. Борисенко. – 2006. – 22 с.
2. Мікрогрін: що це, види, як вирощувати в домашніх умовах [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://bhub.com.ua/uk/mikrogrin-shho-tse-vydy-yak-vyroshhuvaty-v-domashnih-umovah/>
3. Малинкина Е. Вся правда о микрозелени [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.supersadovnik.ru/text/vsja-pravda-o-mikrozeleni-1007233/>
4. Specialty Greens Pack a Nutritional Punch. USDA ARS Online Magazine. Vol. 62 № 1. URL: <https://agresearchmag.ars.usda.gov/2014/jan/greens/>

References

1. Borisenko A.A. Algoritmy i kompleks programm dlya razrabotki receptur i ochenki kachestva nutrientno sbalansirovannykh polikomponentnykh pishemykh produktov : avtoref. dis. na zdobuttya nauk. stupenya kand. tehn. nauk : spec. 05.13.18 «Matematicheskoe modelirovanie, chislennyye metody i komplekсы programm» / A.A. Borisenko. – 2006. – 22 s.
2. Mikrogrin: shcho tse, vydy, yak vyroshchuvaty v domashnikh umovakh [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://bhub.com.ua/uk/mikrogrin-shho-tse-vydy-yak-vyroshhuvaty-v-domashnih-umovah/>
3. Malinkina E. Vsyа pravda o mikrozeleni [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : <https://www.supersadovnik.ru/text/vsja-pravda-o-mikrozeleni-1007233/>
4. Specialty Greens Pack a Nutritional Punch. USDA ARS Online Magazine. Vol. 62 № 1. URL: <https://agresearchmag.ars.usda.gov/2014/jan/greens/>

Рецензія/Peer review : 05.09.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.10.2021 р.

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

DOI 10.31891/2307-5732-2021-301-5-18-21

УДК 004.421.5:004.942

ГУРМАН І. В.

Хмельницький національний університет

ORCID ID: 0000-0002-2282-3484

e-mail: devastator192@gmail.com

ПЕТЛЯК Н. С.

Університет економіки і підприємництва, м.Хмельницький

ORCID ID: 0000-0001-5971-4428

e-mail: npetlyak@khmnu.edu.ua

ЧЕШУН В. М.

Хмельницький національний університет

ORCID ID: 0000-0002-3935-2068

e-mail: cheshunvn@khmnu.edu.ua

ДЖУЛІЙ А. В.

Університет економіки і підприємництва, м.Хмельницький

ORCID ID: 0000-0001-5011-3052

e-mail: kksmkhnu@gmail.com

ЧОРНЕНЬКИЙ В. І.

Університет економіки і підприємництва, м.Хмельницький

ORCID ID: 0000-0002-0576-7097

e-mail: vitnel@ukr.net

ВИЗНАЧЕННЯ ЕНТРОПІЙНОЇ СКЛАДОВОЇ ПОКАЗНИКІВ ДАТЧИКІВ ДЛЯ ГЕНЕРАЦІЇ КРИПТОКЛЮЧІВ МОБІЛЬНОГО ДОДАТКУ СИСТЕМИ КЛІЄНТ-БАНК

У роботі представлено результати дослідження датчиків пристроїв мобільного зв'язку як джерела ентропії для генерації криптоключів мобільного додатку системи клієнт-банк. Результати підтверджують наявність в значеннях показників датчиків складової, придатної для використання в якості джерела первинної ентропії для генераторів псевдовипадкових чисел за криптографічними алгоритмами з подальшим застосуванням в роботі генераторів криптоключів в сервісах мобільного банкінгу системи клієнт-банк.

Ключові слова: датчик, ентропія, генератор псевдовипадкових чисел, мобільний банкінг.

GURMAN IVAN V., CHESHUN VIKTOR.M. PETLIAK NATALIIA S.

Khmelnitsky National University, Khmelnytsky, Ukraine

DZHULIY ANDRII.V., CHORNENKYI VITALII I.

University of Economics and Entrepreneurship, Khmelnytsky, Ukraine

DETERMINATION OF ENTROPY COMPONENT IN SENSOR INDICATORS FOR GENERATION OF CRYPTOGRAPHIC KEYS OF THE MOBILE APPLICATION OF THE CLIENT-BANK SYSTEM

The rapid penetration of the banking market of mobile banking creates not only new opportunities and conveniences, but also new risks and threats, which leads to increased requirements for information security of mobile services. One of the important components of the security of the mobile banking service of the client-bank system is the protection mechanisms based on the use of cryptographic keys. The stability of cryptographic keys is a guarantee of system reliability and, in turn, is based on the mechanisms of generating pseudo-random numbers using primary sources of entropy, for the effective use of which it is necessary to determine the type and capabilities of the source.

The paper presents the results of the study of sensors of mobile communication devices as a source of entropy for generating cryptokeys of a mobile application of the client-bank system. An accelerometer, a temperature sensor, a gyroscope, a light brightness sensor, a magnetic field sensor, an atmospheric pressure sensor, a distance sensor, and a humidity sensor are considered as a source of entropy. The results of the research confirm the presence in the values of the sensors of mobile communication devices of a component suitable for use as a source of primary entropy for generators of pseudo-random numbers by cryptographic algorithms. In turn, pseudo-random number generators built with the use of mobile device sensors can be the basis of high-entropy cryptographic key generators in the client-bank system mobile banking services.

The obtained results are focused on the implementation of algorithms and means of generating high-entropy pseudo-random numbers and can be used to reduce the risks of unauthorized access to customer information in the client-bank system by disclosing cryptokeys in mobile banking services.

Keywords: sensor, entropy, pseudo-random number generator, mobile banking.

Постановка проблеми

Сучасна банківська система – складний механізм з підвищеними вимогами щодо надійності, який базується на використанні різноманітних сервісів організації доступу до банківських послуг. До типових сервісів банківських послуг належить комп'ютерний банкінг (PC banking), телефонний банкінг (Phone banking), SMS-банкінг (SMS banking), WAP-банкінг (WAP banking), мобільний банкінг (Mobile banking), Internet-банкінг (Internet banking), WEB banking, Online banking) тощо [1, 2]. Особливою популярністю

останнім часом користується мобільний банкінг, який набуває все більшого поширення через повсюдне розповсюдження пристроїв мобільного зв'язку (ПМЗ), повсюдну доступність і зручність сервісу.

Стрімке вторгнення на ринок банківських послуг мобільного банкінгу створює не лише нові можливості і зручності, але і нові ризики та загрози, що зумовлює підвищені вимоги до інформаційної безпеки мобільного сервісу. Для захисту сервісів системи клієнт-банк використовуються механізми електронного цифрового підпису, хеш функцій, розповсюдження ключів сесії із застосуванням алгоритмів асиметричного шифрування, симетричне шифрування та захищений протокол передачі і автентифікації [2, 3]. Більшість із зазначених механізмів базується на використанні криптоключів (ключів сесії, ключів підпису тощо), для генерації яких використовуються різні способи і засоби генерації псевдовипадкових чисел як основа забезпечення випадковості, непередбачуваності і криптостійкості значень криптоключів. Вибір засобів і методу формування псевдовипадкових чисел з високим показником ентропії є однією із основних проблем у вирішенні завдань формування криптоключів високої надійності, оскільки генерація якісної випадкової послідовності чисел – найскладніша частина багатьох криптографічних операцій [4,5,6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Генераторам псевдовипадкових чисел (ГПВЧ) присвячена велика кількість наукових досліджень і публікацій, що зумовило появу великої кількості видів та моделей генераторів, а також їх модифікацій. В спеціалізованих криптографічно сильних ГПВЧ в якості джерел ентропії використовується радіоактивний розпад, фізичні явища оптично-квантової механіки, електричні шуми тощо [5, 6], але для масового використання в системах мобільного банкінгу такі ГПВЧ непридатні. Базисом ГПВЧ електронних систем, як правило, є програмні або апаратні методи генерації та їх комбінації [4], але окремий клас ГПВЧ утворюють криптографічні генератори [7], що найчастіше використовуються в електронних банківських сервісах.

Робота криптографічних ГПВЧ базується на методах та алгоритмах сучасної криптографії, стартові значення для яких формуються із застосуванням явищ або засобів, оцінювані параметри яких можуть розглядатися як випадкові. Ці явища використовуються для збільшення ентропії генерованих в різних сеансах послідовностей чисел і розглядаються як джерела первинної ентропії [4,5].

Згідно з презентованими в [8] результатами досліджень, ефективними джерелами ентропійних значень можуть бути широко розповсюджені в сучасному електронному середовищі датчики різного типу, в тому числі датчики IoT. В [9, 10] відзначається перспективність застосування в якості джерел ентропії датчиків сучасних ПМЗ, але особливості їх використання в конкретних застосуваннях потребують подальших досліджень і детального аналізу [10].

Метою роботи є дослідження властивостей датчиків пристроїв мобільного зв'язку як джерела ентропії для генерації криптоключів мобільного додатку системи клієнт-банк.

Виклад основного матеріалу

Спосіб застосування датчиків пристроїв мобільного зв'язку як джерела ентропії для генерації криптоключів мобільного додатку системи клієнт-банк базується на математичній моделі, запропонованій в [11]. Трирівнева модель процесу генерації псевдовипадкових чисел підвищеної ентропії відображує розподіл типових функцій цього процесу за загальним цільовим призначенням, що є характерними етапам процесу формування криптоключів на основі показників датчиків: етап зчитування показників датчиків; етап обробки отриманих значень з виділенням ентропійної складової і представленням їх у форматі, придатному для застосування в роботі криптографічного ГПВЧ; етап генерації криптоключів криптографічним ГПВЧ.

Об'єктом дослідження даної роботи є другий етап, який визначає можливість формування на підставі показників датчиків ПМЗ значення високої ентропії, потрібного для реалізації алгоритму роботи ГПВЧ, а саме з виділення ентропійної складової в значеннях показників датчиків ПМЗ.

При виборі датчиків ПМЗ в якості потенційних джерел ентропії з розгляду були виключені ті, що є залежними від поведінки користувача (датчики початку руху, пульсу, серцевої активності тощо), датчики з бінарним виходом і віртуальні датчики (реалізуються програмно, їх робота базується на показниках інших датчиків, через що додаткової ентропії вони генерувати не можуть) [12].

Таким чином був сформований перелік датчиків, потенційно перспективних в якості джерел ентропії: Type_Accelerometer – акселерометр; Type(Ambient*)_Temperature – датчик температури; Type_Gyroscope – гіроскоп; Type_Light – датчик яскравості світла; Type_Magnetic_Field – датчик магнітного поля; Type_Pressure – датчик атмосферного тиску; Type_Proximity – датчик відстані; Type_Relative_Humidity – датчик вологості.

За результатами 20 послідовних вимірювань показників датчика температури Samsung Galaxy A22 отримано наступні значення (фрагмент пулу вибірки з 10000 значень): 24.375045, 24.425790, 24.381837, 24.315987, 24.435728, 24.359723, 24.370825, 24.356152, 24.391004, 24.386701, 24.379900, 24.411879, 24.424070, 24.339089, 24.436872, 24.420948, 24.448370, 24.426860, 24.368145, 24.372090. З аналізу показників датчика температури можна визначити високу стабільність цілої частини числа, низьку змінюваність десятих часток і фактично хаотичну змінюваність розрядів починаючи від сотих часток числа.

За аналогічними результатами 20 послідовних вимірювань показників акселерометра отримано наступні значення: 9.753255, 9.698901, 9.690168, 9.775196, 9.817273, 9.752594, 9.737145, 9.788312, 9.770896, 9.768726, 9.671298, 9.732452, 9.712309, 9.813275, 9.740949, 9.784542, 9.785174, 9.704438. В роботі

акселерометра також можна визначити високу стабільність цілої частини числа, низьку змінюваність десятих часток і фактично хаотичну змінюваність розрядів починаючи від сотих часток числа.

Нестабільність значень молодших розрядів дробової частини показників датчиків в сталих умовах проведення експерименту зумовлена похибкою вимірювань, яка утворюється через недосконалість самого датчика та можливі внутрішні і зовнішні впливи на роботу ПМЗ. При цьому похибка є статистично непередбачуваною, що свідчить на користь зазначеної частини числа як носія ентропії.

Аналіз виділених в якості джерела ентропії розрядів числа навіть на такій невеликій вибірці дозволяє зробити висновок про відносно рівномірний розподіл значень десяткових цифр в числах від 17 до 26 повторів для окремих значень 0–9.

Для унаочнення результату експерименту були сформовані гістограми статистики появи окремих десяткових цифр в молодших розрядах дробової частини числа для повного пулу з 10000 значень. На рис. 1 наведено гістограми, побудовані за показниками акселерометра.

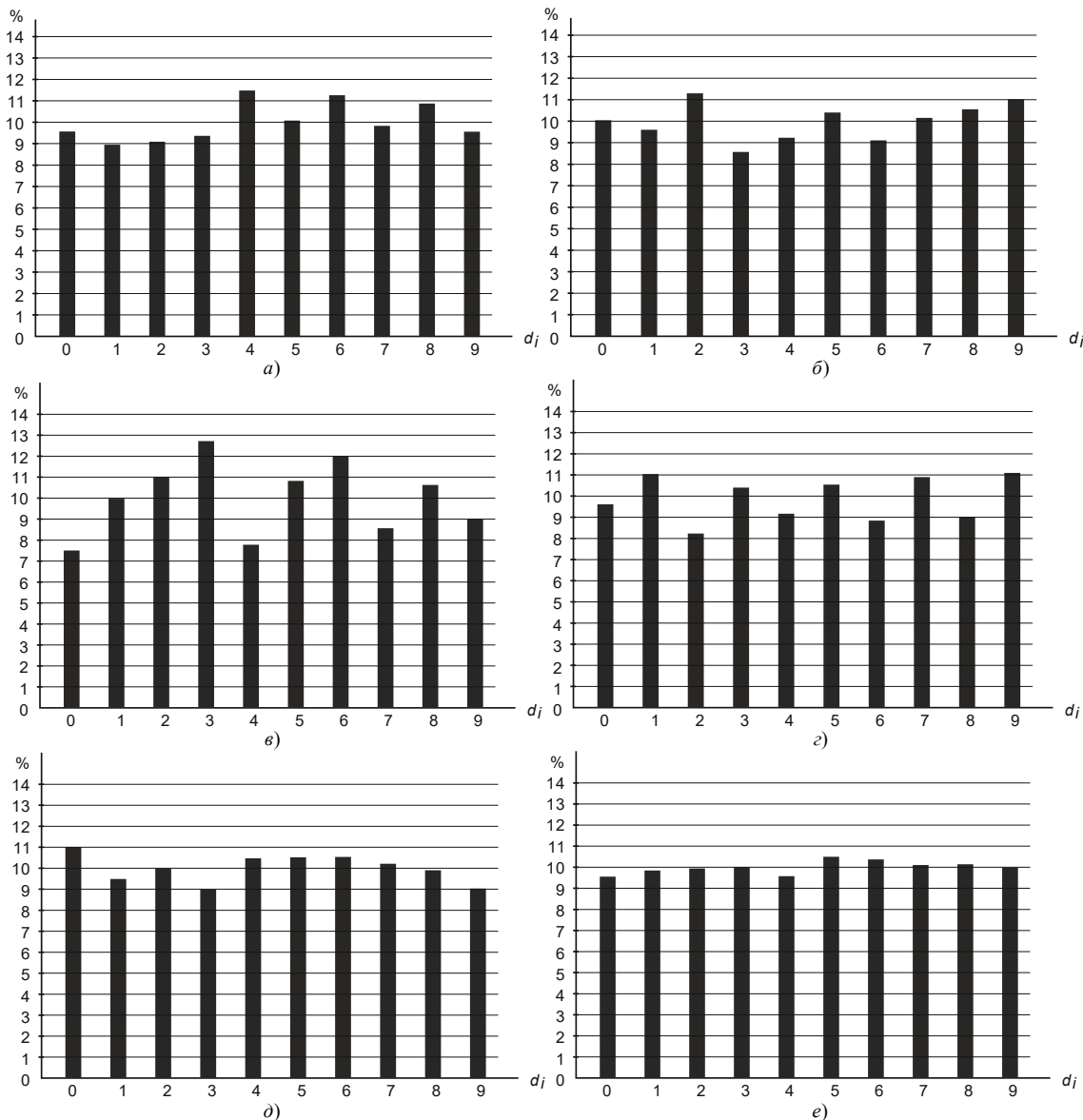


Рис. 1. Гістограми порозрядного аналізу ентропійної складової значень показників акселерометра: а) розряд X_2 ; б) розряд X_3 ; в) розряд X_4 ; г) розряд X_5 ; д) розряд X_6 ; е) усереднені показники розрядів X_2-X_6

Статистичний аналіз отримуваних в експерименті результатів і їх гістограм свідчить про відсутність будь-якої залежності між наявними в окремих розрядах значеннями цифр, а також про відносно рівномірний розподіл вказаних значень між розрядами. Аналогічний висновок можна зробити за результатами дослідження різних моделей ПМЗ в стаціонарному і рухомому режимах. Крім того, багаторазне повторення експерименту дає подібні середньостатистичні результати зі змінюваними статистичними даними за усередненими показниками, але демонструє відсутність залежності в характері відхилення статистики появи цифр в будь-якому розряді від усередненого значення 10 % щодо окремих розрядів.

Проведене дослідження характеру розподілу 0 і 1 в двійкових векторах ентропійної складової показників датчиків ПМЗ також свідчить про відсутність будь-якої залежності між отримуваними в окремих розрядах значеннями цифр, а також про рівномірний розподіл вказаних значень між розрядами.

Дослідження властивостей датчиків температури, магнітометра, освітленості, барометра та ряду інших датчиків дозволило дійти висновку, що в показниках кожного з них в дробовій частині можна знайти вектор з якісною ентропійною складовою, придатною для використання в якості джерела ентропії в реалізації ГПВЧ.

Висновки

Результати проведених досліджень підтверджують наявність в значення показників датчиків пристроїв мобільного зв'язку складової, придатної для використання в якості джерела первинної ентропії для генераторів псевдовипадкових чисел за криптографічними алгоритмами. В свою чергу, побудовані з використанням датчиків мобільних пристроїв генератори псевдовипадкових чисел можуть бути основою генераторів криптоключів підвищеної ентропії в сервісах мобільного банкіngu системи клієнт-банк.

Література

1. Геселева Н.В. Інформаційна система підтримки електронних платежів через Інтернет / Н.В. Геселева, Г.В. Пронюк, В.В. Добровольський // Економіка і суспільство, 2018. – Випуск №14. – С. 1005–1010.
2. Система «iBank 2» для корпоративних клієнтів. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ibank.otpbank.ru/Corporate_Internet-Banking_Guide.pdf.
3. Безпека Інтернет-банкіngu в Україні: практичні аспекти [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://bankchart.com.ua/e_banking/statti/bezpeka_internet_bankingu_v_ukrayini_praktichni_aspekti.
4. Горицький В.М. Генерація випадкових послідовностей для систем управління ключами / В.М. Горицький, О.В. Снежок, М.С. Височіненко // Сучасний захист інформації, 2012. – №4. – С. 88–95.
5. Грінченко Т. О. Квантові генератори випадкових чисел в криптографії / Т. О. Грінченко, О. П. Нарезній // Системи обробки інформації. – 2015. – Вип. 10. – С. 86–89.
6. Heat transfer and entropy generation in a microchannel with longitudinal vortex generators using nanofluids / Amin Ebrahimia, Farhad Rikhtegar, Amin Sabaghana, Ehsan Roohia Energy // Energy. – Volume 101, 15 April 2016. – P. 190–201.
7. Фауре Е. В. Синтез і аналіз псевдовипадкових послідовностей на основі операцій криптографічного перетворення / Е. В. Фауре, С. В. Сисоєнко, Т. В. Миرونюк // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2015. – Вип. 4. – С. 85–87.
8. Florin Răstoceanu, Răzvan Rughinis, Stefan-Dan Ciocîrlan, Mihai Enache. Sensor-Based Entropy Source Analysis and Validation for Use in IoT Environments. Electronics, 10, 1173. – 2021 – 28 p.
9. Christine Hennebert, Hicham Hossayni, Cédric Lauradoux. Entropy harvesting from physical sensors. Proceedings of the sixth ACM conference on Security and privacy in wireless and mobile networks, 2013. P. 149–154.
10. Na Lv, Tianyu Chen, Yuan Ma. Analysis on Entropy Sources based on Smartphone Sensors. ICCNS 2020: The 10th International Conference on Communication and Network Security, November 2020. P. 21–31.
11. Модель генератора криптоключів з джерелами ентропії для системи клієнт-банк / В. С. Орленко, В. М. Чешун, О. С. Андрощук, А. І. Катаєва // Міжнародний науково-технічний журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах» – 2020. – № 2. – С. 103–112.
12. Функціональна реалізація генератора криптоключів з джерелами ентропії для мобільного банкіngu / О. С. Андрощук, Ю. П. Кльоц, В. С. Орленко, В. М. Чешун // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2021. – № 1. – С. 7–11.

References

1. Gheseleva N.V. Informacijna sistema pidtrymky elektronnykh platezhiv cherez Internet / N.V. Gheseleva, Gh.V. Pronjuk, V.V. Dobrovolskyj // Ekonomika i suspiylstvo, 2018. – Vypusk #14. – S. 1005–1010.
2. Systema «iBank 2» dlja korporativnykh kljientiv. [Elektronnyj resurs]. – URL: https://ibank.otpbank.ru/Corporate_Internet-Banking_Guide.pdf.
3. Bezpeka Internet-bankingu v Ukrajinі: praktichni aspekty [Elektronnyj resurs]. – URL: https://bankchart.com.ua/e_banking/statti/bezpeka_internet_bankingu_v_ukrayini_praktichni_aspekti.
4. Ghorycjkyj V.M. Gheneracija vypadkovykh poslidovnostej dlja system upravlinnja kljuchamy / V.M. Ghorycjkyj, O.V. Snjezhok, M.S. Vysochinenko // Suchasnyj zakhyt informaciji, 2012. – #4. – S. 88–95.
5. Ghrynenko T. O. Kvantovi gheneratory vypadkovykh chysel v kryptografiji / T. O. Ghrynenko, O. P. Narjezhnij // Systemy obrobky informaciji. – 2015. – Vyp. 10. – S. 86–89.
6. Heat transfer and entropy generation in a microchannel with longitudinal vortex generators using nanofluids / Amin Ebrahimia, Farhad Rikhtegar, Amin Sabaghana, Ehsan Roohia Energy // Energy. – Volume 101, 15 April 2016. – P. 190–201.
7. Faure E. V. Syntez i analiz psevdovypadkovykh poslidovnostej na osnovi operacij kryptografichnogho peretvorennja / E. V. Faure, S. V. Sysojenko, T. V. Myronjuk // Systemy upravlinnja, navighaciji ta zv'jazku. – 2015. – Vyp. 4. – S. 85–87.
8. Florin Răstoceanu, Răzvan Rughinis, Stefan-Dan Ciocîrlan, Mihai Enache. Sensor-Based Entropy Source Analysis and Validation for Use in IoT Environments. Electronics, 10, 1173. – 2021 – 28 p.
9. Christine Hennebert, Hicham Hossayni, Cédric Lauradoux. Entropy harvesting from physical sensors. Proceedings of the sixth ACM conference on Security and privacy in wireless and mobile networks, 2013. P. 149–154.
10. Na Lv, Tianyu Chen, Yuan Ma. Analysis on Entropy Sources based on Smartphone Sensors. ICCNS 2020: The 10th International Conference on Communication and Network Security, November 2020. P. 21–31.
11. Modelj gheneratora kryptokljuchiv z dzherelamy entropiji dlja systemy kljient-bank / V. S. Orlenko, V. M. Cheshun, O. S. Androshuk, A. I. Katajeva // Mizhnarodnyj naukovo-tekhnichnyj zhurnal «Vymirjuvaljna ta obchysljuvaljna tekhnika v tekhnologichnykh procesakh» – 2020. – # 2. – S. 103–112.
12. Funktsionalna realizatsia gheneratora kryptokljuchiv z dzherelamy entropii dlja mobilnogo bankinhu / O. S. Androshchuk, Yu. P. Klots, V.S. Orlenko, V. M. Cheshun // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. – 2021. – № 1. – S. 7–11.

ДЖУЛІЙ В. М.Хмельницький національний університет
ORCID <http://orcid.org/0000-0003-1878-4301>
e-mail: dg2303@ukr.net**КЛЬОЦ Ю. П.**Хмельницький національний університет
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3914-0989>
e-mail: sprklyots@gmail.com**МУЛЯР І. В.**Хмельницький національний університет
ORCID <http://orcid.org/0000-0002-6659-605X>
e-mail: iga2000@yahoo.com**ЖИЛЕВИЧ М. Л.**Хмельницький національний університет
e-mail: dg2303@ukr.net**ДЖУЛІЙ А. В.**Університет економіки і підприємництва, м. Хмельницький
ORCID ID: 0000-0001-5011-3052
e-mail: kksmkhnu@gmail.com

КОНТРОЛЬ ДОДАТКІВ ІНТЕРНЕТ-ТРАФІКА КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ МЕТОДАМИ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Розглянуто актуальне завдання контролю доступу до Інтернет-ресурсів має важливе прикладне значення: блокування доступу до нелегальної, екстремістської, антисоціальної інформації, запобігання розголошенню конфіденційної інформації через Інтернет та ін. Для вирішення подібних завдань широкого поширення набули методи машинного навчання. Одним з найбільш часто використовуваних і ефективних для класифікації мережевого трафіка методів машинного навчання є «випадковий ліс» (Random Forest), що представляє собою ансамблевий метод, який діє шляхом побудови множини вирішальних дерев. Для оцінки ефективності роботи алгоритму Random Forest при класифікації мережевого трафіка за типами прикладних протоколів, що працюють в мережі Інтернет, був здійснений збір трафіка в мережі. Досліджувалися додатки, які генерують пакети, що відносяться до різних протоколів прикладного рівня: BitTorrent, DNS, HTTP, SSL, Skype, Steam. Після відбору інформаційних ознак і попередньої обробки даних сформовані навчальна і тестова вибірки, одна з яких містила фоновий трафік. В результаті застосування алгоритму класифікації Random Forest до отриманих даних знайдені оцінки ефективності роботи даного алгоритму в умовах наявності і відсутності фонового мережевого трафіку.

Ключові слова: моделі, ефективність, алгоритми, мережевий трафік, вирішальні дерева, машинне навчання, фоновий трафік.

DZHULIY VOLODYMYR M., KLYOTS YURII P., MULYAR IHOR V., ZHILEVICH MYKHAILO L.
Khmelnytsky National University
DZHULIY ANDRII V.
University of Economics and Entrepreneurship, Khmelnytsky, Ukraine

CONTROL OF APPLICATIONS OF INTERNET TRAFFIC OF COMPUTER NETWORKS METHODS OF MACHINE LEARNING

The considered actual problem of controlling access to Internet resources has an important applied value: blocking access to illegal, extremist, antisocial information, preventing the disclosure of confidential information via the Internet, etc. For the development of a wide range of enterprises, the methods of machine technology have been developed. One of the most frequently victorious and effective methods for the classification of hedgehog traffic is the Random Forest, an ensemble method, which is a kind of tree path to inspire a multitude of virgins. To assess the effectiveness of the Random Forest algorithm in the classification of network traffic by types of application protocols operating on the Internet, the collection of network traffic was performed. Applications that generate packets related to different application layer protocols were studied: BitTorrent, DNS, HTTP, SSL, Skype, Steam. After selection of information features and preliminary data processing, training and test samples were formed, one of which contained background traffic. As a result of applying the Random Forest classification algorithm to the obtained data, estimates of the efficiency of this algorithm in the presence and absence of background network traffic were found. The presence of background traffic belonging to classes that did not participate in the training of the algorithm significantly impairs the accuracy of classification. It is shown that the number of attributes for traffic classification is not as important as the choice of classification algorithms. The results of the classification at the testing stage showed that the machine learning algorithms using the "decision trees" Random Forest and C4.5 are best suited for classification with a large number of classes. Classification accuracy indicators using AdaBoost and Bagging suggest that in most cases, combining multiple classifiers into an ensemble and making a decision based on "voting" can improve the results of the classification. To achieve classification accuracy, it is sufficient to calculate the classification attributes for a sample containing 5-10 consecutive packets. Accuracy can be improved to 99% and higher if the statistics were calculated on the basis of 35 consecutive packets.

Keywords: models, efficiency, algorithms, network traffic, decision trees, machine learning, background traffic.

Вступ

Задача контролю доступу до Інтернет-ресурсів має важливе прикладне значення: блокування доступу до нелегальної (екстремістської, антисоціальної та ін.) інформації, запобігання доступу до Інтернет-

ресурсів в особистих цілях в навчальний або робочий час, запобігання витоку конфіденційної інформації через Інтернет, що не відповідає політиці або небажану поведінку користувачів, шкідливі програми і атаки, які зазвичай використовують неперевірений канал захищеного трафіку HTTPS [1].

Це можуть бути потенційно небезпечні програми. Вони можуть ставити під загрозу дані і системні активи, впливати на продуктивність праці співробітників і використовувати пропускну здатність мережі. На сьогоднішній день існує безліч як комерційних, так і некомерційних продуктів, які розв'язують подібні задачі. До найбільш поширених комерційних продуктів можна віднести: WebSense, NetNanny.

Кількісні показники при оцінюванні роботи систем фільтрації Інтернет-трафіка наступні: точність аналізу – відсоток правильно відфільтрованих Інтернет-ресурсів; зайве блокування або хибно позитивні помилки – відсоток «хороших» ресурсів, помилково заборонені системою фільтрації.

Для вирішення подібних завдань широкого поширення набули методи, засновані на технологіях математичної статистики і машинного навчання, за допомогою яких невідомі шкідливі програми можуть бути виявлені з визначеним ступенем ймовірності. Даний підхід дозволяє системі, що проектується, легко адаптуватися до постійно змінюваної природи Інтернет-ресурсів та враховувати специфіку аналізу мережевого трафіка [2].

Одним з найбільш часто використовуваних і ефективних для класифікації мережевого трафіка методів машинного навчання є вирішальне дерево. Вирішальне дерево (Decision tree) – розв'язок задачі навчання з учителем, засноване на тому, як вирішує завдання прогнозування людина. У загальному випадку дерево з вирішальними правилами в нелистових вершинах (вузлах) і деякому висновку цільової функції в листових вершинах (прогнозом) [3]. Вирішальне правило – деяка функція від об'єкта, що дозволяє визначити, в яку з дочірніх вершин потрібно помістити даний об'єкт. У листових вершинах можуть перебувати різні об'єкти: клас, який потрібно присвоїти об'єкту який потрапив туди (в задачах класифікації), безпосереднє значення цільової функції (задача регресії) [4].

Випадковий ліс (Random Forest) являє собою ансамблевий метод навчання для класифікації і регресії, який діє шляхом побудови множини вирішальних дерев. Випадковий ліс – є одним з небагатьох універсальних алгоритмів. Універсальність полягає, по-перше, в тому, що він хороший у багатьох задачах (70 % в задачах, що зустрічаються на практиці, якщо не враховувати задачі з зображеннями), по-друге, в тому, що є випадкові ліса для вирішення задач класифікації, регресії, кластеризації, пошуку аномалій, селекції ознак і т.д. RF (random forest) – це множина вирішальних дерев. У задачі регресії їх відповіді усереднюються, в задачах класифікації приймається рішення голосуванням за більшістю. Всі дерева будуються незалежно за наступною схемою: вибирається підвибірка навчальної вибірки розміру $sample_size$ (може бути з поверненням), за нею будується дерево (для кожного дерева своя підвибірка); для побудови кожного розгалуження в дереві переглядаємо $max_features$ випадкових ознак (для кожного нового розгалуження свої випадкові ознаки); вибираються найкращі ознака і розгалуження по ньому (за задалегідь заданим критерієм), дерево будується, як правило, до вичерпання вибірки (поки в листі не залишаться представники тільки одного класу), але в сучасних реалізаціях є параметри, які обмежують висоту дерева, число об'єктів в листі і число об'єктів підвибірки, при якому проводиться розгалуження. Така схема побудови відповідає головному принципу ансамблювання (побудови алгоритму машинного навчання на базі кількох, в даному випадку, вирішальних дерев): базові алгоритми повинні бути хорошими і різноманітними (тому кожне дерево будується на своїй навчальній вибірці і при виборі розщеплення є елемент випадковості).

Постановка задачі

Метою роботи є оцінка ефективності роботи алгоритму Random Forest (RF) в задачах класифікації додатків в умовах наявності і відсутності фонових мережевого трафіка. Однією з головних проблем, яку потрібно вирішити при розробці системи класифікації трафіка використовуючи алгоритми машинного навчання є формування вхідних даних і програмне забезпечення, яке використовується для цих цілей. Вхідні дані представляють собою зразки пакетів, класифікованих згідно з додатками, які їх створили. В даний час не існує єдиного набору вхідних даних, що є стандартом в області класифікації трафіку, як не існує єдиного підходу до їх отримання. У той же час точність алгоритмів машинного навчання безпосередньо залежить від обсягу, якості та репрезентативності набору вхідних даних, що використовувалися в процесі навчання. Тому отримання якісного набору вхідних даних є важливим завданням. Для коректної реалізації машинного навчання слід попередньо вирішити завдання вибору оптимальних атрибутів і скорочення їх кількості, а також дослідити можливості застосування методів кластеризації для попереднього виділення окремих груп протоколів. Алгоритми машинного навчання з використанням «дерев рішень» найкращим чином підходять для класифікації при великій кількості класів [5].

Основна частина

Алгоритм RF опирається на техніку беггінга – використання композиції незалежно навчаючих алгоритмів. В результаті будується множина вирішальних дерев, кожне з окремої випадкової підмножини вхідної вибірки даних, розмір підвибірок співпадає з розміром вхідної вибірки і має повторення [1]. Для i -го дерева генерується випадковий вектор V_n , який не залежить від згенерованих раніше векторів V_1, \dots, V_{n-1} , але має такий же розподіл. Дерево «нарощується» із застосуванням тренувальної вибірки і

вектора V_n , в результаті утворюється класифікатор $g\{x, V_n\}$, де x – вхідний вектор. Древа будуються за допомогою стандартного алгоритму бінарного вирішального дерева.

Розглянемо навчальну вибірку $S^t = \{(x_1, y_1), \dots, (x_t, y_t)\}$, де x_i – вектори інформаційних ознак об'єкта. Множина всіх можливих значень векторів ознак X – простір образів (об'єкт – точка в просторі образів). Стан залежною змінною (мітки класів) y_i можуть приймати тільки кінцеве число значень. З кожною вершиною s дерева пов'язана деяка підмножина простору образів $X_s \subset X$ (з кореневою вершиною зв'язується весь простір образів X). Підвибірка $S_s^t \subset S^t$ навчальної вибірки (з кореневою вершиною зв'язується вся навчальна вибірка S^t). Вирішальне правило $p_s: X \rightarrow \{0, 1, \dots, n_s - 1\}$, де $n_s \geq 2$ – кількість дочірніх вершини s (для бінарного дерева $n_s = 2$), яке визначає розбиття множини X на n непересічних підмножин. Найчастіше в якості вирішального правила береться одна з ознак $x_{i(s)}$. Позначимо $s_{i(s)}$ вершину, що є i -м нащадком вершини s . Множина X_s і функція p_s задають множини: $X_{s_{i(s)}} = X_s \cap \{x \in X : p_s(x) = i\}$. В результаті кожному внутрішньому вузлу відповідає один з вхідних атрибутів, термінальним вершинам відповідають мітки класів. Метою побудови вирішального дерева є класифікація векторів x . Атрибути для кожного дерева вибираються з навчальної вибірки випадковим чином. Атрибути, що відносяться до більш, ніж двом класам, можуть бути відібрані більше одного разу для різних вузлів.

Розгалуження в проміжному вузлі при побудові дерева необхідно проводити так, щоб забрудненість була мінімальною.

Нехай $R(s)$ – деяка підвибірка, пов'язана з вершиною s . Забрудненість вершини $i(s) = 0$, якщо підвибірка $R(s)$ містить екземпляри тільки одного класу, і буде максимальною при однаковій кількості екземплярів кожного класу. В результаті, кількість екземплярів, що належать іншим класам, (домішок), в кожному класі після розбиття має прагнути до мінімуму. Існує кілька мір забрудненості вершини. Найпопулярнішими є ентропійний критерій і критерій Джині.

Ентропійний критерій заснований на понятті кількості інформації, яку містить розгалуження. Ентропію i -го вузла можна обчислити скориставшись співвідношенням $i(s) = -\sum_{i=1}^c E(w_i) \log_2 E(w_i)$, де $E(w_i)$ – частка екземплярів класу w_i в $R(s)$, c – кількість класів.

Критерій Джині оцінює «відстань» між розподілами класів. Ще одна, менш використовувана, міра забрудненості заснована на частоті помилок класифікації. Вона визначається як мінімальна ймовірність того, що екземпляр буде класифікований невірно: $i(s) = 1 - \max_j E(w_j)$.

Чим менше критерій розщеплення, тим краще якість розщеплення. На практиці важливо, щоб забрудненість зменшувалася при переході від вузла до його нащадків. Визначимо зменшення забрудненості на вузлі s як $\Delta i(s) = i(s) - E_L(s_L) - E_R(s_R)$, де E_L і E_R – частки екземплярів лівого (s_L) і правого (s_R) нащадків вузла s відповідно. Формула справедлива тільки для випадку бінарного дерева. Кращим розщепленням вважається те, при якому величина $\Delta i(s)$ максимальна. Як правило, при побудові дерева поняття максимальної $\Delta i(s)$ не є точним, оскільки при виборі оптимального розщеплення не провадиться повний перебір всіх можливих варіантів, а лише проводиться звуження набору до декількох варіантів, з яких потім і вибирається той, за якого отримаємо найбільше значення. Якщо вирощувати повне дерево, поки в листових вершинах не буде досягнута мінімально можлива забрудненість, відбудуться перенавчання моделі, тобто вона просто «запам'ятає» всі варіанти класифікації для тренувальної вибірки і не буде здатна до роботи на тестових даних. В результаті кожна листова вершина буде відповідати за один класифікуємий екземпляр. Якщо ж зупинити розщеплення занадто рано, виявиться досить високою помилка і буде знижена ефективність. Тому важливим завданням є побудова збалансованого дерева, для чого необхідний вибір правильного критерію зупинки розщеплення. Таких критеріїв існує кілька. Один з них – завдання мінімального порогу на число екземплярів у листових вершинах. Як тільки кількість екземплярів в даній вершині стає менше заданого порога, розщеплення зупиняється, і вершина вважається термінальною. Ще один критерій – вибір гранично допустимого значення параметра $\Delta i(s)$. Розщеплення вершини не відбувається, якщо після нього зменшення забрудненості менше заданого порогу. Можна також просто обмежувати глибину дерева. В цьому випадку побудова дерева закінчується, якщо досягнута задана глибина. Поширеним методом є крос-валідація, за якої відбувається оцінка помилки класифікації на тренувальній множині і тестовій. Розщеплення відбувається до тих пір, поки помилка мінімальна.

Використання ранньої зупинки розщеплення має істотний недолік: рішення про зупинку розщеплення приймається без урахування випадку, при якому воно могло б бути продовжено. Тобто, навіть якщо продовженні розщеплення сильно підвищили б ефективність класифікації, така ситуація не розглядається. Існує інший підхід до зменшення дерев – прунінг (pruning, відсікання гілок) повних

вирішальних дерев, коли проміжні вузли замінюються на термінальні і відносяться до більш пріоритетного в піддереві класу. У RF прунінг не використовується, так як має високу обчислювальну складність.

Після побудови всіх дерев ліс організовується як найпростіший ансамблевий класифікатор. Кожне дерево голосує за очікуваний клас і екземпляр визначається в клас, який набрав найбільшу кількість голосів по всіх деревах у лісі.

Алгоритм RF має ряд переваг: низька кількість керуючих параметрів і параметрів моделі; стійкість до перенавчання; не потрібний відбір ознак. Одним з важливих переваг RF є те, що дисперсія моделі зменшується зі збільшенням кількості дерев в лісі, в той час як зміщення залишається незмінним. До недоліків RF можна віднести інтерпретованість, втрати продуктивності через корельованих змінних, і залежність від генератора випадкових чисел.

Проведено побудову випадкового лісу і оцінка якості класифікації на заданій вибірці. Дослідним шляхом були підібрані найбільш прийнятні параметри алгоритму.

Для визначення ефективності алгоритму використовуються наступні метрики: точність, повнота, F1-міра, значення яких легко визначити на підставі матриці помилок класифікації, яка складається для кожного класу окремо. У матриці відображається кількість правильних і не правильних рішень по заданому класу.

Графічне представлення даних метрик отриманих експериментально для всіх проаналізованих класів наведено на рис. 1.

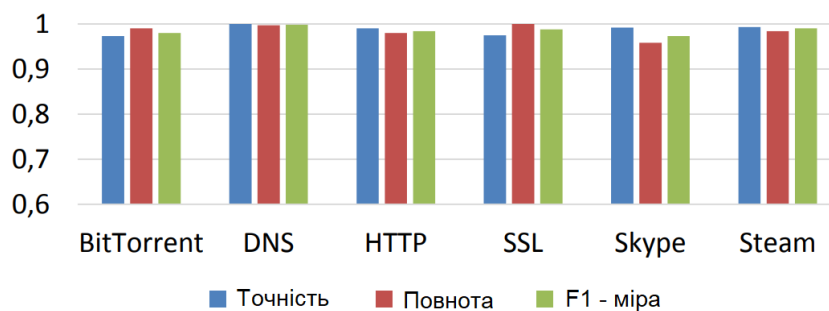


Рис. 1. Точність, повнота, F-міра для тестової вибірки

Видно, що найбільшу ефективність алгоритм має для даних, що відносяться до DNS трафіку. Крім перевірки роботи алгоритму на тестовій вибірці, що має такий же класовий склад, як і навчальна, оцінка його якості проводилася також в умовах присутності фоновий трафіку, тобто в разі, коли в тестовій вибірці були присутні екземпляри класів, відсутніх в навчальній вибірці. Така ситуація, коли в даних, що класифікуються присутній фоновий трафік, більш наближена до дійсності, в силу різноманіття використовуваних в мережі Інтернет протоколів. Такий набір даних дозволяє оцінити роботу алгоритму в реальних умовах. Розглянемо, як змінилися показники якості класифікації (рис. 2).

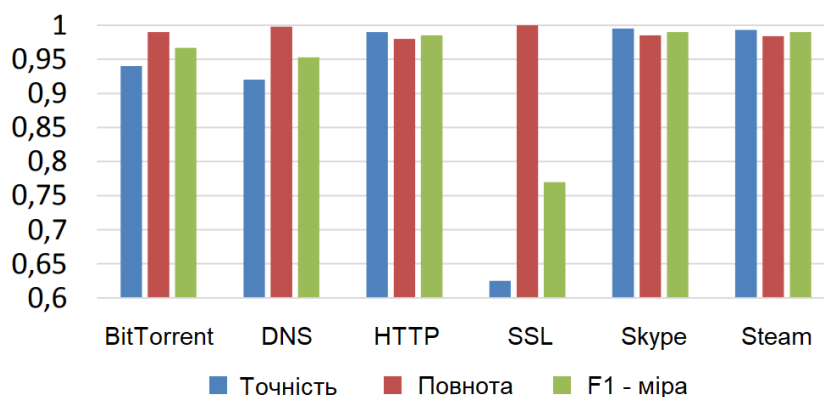


Рис. 2. Точність, повнота, F1-міра при наявності фоновий трафіку

Як видно, наявність фоновий трафіку практично не вплинуло на значення повноти, але значно погіршило значення точності класифікації, оскільки збільшилася кількість False Positive екземплярів появи яких викликано наявністю фоновий трафіку, що належить до класів, які в навчанні не брали участь. Разом з тим, алгоритм RF продемонстрував високу ефективність у режимі offline, про що, зокрема, свідчить F1-міра рівна відповідно 0,987 і 0,759 за відсутності і наявності фоновий трафіку.

Висновки

Для проведення аналізу ефективності алгоритму RF в задачах класифікації мережевого трафіку був зібраний набір даних, що містить потоки, що відносяться до різних протоколів прикладного рівня: BitTorrent,

DNS, HTTP, SSL, Skype, Steam [5]. Проведена оцінка роботи алгоритму RF як на «чистій» тестовій вибірці, так і на вибірці, що містить фоновий трафік у вигляді екземплярів, які відносяться до класів невідомих навченому алгоритму. Показано, що наявність домішок істотно впливає на точність класифікації виконаної за допомогою алгоритму RF. Алгоритм RF продемонстрував високу ефективність в режимі offline, про що, зокрема, свідчить F1-міра, рівна відповідно 0,987 і 0,759 за відсутності і наявності фонового трафіку.

Наявність фонового трафіку, що належить до класів, які в не брали участь в навчанні алгоритму, значно погіршує точність класифікації. Алгоритм RF мало придатний для класифікації в режимі реального часу через часову складність обробки, що оцінюється співвідношенням, $(Mmn \log[(n)])$, де n – кількість екземплярів, m – кількість інформаційних признаков, M – кількість дерев.

Показано, що кількість атрибутів для класифікації трафіку не так важливо, як вибір алгоритмів класифікації. Тим не менш, важливо уникати атрибутів, які містять конкретні значення тільки для невеликої кількості випадків, що належать до конкретного класу, що може привести до зайвого навчання класифікатора і також не буде можливості ідентифікувати невідомі випадки.

Література

1. Шелухин О.И. Сетевые аномалии. Обнаружение, локализация, прогнозирование / О.И. Шелухин. – М. : Горячая линия -Телеком, 2019. – 448 с.
2. Шелухин О.И. Классификация IP-трафика методами машинного обучения / О.И. Шелухин, С.Д. Ерохин. – М. : Горячая линия -Телеком, 2018. – 284 с.
3. Батурин Ю.М. Компьютерная преступность и компьютерная безопасность / Ю.М. Батурин, А.М. Жодзинский. – М. : Юридическая литература, 2006. – 160 с.
4. Нестеров С.А. Основы информационной безопасности : учебник / С. А. Нестеров. – СПб : Лань, 2017. – 423 с.
5. Олифер В.Г. Безопасность компьютерных сетей / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – М. : Горячая линия-Телеком, 2017. – 644 с.

References

1. Sheluhin O.I. Setevye anomalii. Obnaruzhenie, lokalizaciya, prognozirovaniye / O.I. Sheluhin. – M. : Goryachaya liniya -Telekom, 2019. – 448 s.
2. Sheluhin O.I. Klassifikaciya IP-trafika metodami mashinnogo obucheniya / O.I. Sheluhin, S.D. Erohin. – M. : Goryachaya liniya -Telekom, 2018. – 284 s.
3. Baturin Yu.M. Kompyuternaya prestupnost i kompyuternaya bezopasnost / Yu.M. Baturin, A.M. Zhodzinskij. – M. : Yuridicheskaya literatura, 2006. – 160 s.
4. Nesterov S.A. Osnovy informacionnoj bezopasnosti: uchebnik / S. A. Nesterov. – SPb : Lan, 2017. – 423 s.
5. Olifer V.G. Bezopasnost kompyuternykh setej / V. G. Olifer, N. A. Olifer. – M. : Goryachaya liniya-Telekom, 2017. – 644 s.

Рецензія/Peer review : 17.09.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.10.2021 р.

ОГНЕВИЙ О.В.

Хмельницький національний університет

ORCID ID: 0000-0001-6462-3483

e-mail: aognev@i.ua

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ Ю.В.

Хмельницький національний університет

ORCID - 0000-0002-4005-5669

e-mail: getman-58@ukr.net

МЕТОДИ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЙНИХ РЕСУРСІВ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Стаття присвячена дослідженню теоретико-методологічних засад та практичних рекомендацій застосування технології захисту інформаційних ресурсів для ефективного функціонування систем відеозв'язку. З розвитком міжнародних відносин в суспільстві, впровадженням інформаційних та телекомунікаційних технологій, в Україні активно розвивається та впроваджується технологія відеоконференцзв'язку, створюються та реалізуються віртуальні заходи, вебінари, відеоконференції та онлайн-трансляції. Для систем відеоконференцій актуальні загрози інформаційної безпеки, які притаманні будь-якій інформаційно-телекомунікаційній системі. Однією з основних проблем організації надійної системи відеоконференцзв'язку є забезпечення оптимальної швидкості передачі даних при максимальній швидкості обробки аудіо- та відеопотоку. Розглянуто основні види інформації та визначено напрямки підтримання інформаційної безпеки інформаційно-телекомунікаційних систем відповідно до законодавства України. Для забезпечення надійності системи відеоконференцій використовується захист відкритої інформації від несанкціонованих дій, що призводить до її випадкової або умисної модифікації чи знищення, авторизація користувачів. Забезпечення захисту інформаційних ресурсів здійснюється шляхом застосування засобів і методів технічного захисту, впровадження організаційних та технічних заходів комплексної системи захисту інформації. Дослідження цих методів надають можливість розподілити навантаження на всі елементи системи пропорційно їх ресурсам і характеристикам.

Ключові слова: відеозв'язок, інформаційна безпека, захист, інформаційні ресурси, ідентифікація, система, технології, конфіденційність, цілісність.

OHNIEVYI OLEKSANDR V.

Khmelnitsky National University

KHMELENTSKY YURIY V.

Khmelnitsky National University

METHODS OF PROTECTION OF INFORMATION RESOURCES IN TELECOMMUNICATION SYSTEMS

The article is devoted to the study of theoretical and methodological principles and practical recommendations for the use of information resource protection technology for the effective functioning of video communication systems. With the development of international relations in society, the introduction of information and telecommunication technologies, Ukraine is actively developing and implementing video conferencing technology, creating and implementing virtual events, webinars, video conferencing and online broadcasts. The use of such systems allows you to get a variety of information, use textual and visual graphics, and so on. For video conferencing systems are relevant threats to information security, which are inherent in any information and telecommunications system. One of the main problems of organizing a reliable video conferencing system is to ensure the optimal data rate at the maximum speed of audio and video processing. The main types of information are considered and the directions of maintaining information security of information and telecommunication systems in accordance with the legislation of Ukraine are determined. The main types of information security are related to the protection of confidentiality, integrity and accessibility and to the confirmation of authorship. To ensure the reliability of the video conferencing system, the protection of open information from unauthorized actions is used, which leads to its accidental or intentional modification or destruction, authorization of users. The tasks of user authorization are management of access rights, collection of statistics and acts as an additional means of ensuring the reliability of the system. Ensuring the protection of information resources is carried out through the use of means and methods of technical protection, implementation of organizational and technical measures of a comprehensive information protection system. Studies of these methods make it possible to distribute the load on all elements of the system in proportion to their resources and characteristics.

Keywords: video communication, information security, protection, information resources, identification, system, technologies, confidentiality, integrity.

Постановка проблеми

Інформаційно-телекомунікаційні системи відіграють важливу роль в сферах державного управління, економіці, освіті, науці, обороні, забезпеченні безпеки життєдіяльності тощо. Розвиток та впровадження інформаційних та телекомунікаційних технологій, збільшення пропускної здатності каналів передачі інформації, з використанням засобів аудіо та відео зв'язку, зробило зручним засобом спілкування. Особливо це стало актуальним в наш час під проведення відеоконференцій (ВК). Використання систем відеоконференцзв'язку (ВКЗ) дозволяє отримати різноманітний обсяг інформації, задіяти при спілкуванні текстові та візуальні графічні матеріали: малюнки, таблиці, схеми і діаграми, враховувати вираз обличчя та міміку співрозмовника.

З розвитком міжнародних відносин в суспільстві, необхідністю оперативного зв'язку між користувачами в країні та по всьому світі, технологія відеоконференцзв'язку активно розвивається та впроваджується і в Україні. Організація ВКЗ використовується для проведення переговорів та групових

обговорень, в тих випадках, коли у користувачів немає можливості, або це недоцільно, бути присутнім особисто, що дає можливість значної економії засобів і часу.

Великою популярністю користуються системи для проведення ВК за допомогою глобальних телекомунікаційних мереж. Їх використання пов'язано з підвищеними ризиками, які призводять до виникнення проблем з можливим несанкціонованим доступом, прослуховуванням чи аналізом сигнальної інформації використовуваних протоколів. Найчастіше такі конференції призначені для обмеженого кола користувачів, тому питання захисту інформації в таких системах виходять на передній план.

Із запровадженням карантину в Україні, за допомогою ВКЗ органи державної влади та місцевого самоврядування, підприємства та організації, особливо ті, що належать до об'єктів критичної інфраструктури, забезпечили роботу своїх працівників в режимі реального часу через мережу Інтернет. Віддалена робота співробітників установи з системами, в яких обробляються державні інформаційні ресурси, інформація з обмеженим доступом, вимога щодо захисту якої визначена законодавчо, повинна відповідати політиці безпеки інформації та вимогам законодавства у сфері захисту інформації.

Аналіз останніх досліджень

Необхідність підтримання інформаційної безпеки інформаційно-телекомунікаційних систем визначена на державному рівні та спрямована на забезпечення інформаційної безпеки відносин, що пов'язані із збиранням, накопиченням, обробкою та передачею інформації. Забезпечення захисту інформаційних ресурсів при використанні ВКЗ здійснюється шляхом застосування засобів і методів технічного захисту інформації, впровадження організаційних та інженерно-технічних заходів комплексної системи захисту інформації, спрямованих на недопущення блокування інформації, несанкціонованого доступу до неї, її модифікації або спотворення.

Дослідженню та розробці теоретичних положень, що стосуються інформаційної безпеки і захисту інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах та можуть бути використані у процесі відеоконференцій присвячено багато наукових праць. Питання пов'язані з науковими дослідженнями проблем інформаційної безпеки досліджуються в роботах таких вчених як Астахов А.М., Бараннік В.В., Власов А.В., Живко З.Б., Євдоченко Л.О., Карпенко О.В., Климчук В.П., Кузьменко Б.В., Коначович Г.Ф., Лебедева К.Е., Литвиненко О., Семенов С.Г., Хорошко В.О. Франчук В.М., Юдін О. К. та ін.

Незважаючи на значний рівень наукового дослідження проблем інформаційної безпеки, їх класифікації та нормативно-законодавчого забезпечення, питання захисту інформаційних ресурсів відеоконференцій мають актуальне значення, що й обумовлює тему статті. Теоретичні розробки досліджуваного питання необхідні для формування дієвої системи моніторингу та управління у сфері інформаційної безпеки відеозв'язку, а також вдосконалення методів захисту інформаційних ресурсів під час проведення ВК.

Формулювання цілей статті

Метою статті є дослідження методів захисту інформаційних ресурсів в інформаційно-телекомунікаційних системах та використання їх під час проведення відеоконференцій зв'язку.

Виклад основного матеріалу

Відеоконференція (videoconference, або videoteleconference) – це телекомунікаційна технологія інтерактивної участі двох і більше віддалених абонентів, при якому забезпечується одночасна двостороння передача, обробка, перетворення та представлення інтерактивної інформації у режимі реального часу за допомогою апаратно-програмних засобів обчислювальної техніки.

Систему ВКЗ прийнято вважати сукупністю наступних елементів: кінцевих вузлів системи – серверів, клієнтів відеоконференцій та каналів зв'язку, що з'єднують ці вузли. Сервером ВК є комплекс програмно-технічних засобів і систем, що забезпечує управління конференцією, виконання функцій ідентифікації і аутентифікації клієнтів, прийому, обробки та перенаправлення даних ВК. Клієнти представляють собою комплекс програмного і апаратного забезпечення і є джерелом даних системи. Зв'язок клієнтів відбувається через сервера за допомогою каналів зв'язку. Під каналом зв'язку прийнято розуміти множину лінії зв'язку та засобів передачі даних, що беруть участь в процесі відеоконференції [3, с. 87].

Сучасна ВКЗ має масу унікальних можливостей, найзначніші з них: телеприсутність, багатоточкове з'єднання, трансляція різних аудіо та відео матеріалів, інтеграція в автоматизовану систему управління, формування якісного зображення.

Проблеми надійності систем ВК є як ніколи актуальними з причини своєї доступності в будь-якій точці світу. Відеозв'язок стає все більш популярним і організаторами конференцій висуваються високі вимоги до якості послуг, що надаються. При великій кількості бажаючих приєднатися до відкритої конференції і невеликої пропускної спроможності каналу найважливішим стає забезпечення доступності для всіх авторизованих учасників, обмеження доступу сторонніх осіб (неавторизованих користувачів), ідентифікації користувача пристроїв та аутентифікації учасників конференції (авторизація).

Однією з основних проблем організації надійної системи ВКЗ є забезпечення оптимальної швидкості передачі даних при максимальній швидкості обробки аудіо та відео потоку. Для вирішення цієї проблеми розроблено кодекси, що дозволяють, зберігаючи задані характеристики якості, стиснути сигнал і кодувати його, а також відновлювати і декодувати на приймальній стороні. Для організації ВКЗ між різним

програмним забезпеченням та обладнанням сторонніх виробників використовуються стандартні протоколи передачі даних.

Системи ВКЗ базуються на універсальних комунікаціях – IP мережах, стандартних протоколах пакетної передачі мовної та відеоінформації, стандартних алгоритмах її кодування. Сучасні системи ВКЗ базуються на основі протоколу IP (Internet Protocol). Транспорт інформаційних потоків при проведенні ВК часто здійснюється по відкритим телекомунікаційним мережам з використанням стандартних протоколів, тому дослідження проблем забезпечення надійності ВКЗ набувають особливої актуальності. В основному використовується протокол SIP, який дозволяє забезпечувати простоту впровадження комплексу ВКЗ, дає можливість застосувати обладнання різних виробників та забезпечує безпеку з'єднань сеансів ВК на основі механізмів TLS та SRTP [8].

Питання, пов'язані із захистом інформації в мережах ВКЗ є дуже важливими. Відповідно до законодавства України, як засоби захисту інформації можуть використовуватися тільки сертифіковані засоби [7]. Для систем ВКЗ актуальні різні загрози інформаційної безпеці, які притаманні будь-якій інформаційно-телекомунікаційній системі (рис. 1).



Рис. 1. Види інформації, встановлені законом, що підлягають захисту в інформаційних, телекомунікаційних та інформаційно-телекомунікаційних системах

Відкрита інформація під час обробки в системі повинна зберігати цілісність, що забезпечується шляхом захисту від несанкціонованих дій, які можуть призвести до її випадкової або умисної модифікації чи знищення [7]. Усім користувачам повинен бути забезпечений доступ до ознайомлення з відкритою інформацією. Модифікувати або знищувати відкриту інформацію можуть лише ідентифіковані та автентифіковані користувачі, яким надано відповідні повноваження. Спроби модифікації чи знищення відкритої інформації користувачами, які не мають на це повноважень, неідентифікованими користувачами або користувачами з невідтвердженою під час автентифікації відповідністю пред'явленого ідентифікатора повинні блокуватися [3].

Під час обробки службової і таємної інформації повинен забезпечуватися її захист від несанкціонованого та неконтрольованого ознайомлення, модифікації, знищення, копіювання, поширення. Доступ до службової інформації надається тільки ідентифікованим та автентифікованим користувачам. Спроби доступу до такої інформації неідентифікованих осіб чи користувачів з невідтвердженою під час автентифікації відповідністю пред'явленого ідентифікатора повинні також блокуватися.

ВКЗ схильні до загроз з боку зломисників, форс-мажорних обставин, випадкових дій користувачів і адміністраторів [2, с. 104]. Відповідно до загальноприйнятої класифікації, загрози інформаційної безпеки можна поділити на такі види: загрози конфіденційності, цілісності і доступності та загрозу підтвердження авторства. В тій чи іншій мірі для ВК актуальні всі ці види загроз, однак, в розрізі питань надійності ВКЗ найбільш актуальними є загрози цілісності та доступності. Також, крім гарантованої доставки, в якості засобу забезпечення надійності ВКЗ використовується авторизація користувачів (надання певній особі або групі осіб прав на виконання певних дій, а також процес перевірки (підтвердження) даних прав при спробі виконання цих дій) [8, с. 53]. При збільшенні кількості користувачів навантаження зростає і саме авторизація дозволяє обмежити мережеве навантаження, що підвищує надійність системи ВКЗ і дозволяє забезпечити контролювання смуги пропускання. Для кожного суб'єкта в системі визначається набір прав, які він може використовувати при зверненні до ресурсів ВКЗ. До найбільш поширених способів авторизації відносять дискреційний (DAC), мандатний (MAC), управління доступом на основі ролей, контроль доступу на основі контексту (CBAC), контроль доступу на основі решітки (LBAC) [1, с. 56].

Завданнями авторизації є: управління правами доступу; обмеження прав доступу; збір статистики. Воно тісно пов'язане з поняттями «аутентифікація» і «ідентифікація». У процесі аутентифікації перевіряється справність пред'явленого користувачем ідентифікатора [4, с. 117]. Вона дозволяє достовірно

переконатися в тому, що суб'єкт, який пред'явив свій ідентифікатор, насправді є саме тим суб'єктом, ідентифікатор якого він використовує. Для цього суб'єкт повинен підтвердити факт володіння певною інформацією, яка може бути доступна тільки йому одному (пароль, ключ і тощо). Ідентифікація – це процедура розпізнавання суб'єкта за його ідентифікатором. У процесі реєстрації суб'єкт пред'являє свій ідентифікатор для перевірки його присутності в базі даних. Суб'єкти з відомими системі ідентифікаторами легальні, з невідомими – нелегальні. Отже авторизація виступає в ролі додаткового засобу забезпечення надійності.

В роботі [5] запропоновано методику підвищення надійності систем ВКЗ за рахунок порівняння вихідних фактичних параметрів надійності системи ВКЗ з необхідними параметрами системи, що враховують вимоги до надійності. З врахуванням збільшення інформаційного потоку критерій надійності $P \rightarrow 1$.

Імовірність отримання кожним суб'єктом повного доступу до кожного об'єкта:

$$P = P_c \cdot P_k,$$

Де P_c – імовірність доступності сервера, P_k – імовірність доступності клієнта.

Імовірність доступності сервера складається з ймовірностей доступності до інформаційних ресурсів:

$$P_c = P_{c1} \cdot P_{c2} \cdot P_{c3} \cdots P_{cn},$$

де P_{c1} – доступ до відеоінформації на сервері; P_{c2} – доступність аудіоінформації на сервері; P_{c3} – доступність файлів на сервері; P_{cn} – доступність до повідомлень на сервері та інших даних.

Аналогічно можна представити ймовірність доступності клієнта, враховуючи відповідні значення доступності відео- та аудіоінформації у клієнта, файлів, повідомлень тощо: $P_k = P_{k1} \cdot P_{k2} \cdot P_{k3} \cdots P_{kn}$.

Імовірність отримання кожним суб'єктом повного доступу до кожного об'єкта розраховується як добуток ймовірностей доступу до n об'єктів.

Таким чином, для визначення ймовірності доступу до системи ВКЗ необхідно визначити ймовірності доступності серверів P_c та доступності клієнтів P_k . Тестове значення ймовірності отримання повного доступу визначається виходячи з статистичних даних ймовірностей виконання n дій клієнтів до k об'єктів. Отримані ймовірнісні значення доступу дозволяють визначити надійність системи ВКЗ, що є досить трудомістким завданням. Розраховані значення ймовірності отримання суб'єктом повного доступу порівнюються з необхідним рівнем ймовірності отримання повного доступу до об'єкту та в подальшому, при необхідності, застосовується алгоритм управління навантаженням мережі.

Одним з перспективних рішень проблеми забезпечення надійності систем ВКЗ на сьогодні є використання технологій розподілу навантаження інфокомунікаційної мережі [7].

Основними методами підвищення надійності систем ВКЗ на сьогодні є: застосування маршрутизації для оптимального і раціонального використання каналного ресурсу системи; використання алгоритмів децентралізованих самоорганізованих мереж, які дозволяють розподілити навантаження на усі елементи пропорційно їх ресурсам і характеристикам, тим самим збільшуючи масштабованість та зменшуючи вартість такого рішення за відсутності необхідності підтримки протоколів прикладного рівня на мережевому обладнанні; застосування механізмів динамічного перерозподілу швидкості передачі інформації при спільному обслуговуванні трафіку сервісів реального часу і трафіку даних, що допускає затримку [4].

Висновки з дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямі

Проведений аналіз показує, що на сьогоднішній день найбільш поширеними технологіями ВКЗ є: системи ВК високої якості, засновані на застосуванні спеціальних протоколів; серверні системи, в основу принципу дії яких покладено стиснення відеопотоку. Більшість систем комп'ютерного ВКЗ складається з наступних частин: програмно-апаратне забезпечення сервера; програмно-апаратне забезпечення клієнта; лінії зв'язку; мережеве обладнання. Авторами було виділено такі способи організації захищеного доступу до ВКЗ, як захист клієнтських комп'ютерів та серверів програмними та апаратними засобами; захист обладнання, захист каналу зв'язку, захист інформації.

Література

1. Бараннік В. В. Модель загроз безпеки відеоінформаційного ресурсу систем відеоконференцзв'язку / В. В. Бараннік, А. В. Власов, Р. В. Тарнополов // Наукоємні технології. – 2014. – № 1. – С. 55–60.
2. Голев Д.В. Методики оцінки інформаційної захищеності телекомунікацій : навч. посіб. / Голев Д.В., Кононович В.Г., Хомич С.В. ; за ред. чл.-кор. МАЗ В.Г. Кононовича. – Одеса : ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2013. – 218 с.

3. Основи захисту інформації в телекомунікаційних та комп'ютерних мережах / [Л.Л. Гончарова, А.Д. Возненко, О.І. Стасюк, Ю.О. Коваль]. – Київ, 2013. – 435 с.
4. Живко З. Б. Інформаційні загрози: суть і проблеми / З.Б. Живко, М.О. Живко // Системи обробки інформації. – 2009. – № 7(81). – С. 116–118.
5. Лебедева К. Е. Методика повышения надежности систем видеоконференцсвязи с гарантированной доставкой сообщений для авторизованных пользователей [Электронный ресурс] / К.Е. Лебедева. – Режим доступа : <https://docplayer.com/61503923-Intellektualnye-sistemy-v-informacionnom-protivoborstve.html>.
6. Лісовська Ю. П. Інформаційна безпека України : навч. посібник / Ю.П. Лісовська. – Київ : Кондор, 2018. – 172 с.
7. Правила забезпечення захисту інформації в інформаційних, телекомунікаційних та інформаційно-телекомунікаційних системах [Електронний ресурс] : постанова Кабінету Міністрів України від 29 березня 2006 р. N 373. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/373-2006-%D0%BF>.
8. Франчук В.М. Захист інформаційних ресурсів: криптографічні та стеганографічні методи захисту даних : посібник для викладачів, вчителів та студентів інформатичних спеціальностей / В.М. Франчук. – К. : НПУ імені М.П. Драгоманова, 2012. – 120 с.

References

1. Barannik V. V. Model zahroz bezpeky videoinformatsiinoho resursu system videokonferentsv'язku / V. V. Barannik, A. V. Vlasov, R. V. Tamopolov // Naukoemni tekhnologii. – 2014. – № 1. – S. 55–60.
2. Holev D.V. Metodyky otsinky informatsiinoi zakhyschenosti telekomunikatsii : navch. posib. / Holev D.V., Kononovych V.H., Khomych S.V. ; za red. chl.-kor. MAZ V.H. Kononovycha. – Odesa : ONAZ im.O.S.Popova, 2013. – 218 s.
3. Osnovy zakhystu informatsii v telekomunikatsiinykh ta kompiuternykh mrezhakh / [L.L. Honcharova, A.D. Voznenko, O.I. Stasiuk, Yu.O. Koval]. – Kyiv, 2013. – 435 s.
4. Zhyvko Z. B. Informatsiini zahrozy: sut i problemy / Z.B. Zhyvko, M.O. Zhyvko // Systemy obrobky informatsii. – 2009. – № 7(81). – S. 116–118.
5. Lebedeva K. E. Metodika povysheniya nadezhnosti sistem videokonferentsv'язki s garantirovannoy dostavkoj soobshenij dlya avtorizovannykh polzovatelej [Elektronnyj resurs] / K.E. Lebedeva. – Rezhim dostupa : <https://docplayer.com/61503923-Intellektualnye-sistemy-v-informacionnom-protivoborstve.html>.
6. Lisovska Yu. P. Informatsiina bezpeka Ukrainy : navch. posibnyk / Yu.P. Lisovska. – Kyiv : Kondor, 2018. – 172 s.
7. Pravyla zabezpechennia zakhystu informatsii v informatsiinykh, telekomunikatsiinykh ta informatsiino-telekomunikatsiinykh systemakh [Elektronnyi resurs] : postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 29 bereznia 2006 r. N 373. – Rezhym dostupu : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/373-2006-%D0%BF>.
8. Franchuk V.M. Zakhyst informatsiinykh resursiv: kryptohrafichni ta stehanohrafichni metody zakhystu danykh : posibnyk dlia vykladachiv, vchyteliv ta studentiv informatychnykh spetsialnostei / V.M. Franchuk. – K. : NPU imeni M.P. Drahomanova, 2012. – 120 s.

Рецензія/Peer review : 06.09.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.10.2021 р.

RADIUK PAVLO M.

Khmelnytskyi National University

ORCID ID: 0000-0003-3609-112X

e-mail: radiukpavlo@gmail.com

SKRYPNYK TETIANA K.

Khmelnytskyi National University

ORCID ID: 0000-0002-8531-5348

e-mail: marine_1996@ukr.net

KARLECHUK DMYTRO T.

Khmelnytskyi National University

ORCID ID: 0000-0003-2239-2394

e-mail: dimon4yk.karlechuk@gmail.com

APPLYING MENTAL MODELS TO MAKING CONTROLLED CRITICALLY SAFE DECISIONS IN IT PROJECT MANAGEMENT

Over the past decades, numerous researchers and practitioners have focused on the use case modeling for information technology project management. However, few studies have examined ways to improve the discovery phase of an information technology project through modifying use case diagrams. In this work, a mental model approach is suggested to integrate a visualization stage into the discovery phase by creating a conceptual mental model before constructing the use case diagram. It has been established that designing a mental model by visualizing the end user's needs improves the ability of junior analysts to capture, analyze, and determine the user and functional requirements of information systems. Moreover, junior business analysts can extrapolate from the workflow presented in the conceptual mental model to determine the system's actions to benefit the associated actor, which must appear in the use case diagram. The paper describes the design of user precedents through a conceptual mental model. Altogether, the proposed approach's effectiveness in capturing, analyzing, and determining the requirements of information systems is measured in terms of accuracy, completeness, and simplicity.

Keywords: information technology project, project management, discovery phase, use case diagram, mental model, controlled critically safe decisions, business analysis.

РАДЮК П. М., СКРИПНИК Т. К., КАРЛЕЧУК Д. Т.

Хмельницький національний університет

ЗАСТОСУВАННЯ МЕНТАЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ ДО ПРИЙНЯТТЯ КОНТРОЛЬОВАНИХ КРИТИЧНО-БЕЗПЕКОВИХ РІШЕНЬ В УПРАВЛІННІ ІТ ПРОЄКТАМИ

Упродовж останніх десятиліть багато дослідників та практиків зосереджують свою увагу на моделюванні прецедентів для управління інформаційними технологіями. Втім мало досліджень розглядають шляхи вдосконалення фази виявлення проєкту інформаційних технологій за допомогою діаграм прецедентів. У цій роботі пропонується підхід на основі ментальних моделей до фази виявлення вимог, що полягає в інтегруванні етапу візуалізації для побудови користувацьких діаграм. Структурування ментальної моделі з погляду користувачів покращує здатність бізнес-аналітиків-початківців для захоплення, аналізу та визначення функціональних вимог інформаційних систем. Крім того, аналітики можуть екстраполювати з робочого процесу, поданого в концептуальній ментальній моделі, щоб визначити дії, які необхідно виконати системою, щоб скористатися асоційованим актором, і це повинно з'явитися в діаграмі корпусу користувача. У роботі обговорюється гіпотеза структурування ментальної моделі у вигляді концептуальної ментальної моделі до визначення функціональних вимог за допомогою користувацьких діаграм. Запропонований підхід на основі ментальних моделей ґрунтується на незалежних та залежних змінних. Незалежною змінною є кількість замовлень від клієнтів; водночас залежними змінними є загальна якість системних функціональних вимог, якість кожного випадку використання в термінах правильності та повноти, якість посилань із погляду правильності та повноти, надлишкові зв'язки або використання випадків. Застосування концептуальних ментальних моделей може викликати певні недоліки. Наприклад, некоректне впровадження ментальної моделі під час фази виявлення може призвести до проблеми валідування зібраних функціональних вимог. Загалом, ця проблема поділяється на чотири групи: висновок, внутрішня перевірка, дизайн та зовнішня перевірка.

Ключові слова: проєкт інформаційних технологій, управління проєктами, фаза виявлення, діаграма прецедентів, ментальна модель, контрольоване критично-безпекове рішення, бізнес-аналіз.

Problem statement

Within most information technology (IT) projects, discovering requirements for developing information systems (IS) often rely on controlled critically safe decisions made by different stakeholders. As so, practitioners utilize the Use Case Diagrams (UCDs) [1] to define functional system requirements to perform the robust discovery phase. A sample of a UCD is presented in fig. 1.

The UCD has been considered a valuable and easy-to-use tool for representing and specifying various project requirements within the business analysis (BA) community. In general, UCD comprises two components: 1) a graphical diagram to model and represent customer requirements, and 2) use case descriptions to elaborate and specify these requirements in detail.

The presented study aims to facilitate the discovery phase performed by junior BA practitioners. We propose a novel approach based on mental models to improve UC diagrams while identifying, capturing, and specifying functional system requirements.

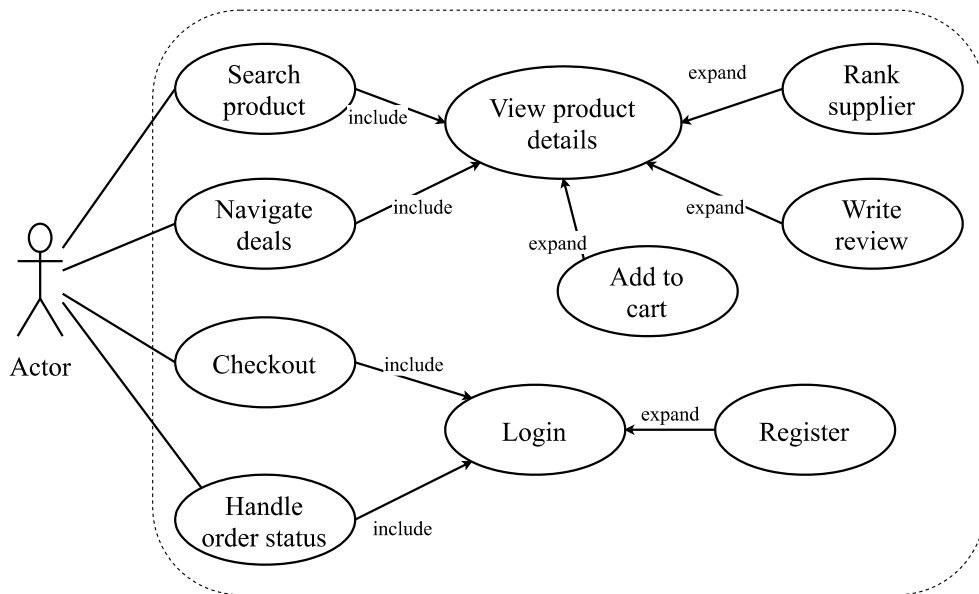


Fig. 1. A use case diagram for an IT project

Analysis of recent research

Over the last decades, numerous studies have aimed to improve the quality of UC model outcomes through comparison-based experiments. For instance, in [2], the authors enhanced UC descriptions by proposing advanced guidelines to write good use cases, while [3] were focused on improving UC descriptions inspection checklists with screen mockups. Another work [4] showed that using predefined templates allows designing a UCD easier to comprehend and read comparing to guidelines without specific details.

Throughout its history, the IT domain has challenged the issue of interpreting and explaining computational results. And to tackle this issue, mental models might be a feasible solution. The term “mental model” originates from the fields of cognitive psychology and human-computer interaction (HCI) [5, 6]. In [7], authors argued that “a mental model represents a person’s thought process for how something works, i.e., a person’s understanding of the surrounding world.” For practical use, mental models require some physical representation, commonly verbal or spatial [8, 9]. For example, an IS can be viewed as a conceptual mental model (CMM) – a diagram expressing the structure of an IS from the user’s perspective. The model, in this case, is created in a controlled process according to the preset guidelines.

Another recent study [9] discussed the cognitive significance of visualization for software engineers for whom an IT project perceives as a combination of various tasks; visualization allows covering all business requirements as a whole. Thus, a CMM is a graphical representation of the user’s mental activity and behavior within an IS. An example of a CMM is illustrated in fig. 2.

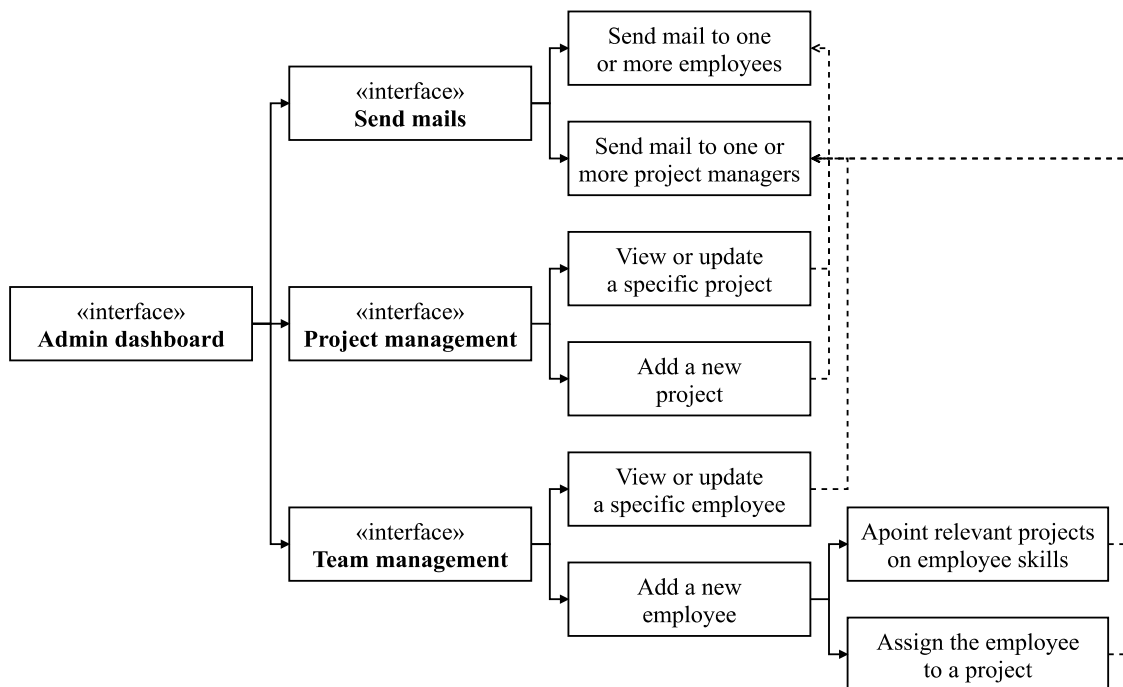


Fig. 2. Definition of user’s work processes through a conceptual mental model. Bold rectangles in the scheme depict the user interface, while ordinary rectangles define a screen or a function. User actions in the information system are specified by arrows

Based on the mental model approach, it is proposed to apply the user demands' visualization at the beginning of the discovery phase, which implies formalizing a CMM before designing a UCD. It should be noted that both a CMM and UCD refer to similar components of an IS, such as actors, relations, functionality, etc. Formalizing a mental model in terms of user needs can improve the ability of junior professionals to collect, analyze, and define system requirements for information systems. In particular, junior business analysts can extrapolate from the IS workflow presented in the CMM to determine system's actions to benefit the associated actor, which must appear in the further UCD. Finally, the visualization of user demands through a CMM provides improvement in the accuracy, completeness and simplicity of the system requirements definition by inexperienced practitioners.

Conceptual mental model

According to the literature review and practical observations, those junior professionals responsible for collecting system requirements for the product who "imagine" the future IS's functionality and its workflow in terms of user demands during the discovery phase perform analysis and identification of actors and relationships between them more effectively and better model these relationships under appropriate elements of UCD. Motivated by this insight, an integrative approach is suggested to benefit the discovery phase while providing UC modeling. The proposed approach is aimed to enhance the discovery phase by structuring the "imaginary" process to a formal stage of visualization, which must be performed before creating a UC diagram. Therefore, team members within an IT project must formalize a CMM based on external data collected from key stakeholders before the analysis and definition of IS for a UCD. Fig. 3 depicts a scheme of the proposed approach implemented to an IT project.

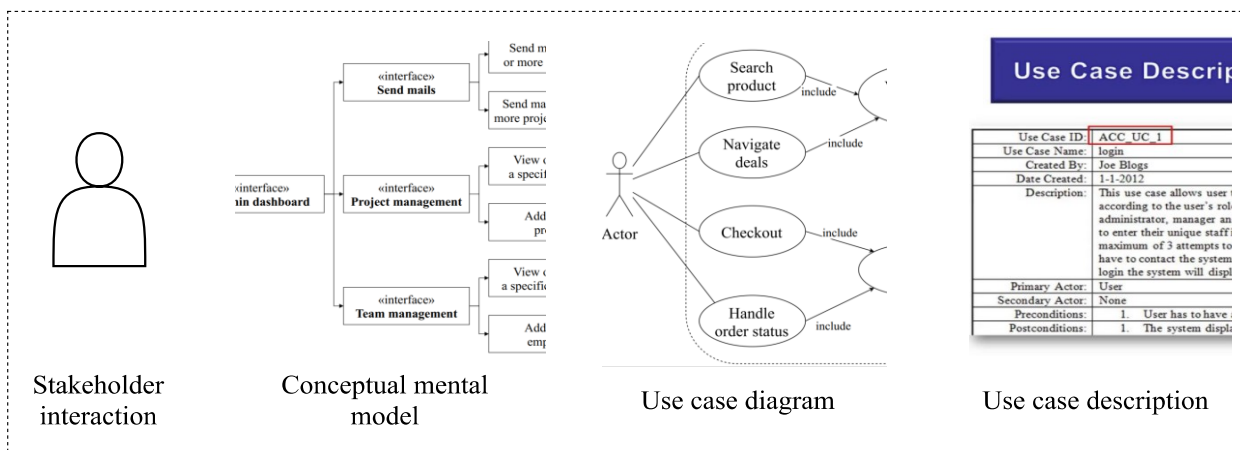


Fig. 3. A scheme of a discovery stage with a conceptual mental model before creating a use case diagram

Our mental model approach also suggests quality criteria to evaluate the possible outcome of an examined discovery phase. Based on a quality evaluation framework [11], three quality indicators were chosen: accuracy, completeness, and simplicity. The accuracy indicator determines whether the model corresponds to the data modeling methodology and is measured by the number of errors in the created model. Completeness is determined by the number of user system requirements that are not present in the model. Simplicity determines the number of subjects and relationships in the model, i.e., shows how simplified the model is.

The independent and dependent variables of the proposed approach are summarized below:

1. Independent variables: request to perform a task within an IT project.
2. Dependent variables:
 - a) the estimated quality of the defined user and functional requirements, scored from 0 to 60;
 - b) the estimated quality of each use case by accuracy and completeness: 0 – absent, 2 – incorrect, 4 – correct;
 - c) the estimated quality of the defined connections between actors and use cases by accuracy and completeness: 1 point is deducted from the final score if the connection is redundant, 2 points are subtracted from the final score if the use case is redundant.

This section discusses the possible disadvantages of the proposed mental model approach. Incorrect results of the cognitive model's implementation to the discovery phase may manifest due to the validation of the collected requirements. This problem can be divided into four components: conclusion, internal validation, design, and external validation. Conclusion concerns the credibility of the inferences reached within the discovery phase. Internal validation refers to factors that might affect the dependent variables. Construction refers to how mental models are reflected in actual measures. Finally, external validation concerns the generalization of results, both to the study of the population and to other settings.

Conclusion

The present study proposes a mental model approach which implies including a visualization stage before the discovery phase for project assessment in the information technology domain. This approach aims to increase the

efficiency of junior business analysts and project managers in collecting, analyzing, and defining custom and functional requirements for information system development. Applying mental models to the discovery stage will enhance the construction of user case diagrams by accuracy, completeness, and simplicity. Furthermore, future research needs to examine more closely how to transform a set of conceptual mental model elements into a set of use case diagram constructs.

References

1. Faitelson D. UML diagram refinement (focusing on class- and use case diagrams) / D. Faitelson, S. Tyszberowicz // 2017 IEEE/ACM 39th International Conference on Software Engineering (ICSE) : Proceedings, Buenos Aires, 20–28 May 2017. – 2017. – P. 735–745. – DOI : <https://doi.org/10.1109/ICSE.2017.73>
2. Tiwari S. UCAnalyzer: A tool to analyze use case textual descriptions / S. Tiwari, M. Laddha // 2017 IEEE 25th International Requirements Engineering Conference (RE) : Proceedings, Lisbon, 4–8 September 2017. – 2017. – P. 448–449. – DOI : <https://doi.org/10.1109/RE.2017.39>
3. Reggio G. DUSM: A method for requirements specification and refinement based on disciplined use cases and screen mockups / G. Reggio, M. Leotta, R. Filippo, D. Clerissi // Journal of Computer Science and Technology. – 2018. – № 33 (5). – P. 918–939. – DOI : <https://doi.org/10.1007/s11390-018-1866-8>
4. Skjæveland M. G. Practical ontology pattern instantiation, discovery, and maintenance with reasonable ontology templates / M. G. Skjæveland, D. P. Lupp, L. H. Karlsen, H. Forssell // 17th International Semantic Web Conference, Monterey, CA, USA, 8–12 October 2018. – Lecture Notes in Computer Science : Proceedings. – Cham : Springer, 2018. – Vol. 11136, No. 1. – P. 477–494. – DOI : https://doi.org/10.1007/978-3-030-00671-6_28
5. Seinfeld S. User representations in human-computer interaction / S. Seinfeld, T. Feuchtner, A. Maselli, J. Müller // Human-Computer Interaction. – 2020. – № 36 (5-6). – P. 400–438. – DOI : <https://doi.org/10.1080/07370024.2020.1724790>
6. Oran A. C. A framework for evaluating and improving requirements specifications based on the developers and testers perspective / A. C. Oran, G. Santos, B. Gadelha, T. Conte // Requirements Engineering. – 2021. – № 26 (4). – P. 481–508. – DOI : <https://doi.org/10.1007/s00766-021-00352-6>
7. Krak Iu. Using visual analytics to develop human and machine - centric models: A review of approaches and proposed information technology / Iu. Krak, O. Barmak, E. Manziuk // Computational Intelligence. – 2020. – P. 1–26. – DOI : <https://doi.org/10.1111/coin.12289>
8. Barmak O. Web-based information technology for classifying and interpreting early pneumonia based on fine-tuned convolutional neural network / O. Barmak, P. Radiuk // Computer systems and information technologies. – 2021. – № 3 (1). – P. 12–18. – DOI : <https://doi.org/10.31891/CSIT-2021-3-2>
9. Barmak O. Information technology of visual analysis of X-ray images for interpretation of pneumonia diagnostic results / O. Barmak, P. Radiuk // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. – 2021. – № 295 (2). – P. 52–55. – DOI : <https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2021-295-2-52-55>
10. Killen C. P. The role of decision makers' use of visualizations in project portfolio decision making / C. P. Killen, J. Geraldi, A. Kock // International Journal of Project Management. – 2020. – № 38 (5). – P. 267–277. – DOI : <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2020.04.002>
11. Radiuk P. M. A framework for exploring and modelling neural architecture search methods. / P. M. Radiuk, N. V. Hrypynska // The 4th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems (COLINS-2020), Lviv, Ukraine, 23–24 April 2020. – CEUR-WS, 2020. – Vol. 2604. – P. 1060–1074.

Рецензія/Peer review : 02.09.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.10.2021 р.

РИМАР П. В.

Донецький національний університет імені Василя Стуса
ORCID ID: 0000-0002-0647-2020
e-mail: pavlusharymar@gmail.com

ВОЙТКО Б. С.

Донецький національний університет імені Василя Стуса
e-mail: voitko.b@donnu.edu.ua

РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ФОРМУВАННЯ РОЗКЛАДУ НАВЧАЛЬНИХ ЗАНЯТЬ З ВИКОРИСТАННЯМ 1С: «ПІДПРИЄМСТВО»

Стаття присвячена розробці складного програмного забезпечення на платформі 1С «Підприємство» для автоматизованого формування розкладу навчальних процесів у закладах вищої освіти. Розроблювана система покликана розв'язати проблеми електронного документообігу та складання розкладу занять, адже ці проблеми, як і раніше, залишаються одними з найактуальніших в організації навчального процесу.

Ключові слова: розклад занять, формування розкладу, автоматизована система, заклад вищої освіти, документообіг, навчальний процес, навчальне навантаження, оптимізація, 1С Підприємство, навчальні плани, аудиторний фонд.

RYMAR PAVLO V.

Vasyl' Stus Donetsk National University

VOYTKO BOGDAN S.

Vasyl' Stus Donetsk National University

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR FORMATION OF SCHEDULE OF EDUCATIONAL LESSONS USING 1C: «ENTERPRISE»

This article is devoted to the development of complex software on the platform 1C Enterprise for automated scheduling of educational processes in higher education institutions. The developed system is designed to solve the problems of electronic document management and scheduling classes in educational institutions of the I-IV level of accreditation, as these problems are still one of the most pressing in the organization of the educational process. This automated system should reduce the time of operations, provide the easiest way to form and make changes to the schedule of the educational process, which are the main objectives of this software, because the correct schedule is, the key to successful distribution of student groups, classroom and teaching staff. In general, the article considers the comparative characteristics of some of the existing analogues, their advantages and disadvantages, describes the problem statement, provides a general description of the system development and summarizes the work. The result of the work is the creation on the basis of the 1C Enterprise of a full-fledged automated system for the formation of training schedules. A system has been created that meets all modern norms and requirements. It combines convenience, functionality and a simple appearance. The system has the ability to leave comments with wishes, create an account, create a schedule and reports. Menu pages with subsystems and detailed information about each directory, document and report are created. The developed system can be used in any educational institution due to the developed capabilities and functionality. It is recommended for acquaintance to young scientists and readers who are interested in software development on the basis of the 1C Enterprise platform or formation of schedules of educational processes.

Keywords: class schedule, schedule formation, automated system, institution of higher education, document flow, educational process, educational load, optimization, 1C Enterprise, curricula, classroom fund.

Постановка проблеми

Складання розкладу навчальних занять є одним з найважливіших завдань управління навчальним процесом на факультеті [1]. У зв'язку з цим проблема автоматизації складання розкладу занять в закладах вищої освіти будь якого рівня акредитації, як і раніше, залишається однією з актуальних проблем організації навчального процесу. Розклад сам по собі залежить від багатьох факторів. Їх можна розділити на об'єктивні (жорсткі) та суб'єктивні (непостійні) параметри. Об'єктивні – це база даних університету, в якій зберігається інформація про аудиторії та предмети. Суб'єктивні – це побажання студентів та викладачів. Тому в даний час для багатьох закладів вищої освіти одним із головних завдань є розробка автоматизованої системи, яка змогла б забезпечити скорочення часу виконання операцій, максимально простий спосіб формування та зміни розкладу навчального процесу.

Аналіз наявних досліджень та аналогів

Серед наявних досліджень у галузі розробки системи формування розкладу навчальних занять важко знайти системи, які були б складними програмними продуктами, містили багату можливість, але при цьому були зручними та інтуїтивно зрозумілими [2]. Більшість досліджень у даній галузі спрямовані на дослідження або ж аналіз алгоритмів та моделей формування розкладу, а ніяк не на розробку програмного продукту [3, 4]. Яскравим прикладом аналогу розроблюваної системи є автоматизована система «Деканат» [5]. Серед доступних модулів, які є в програмі, потрібно звернути увагу на наступні: Розклад, Навчальні плани, Навантаження кафедр. Розроблювана система містить увесь функціонал даних модулів, при цьому у дечому їх перевершує.

Перевагами АС «Деканат» є:

– розробка навчальних і робочих планів на навчальний рік, закріплення навчальних груп за планами;

- генерація та відновлення робочих навчальних планів за навчальними планами;
- закріплення контингенту для навантаження по робочим навчальним планам;
- навантаження кафедри: агрегація та розподілення викладачам;
- індивідуальний робочий план викладача кафедри⁴
- створення розкладу, веброзкладу.

До недоліків можна віднести:

- недосконало реалізована перевірка введених даних на всі можливі випадки конфліктів;
- мала швидкодія програми;
- часті гальмування;
- навантажений дизайн.

Постановка задачі. Необхідно розробити автоматизовану систему формування розкладу навчальних занять, яка містить наступні вимоги:

- робота з системою повинна бути зручною та інтелектуально зрозумілою;
 - система має бути розроблена таким чином, щоб не тільки формувати та зберігати розклад, але й інші документи, що з ним пов'язані (Відомості до розкладу, Робочий навчальний план та ін.);
 - у системі має бути доступний імпорт даних з ексель-файлу;
 - повинні бути наявні перевірки, які спрацьовують при зберіганні розкладу для уникнення конфліктів;
 - система повинна містити авторизацію користувачів;
- Система повинна містити наступні звіти:
- заповненість аудиторій (із можливістю фільтрації для певних полів);
 - завантаженість викладачів (із можливістю фільтрації для певних полів);
 - розклад (із можливістю фільтрації для певних полів).

Виклад основного матеріалу

Під час розробки автоматизованої системи формування розкладу було застосовано підхід, оснований на використанні довідників та документів (документоорієнтований підхід). Одним із середовищ, що забезпечує досить швидку реалізацію автоматизованих систем на основі такого підходу є платформа 1С:Підприємство. Дана платформа орієнтована на «RAD» (rapid application development, тобто швидка розробка програмного забезпечення) [6] та використовує об'єктно-реляційну модель обробки даних. В ході розробки автоматизованої системи в середовищі 1С:Підприємство використовуються стандартні класи об'єктів: Довідники, Документи, Регістри відомостей та інші.

Розроблена автоматизована системи формування розкладу використовує дані об'єктів конфігурації 1С:Підприємство:

- довідники: Дисципліни, Викладачі, Типи занять, Групи та ін.;
- документами: Розклад, Відомості до розкладу, Робочий навчальний план, Наказ про закріплення дисциплін за кафедрами;
- реєстри відомостей: «Розклад основний», «Розклад додатковий», «Навчальні плани» та ін.

Розклад занять акумулює інформацію з довідників та документів, саме тому було добавлено можливість для автоматичного заповнення даних з документів «Робочі плани» та «Відомості до розкладу». Це зроблено для зручності та скорочення витраченого часу на формування розкладу навчального процесу. Сам розклад є результатом накопичення інформації з великої кількості довідників та документів, обумовлюючи створення складної системи взаємозв'язків між інформативними таблицями у процесі формування. Врахування загальних даних завантаженості викладачів та студентів у процесі розробки розкладу з вибором аудиторій, що відповідають за критерієм кількості навчальних місць, потребує використання оптимізаційних методів обробки інформації. Для зручності користувачів було розроблено ряд перевірок, що зменшують до мінімуму можливість помилки. Серед наявних перевірок при формуванні розкладу можна виділити наступні:

- один і той же викладач на одній і тій самій парі у різних аудиторіях;
- одна і та ж група(підгрупа) на одній і тій самій парі у різних аудиторіях;
- декілька груп з різними дисциплінами на одній і тій самій парі в одній аудиторії;
- різні викладачі з однаковими дисциплінами на одній і тій самій парі в однакових аудиторіях;
- у одного і того ж викладача на одній і тій самій парі різні дисципліни.

При спрацюванні хоча б однієї перевірки з'являється вікно, у якому повідомляється причина зупинення зберігання розкладу та можливі варіанти вирішення проблеми.

У навчальному процесі традиційно використовуються такі типи занять: лекційні, практичні, семінарські та лабораторні робот. Також є самостійна робота студентів, причому даний вид роботи в розклад не включається. Під час формування розкладу кількість занять на тиждень не є фіксованою сталою величиною. Бувають такі випадки, коли потрібно розбити тижні на верхній та нижній. Даний розподіл допомагає вирішити ряд проблем, саме тому було розроблено відповідний функціонал для системи. У програмному забезпеченні наявна можливість виводити на екран збережені розклади у друкованому вигляді за допомогою спеціально розробленого додатку. Це допомагає побачити можливі помилки при формуванні розкладів чи зберегти в одному із декількох варіантів типу файлів і відправити на узгодження. Вже готовий варіант розкладу для верхнього тижня в друкованій формі зображений на рис. 1.

Верхній тиждень						
День тижня	Час навчання	М20 Д/122				
		Дисципліна	Тип заняття	Аудиторія	Викладач	Підгрупа
Понеділок	4	Прикладний аналіз даних	Лек	205	Бабаков Р.М.	
	5	Прикладний аналіз даних	Лаб.	225	Бабаков Р.М.	М20-В Д/122
	7	Методологія та організація наукових досліджень. Кв аліфікаційна робота.	Лаб.	306	Штовба С. Д.	М20-А Д/122
Вівторок	2	Методологія та організація наукових досліджень. Кв аліфікаційна робота.	Лаб.	225	Штовба С. Д.	М20-Б Д/122
	3	Методологія та організація наукових досліджень. Кв аліфікаційна робота.	Лаб.	225	Штовба С. Д.	М20-В Д/122
	4	Нечіткі множини та системи	Лек	205	Штовба С. Д.	
Середа	2	Статистичне навчання	Лек	205	Нескорородева Т.В.	
	3	Статистичне навчання	Лаб.	202	Нескорородева Т.В.	М20-А Д/122
	4	Статистичне навчання	Лаб.	225	Нескорородева Т.В.	М20-Б Д/122
	5	Статистичне навчання	Лаб.	225	Нескорородева Т.В.	М20-В Д/122
Четвер	4	Нечіткі множини та системи	Лаб.	202	Штовба С. Д.	М20-В Д/122
Субота	2	Розподілені та паралельні алгоритми	Лек	205	Федоров Є. Є.	
	3	Розподілені та паралельні алгоритми	Лаб.	306	Федоров Є. Є.	М20-А Д/122
	4	Нейромережев і методи та моделі	Лек	205	Федоров Є. Є.	
	5	Нейромережев і методи та моделі	Лаб.	306	Федоров Є. Є.	М20-А Д/122
	6	Нейромережев і методи та моделі	Лаб.	306	Федоров Є. Є.	М20-Б Д/122
	7	Нейромережев і методи та моделі	Лаб.	306	Федоров Є. Є.	М20-В Д/122

Рис. 1. Приклад друкованої форми для збереженого розкладу

На рис. 2 зображена інформаційна модель, за допомогою якої можна краще зрозуміти процес формування розкладу навчального процесу.

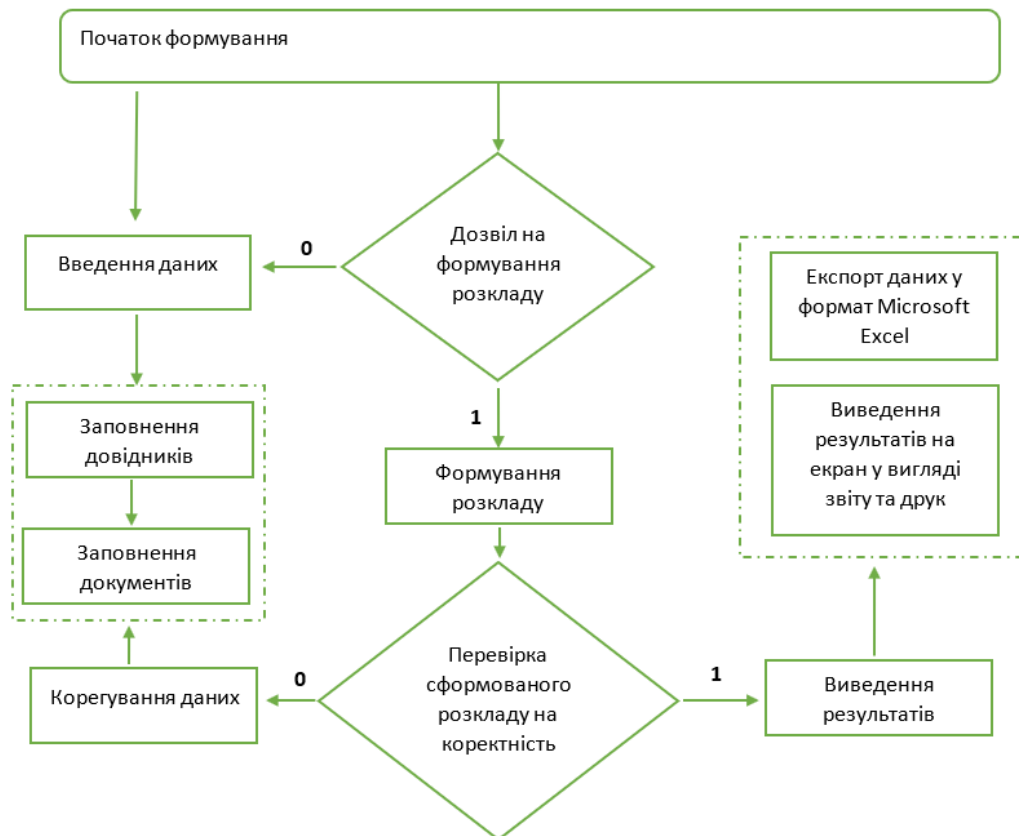


Рис. 2. Схема формування розкладу навчальних занять

Висновки

В результаті виконаної роботи розроблено модель автоматизованої системи формування розкладу навчального процесу у ЗВО. Система реалізує методику складання розкладу, орієнтованого на організацію навчального процесу для першого та другого ступенів вищої освіти на факультеті інформаційних і прикладних технологій у ДонНУ імені Василя Стуса. Методика враховує специфіку індивідуальних планів магістрів та бакалаврів, адаптованих до вимог Болонського процесу. А також презентує складність і трудомісткість процесу створення розкладу в вищих навчальних закладах, що, у свою чергу, обумовлює актуальність розробки автоматизованої системи формування розкладу, спрямованої на автоматизацію рутинних процесів обробки інформативних потоків та оптимізацію структури розкладу. Система дозволяє комбінувати в розкладі аудиторне та онлайн навчання. Також можна створювати розклад сесії та засідання екзаменаційних (кваліфікаційних) комісій. Розроблені звіти для перегляду заповненості аудиторій факультету, а також тижневе навантаження викладача.

Література

1. Островська Г. В. Формування розкладу заліково-екзаменаційної сесії у вищих навчальних закладах. / Г. В. Островська, С. М. Мічківський // Матеріали наукової конференції професорсько-викладацького складу, наукових працівників і здобувачів наукового ступеня за підсумками науково-дослідної роботи за період 2017–2018 рр. (16–17 травня 2019 р.) : у 2 томах. Том 2. – Вінниця : Донецький національний університет імені Василя Стуса, 2019. – С. 110–111.
2. Програмна система формування розкладу занять у закладі вищої освіти. URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/programna-sistema-formuvannya-rozkladu-zanyat-u-zakladi-vischoyi-osviti/viewer>
3. Бевз С. В. Автоматизація процесу формування розкладу сесії / С. В. Бевз, В. В. Войтко, С. М. Бурбело, Т. О. Куба, О. О. Сухоносов // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2009. – № 2. – URL : <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/3429?locale-attribute=en>
4. Мулява І. Я. Система формування розкладу навчального заняття з використанням суб'єктивних переваг / І. Я. Мулява // Міжнародний науковий журнал. – 2016. – № 7. С. 22–27. – URL : http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/mnj_2016_7_7.pdf
5. АС «Деканат». URL : <https://vuz.osvita.net/ua/asu-vnz/as-dekanat/>
6. Хайдаров К. А. Основы алгоритмизации и языков программирования // Научная библиотека по физике и новым технологиям. URL : <http://bourabai.kz/alg/RAD.htm>.

References

1. Ostrovska H. V. Formuvannia rozkladu zalikovo-ekzamenatsiinoi sesii u vyshchyykh navchalnykh zakladakh. / H. V. Ostrovska, S. M. Michkivskiy // Materialy naukovoi konferentsii profesorsko-vykladatskoho skladu, naukovykh pratsivnykiv i zdobuvachiv naukovoho stupenia za pidsumkamy naukovo-doslidnoi roboty za period 2017–2018 rr. (16–17 travnia 2019 r.) : u 2 tomakh. Tom 2. – Vinnytsia : Donetskyi natsionalnyi universytet imeni Vasylia Stusa, 2019. – S. 110–111.
2. Prohramna systema formuvannia rozkladu zaniat u zakladi vyshchoi osvity. URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/programna-sistema-formuvannya-rozkladu-zanyat-u-zakladi-vischoyi-osviti/viewer>
3. Bezv S. V. Avtomatyza tsia protsesu formuvannia rozkladu sesii / S. V. Bezv, V. V. Voitko, S. M. Burbelo, T. O. Kuba, O. O. Sukhonosov // Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnolohii. – 2009. – № 2. –URL : <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/3429?locale-attribute=en>
4. Muliava I. Ya. Systema formuvannia rozkladu navchalnoho zaniat z vykorystanniam subiektyvnykh perevah / I. Ya. Muliava // Mizhnarodnyi naukovyi zhumal. – 2016. – № 7. С. 22–27. – URL : http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/mnj_2016_7_7.pdf
5. AS «Dekanat». URL : <https://vuz.osvita.net/ua/asu-vnz/as-dekanat/>
6. Hajdarov K. A. Osnovy algoritimizacii i yazykov programmirovaniya // Nauchnaya biblioteka po fizike i novym tehnologiyam. URL : <http://bourabai.kz/alg/RAD.htm>.

Рецензія/Peer review : 28.08.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.10.2021 р.

ЯКОВЧУК М. В.

Хмельницький національний університет

ORCID ID: 0000-0003-1923-1979

e-mail: kolani4ua@gmail.com

МІХАЛЕВСЬКИЙ В. Ц.

Хмельницький національний університет

ORCID ID: 0000-0002-8197-8005

e-mail: cezar_mv@ukr.net

СКРИПНИК Т. К.

Хмельницький національний університет

ORCID ID: 0000-0002-8531-5348

e-mail: marine_1996@ukr.net

ПОРІВНЯННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ В ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ ТА ЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ СИСТЕМАХ

У статті описано та досліджено різницю між децентралізованою та централізованою інформаційними системами. Вивчено ефективність використання та впровадження у виробництво нових технологій. Проаналізовано побудову систем на базі блокчейну та їх ефективність у вирішенні поставлених завдань. Сформовані висновки про тенденції, що впровадження децентралізації доводять потребу в цифрових системах управління в той час, коли реалізація технології блокчейн значно спростила побудову нових децентралізованих систем, що є актуальною тенденцією в світі.

Ключові слова: система управління, оптимізація, об'єктно-орієнтоване програмування, блокчейн.

MYKOLA V. YAKOVCHUK, VITALY T. MIKHALEVSKY, TETYANA K. SKRYPNYK

Khmelnitskyi National University

COMPARISON OF MANAGEMENT EFFICIENCY IN DECENTRALIZED AND CENTRALIZED SYSTEMS

This article describes and investigates the difference between a decentralized and a centralized information system. The efficiency of use and introduction of new technologies in production is studied. The construction of blockchain-based systems and their efficiency in solving the tasks are analyzed. Conclusions are formed about the tendency that the introduction of decentralization proves the need for digital management systems. At a time when the implementation of blockchain technology has greatly simplified the construction of new decentralized systems, which is a current trend in the world. The basis of blockchain technology is in a distributed information storage. It allows you to store important information simultaneously on many servers, and therefore keep them open and safe. For example, on the basis of this technology it is possible to store both the history of customers' bank transactions, voting results, and database of contracts, fingerprints or medical histories. And the information that stored simultaneously in many places, it is impossible to steal it, because in any case they can be restored from the original sources. As already mentioned, a blockchain, a block of transactions, is a structure for writing transaction groups. Transactions are carried out only when it is considered confirmed. It is reliable and convenient when it comes to making payments or the transfer of confidential data. So that the transaction is considered confirmed, its format and signatures must be verified. After that, the group transactions are recorded in a special block. In these blocks, all data is fast to verify. And in each subsequent information about the previous is stored. For example, in transactions on cryptocurrencies, the chain contains blocks information about all actions ever performed with bitcoins. The block includes a header and a list of transactions. The title of the block has its own hash, previous block hash, transaction hash and other additional official information. The first thing that is specified in the transaction block is getting a commission that will be as a reward, so the user who actually and will create this block. For transactions in the block tree hashing was used.

Keywords: programming paradigm, object, function, object-oriented programming, functional programming, blockchain.

Вступ. Постановка проблеми

Управління системою виробництва є одним із основних процесів в організації ефективного підприємства. Науковими дослідженнями було доведено, що впровадження інноваційних інформаційних систем позитивно впливає на якість та ефективність взаємодії між різними елементами системи.

Створення ефективних систем управління є важливим для організацій різних розмірів та напрямів. Для компаній важливо визначити, як вони повинні структурувати організацію, щоб полегшити взаємодію між різними частинами системи. Рівні управління в організації допомагають сформувати структуру, яка встановлює рівні повноважень і ролі. Будь-яке виробництво починається з ідеї. Після втілення ідеї в дію та формування робочої системи вимірювання ефективності є важливим кроком для її подальшої роботи. Коли бізнес тільки розпочинає свою діяльність, доволі легко виміряти результативність, оскільки власник бере активну участь у повсякденній діяльності та прийнятті рішень бізнесу. Однак, оскільки бізнес зростає за рахунок збільшення обсягу продажів, додаткових продуктів і місць розташування, а також збільшення кількості співробітників, вимірювати ефективність організації стає все складніше. Власники та менеджери повинні розробляти організаційні системи, які забезпечують операційну ефективність, вимірювання продуктивності та досягнення організаційних цілей. Найбільш поширеними підходами є централізована і децентралізована системи управління.

Розробка програмної системи дозволяє спростити і пришвидшити виконання операцій в управлінських системах на будь-якому етапу.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Дослідження засновані на наукових працях та дослідженнях у сфері розробки програмних систем управління та економічних дослідженнях доводять ефективність цифрових управлінських систем. Згідно з

опрацьованими дослідженнями [1], покращення ефективності управління є важливою темою, від неї залежить рівень ефективності підприємства в цілому. В той час якісно реалізована програмна система забезпечує високий рівень безпеки та швидкодії. Програмна реалізація системи враховує індивідуальні важливі критерії кожної системи в залежності від предметної області. Однією з таких систем є блокчейн.

Блокчейн (Blockchain) [2, 3] дозволяє розповсюджувати дані в базі даних між кількома вузлами мережі в різних місцях. Це не тільки створює надлишковість, але й підтримує точність даних, що зберігаються в них, якщо хтось спробує змінити запис в одному екземплярі бази даних, інші вузли не будуть змінені, і таким чином поганий актор не зможе це зробити. Якщо один користувач підробить запис транзакцій то, всі інші вузли будуть посилатися один на одного і легко виявлять вузол з неправильною інформацією. Ця система допомагає встановити точний і прозорий порядок подій. Таким чином, жоден вузол мережі не може змінити інформацію, що зберігається в ньому. Через це інформація та історія транзакцій є незворотними. Таким записом може бути список транзакцій (наприклад, з криптовалютою), але блокчейн може містити різноманітну інформацію, як юридичні контракти, державні ідентифікації або інвентаризацію продуктів компанії.

Метою роботи є порівняння та аналіз програмних методів управління підприємством на предмет модернізації та покращення ефективності виконання поставлених завдань.

Виклад основного матеріалу

Централізована система управління (Centralized control system) – це бізнес-структура, в якій одна особа приймає важливі рішення і вирішує основний стратегічний напрям діяльності компанії. Більшість малих підприємств централізовані, оскільки власник приймає всі рішення щодо продуктів, послуг, стратегічного напрямку та більшості інших важливих сфер. Однак бізнес не повинен бути малим, щоб бути централізованим. Корпорація Apple є прикладом бізнесу з централізованою структурою управління. У Apple більшу частину відповідальності за прийняття рішень покладає головний виконавчий директор. Apple вже давно розглядається як організація, яка підтримує високий рівень централізованого контролю над стратегічними ініціативами компанії, такими як розробка нових продуктів, ринки для роботи та придбання компаній. Багато підприємств у швидко змінних технологічних середовищах мають централізовану форму структури управління. Рішення, прийняті керівництвом нижчого рівня, обмежені в централізованому середовищі.

Представлення схеми роботи централізованої системи управління зображено на рис. 1.

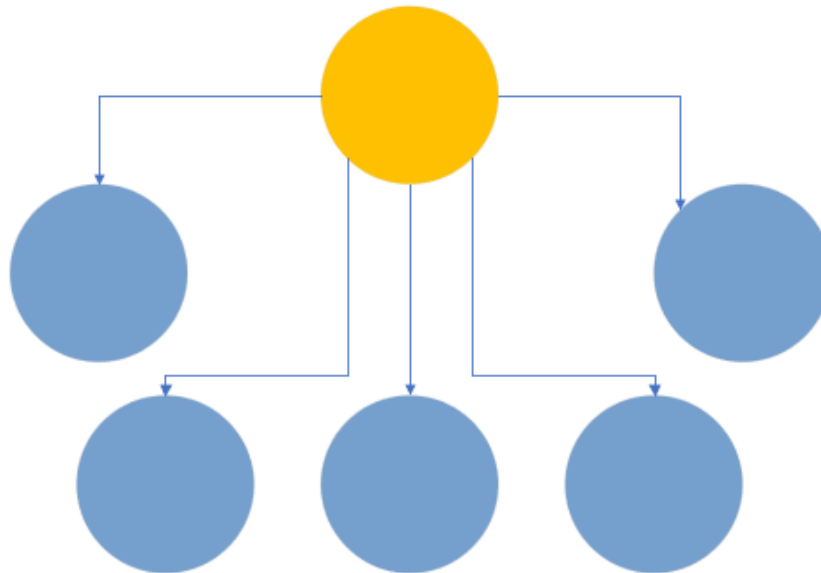


Рис. 1. Централізована система управління

До основних переваг централізованих систем над децентралізованими системами управління можна віднести:

- чіткість;
- контроль за напрямком діяльності підприємства;
- впорядковану реалізацію політики та ініціатив.

До основних критичних недоліків підприємств, які використовують централізовану систему управління можна віднести:

- обмежений зворотній зв'язок;
- негнучкість до змін внутрішніх або зовнішніх елементів.

Децентралізація (Decentralization) – не нова концепція [4]. При створенні технологічного рішення зазвичай розглядаються три основні архітектури мережі: централізована, розподілена та децентралізована. Хоча технології блокчейну часто використовують децентралізовані мережі, сама програма блокчейн не може бути просто децентралізована чи ні. Швидше, децентралізація є ковзаючим масштабом і його слід

застосовувати до всіх аспектів застосування блокчейн. Децентралізувавши керування ресурсами програми та доступ до них, можна досягти кращого та справедливого обслуговування. Децентралізація зазвичай має деякі компроміси, такі як нижча пропускна здатність транзакцій, але в ідеалі компроміси варті покращеної стабільності та рівня обслуговування, які вони створюють. Децентралізацію слід застосовувати там, де це має сенс. Те, що це блокчейн-додаток, не є гарантією того, що система має бути на 100 % децентралізованою. Мета будь-якого блокчейн-рішення – забезпечити те, що потрібно користувачам цього рішення, і це може включати або не включати певні рівні децентралізації.

Децентралізована система управління (Decentralized control system) – вид робочої бізнес-структури [5], в якій прийняття рішень здійснюється на різних рівнях організації. Як правило, децентралізовані підприємства поділяються на менші сегменти або групи, щоб полегшити вимірювання ефективності компанії та окремих осіб у кожній з підгруп.

Багато підприємств працюють на ринках і галузях, які є висококонкурентними. Щоб бути успішним, компанія повинна наполегливо працювати над розробкою стратегічних конкурентних переваг, які відрізнятимуть компанію від аналогів. Щоб досягти цього, організаційна структура повинна дозволити організації швидко адаптуватися і використовувати можливості. Тому багато організацій використовують децентралізовану структуру управління, щоб зберегти конкурентну перевагу. Поява технології блокчейн і криптовалют відкрила великий простір можливостей, завдяки яким можуть працювати децентралізовані ринки.

Представлення схеми роботи децентралізованої системи управління зображено на рис. 2.

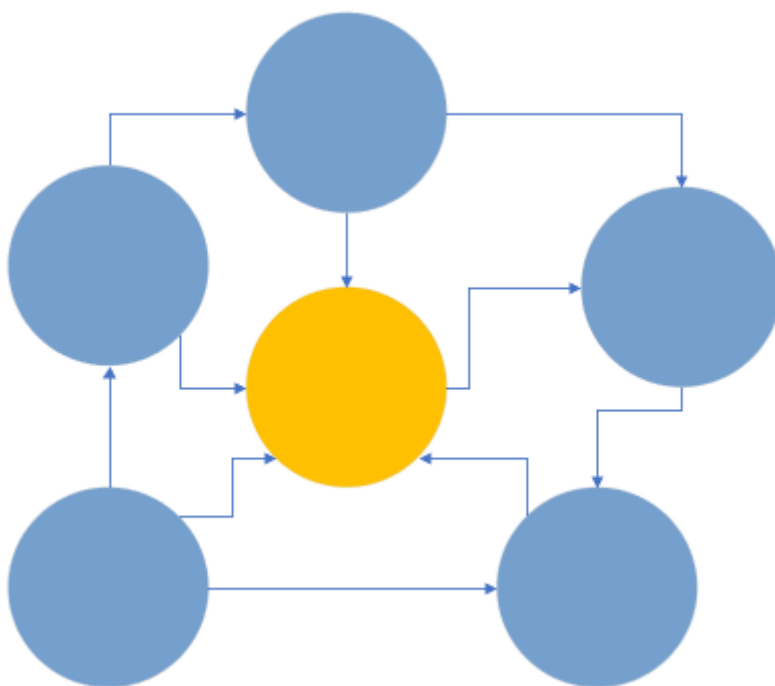


Рис. 2. Децентралізована система управління

Децентралізована бізнес-структура [6], в якій прийняття рішень здійснюється на різних рівнях організації є самостійною і взаємозамінною. Як правило, децентралізовані підприємства поділяються на менші сегменти або групи, щоб полегшити вимірювання ефективності компанії та окремих осіб у кожній з підгруп.

Децентралізоване управління має безліч переваг:

- швидке прийняття рішень і час реагування – важливо, щоб рішення приймалися і реалізовувалися вчасно;
- щоб залишатися конкурентоспроможними, організаціям важливо використовувати можливості, які вписуються в стратегію організації.
- краща здатність до розширення компанії – організаціям важливо постійно досліджувати нові можливості для надання товарів і послуг своїм клієнтам;

- оптимізація розподілу ресурсів;
- кваліфікований та спеціалізований менеджмент – організації повинні інвестувати в розвиток висококваліфікованих співробітників, здатних приймати обґрунтовані рішення, які допомагають організації досягати її цілей;

- зв'язок між винагородою і відповідальністю – можливості просування часто пов'язані зі збільшенням компенсації. У децентралізованій організації підвищення винагороди часто відповідає збільшенню обов'язків, збільшенням повноважень щодо прийняття рішень та наглядом за іншими працівниками;

- краще використання керівництва нижчого та середнього рівня – для досягнення успіху в організації необхідно виконати багато завдань. Децентралізовані системи управління часто покладаються на керівництво нижчого та середнього рівня для виконання багатьох із цих завдань. Це дозволяє менеджерам отримати цінний досвід і знання в різних сферах.

Хоча децентралізована організаційна структура може бути перевагою для багатьох організацій, цей тип структури має також недоліки:

- багато підприємств працюють на ринках і галузях, які є висококонкурентними. Щоб бути успішним, компанія повинна наполегливо працювати над розробкою стратегічних конкурентних переваг, які відрізнятимуть компанію від аналогів. Щоб досягти цього, організаційна структура повинна дозволити організації швидко збільшення адміністративних витрат через дублювання зусиль, оскільки потрібно приймати подібні рішення та виконувати дії в усіх підрозділах організації, децентралізовані організації схильні до дублювання зусиль, що призводить до неефективності та збільшення витрат;

- невідповідність операцій – коли автономія розподілена по всій організації, як це має місце в децентралізованих організаціях, у керівників підрозділів може виникнути спокуса налаштувати або змінити

роботу підрозділу, щоб максимізувати ефективність і відповідати найкращим інтересам підрозділу. У цій структурі важливо забезпечити, щоб ярлики, використані одним підрозділом організації, не суперечили та не порушували роботу іншого підрозділу в організації;

– значна, якщо не майже повна залежність від керівників підрозділів або відділів, оскільки підрозділи децентралізованих організацій мають високий рівень автономії, відділ може стати оперативно ізольованим від інших підрозділів організації, зосереджуючись виключно на пріоритетах підрозділу. Якщо керівники підрозділів або відділів не мають широкого досвіду чи навичок, відділ може бути в невідповідному становищі через обмежений доступ до інших експертів.

Основних недоліків децентралізованих систем управління допомагає позбутись блокчейн. За його допомогою з'являється можливість звучно масштабувати процеси в залежності від вимог виробництва. Основна ідея блокчейну полягає в децентралізації, що призводить до повної передачі управління рішеннями від чітко централізованої особи чи групи до розподіленої та розгалуженої мережі. Децентралізовані системи мають на меті зменшити рівень довіри, який учасники повинні виявляти один до одного, і стримувати їхню здатність змінювати повноваження чи встановлювати контроль один над одним способом, який погіршує функціональність мережі.

Висновки

У проведеному дослідженні було проведено порівняння та аналіз різних типів управління підприємством. Вивчено вплив інтеграції технології блокчейн в системи управління. Визначені переваги та недоліки при побудові децентралізованої системи на базі блокчейну.

Результатами проведеного дослідження було отримано дані, що в залежності від предметної області як централізована система, так і децентралізована можуть бути ефективними. Проте при впровадженні системи побудованої на базі блокчейну значно збільшується ефективність саме в децентралізованій моделі управління. Такий підхід дозволяє поєднати плюси децентралізації та чітко керованої структури при збереженні високої ефективності.

Література

1. Kaiser K. Decentralization Reforms. Analyzing the Distributional Impact of Reforms. URL: <https://http://siteresources.worldbank.org/INTPSIA/Resources/4900231120845825946/3622>
2. Що таке blockchain і для чого він потрібен. URL: <https://nachasi.com/2017/06/02/blockchain-faq>
3. Proof of stake instead of proof of work. URL: <https://bitcointalk.org/index.php?topic=27787.0>
4. Toward open manufacturing: A cross-enterprises knowledge and services exchange framework based on blockchain and edge computing. URL: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IMDS-04-2017-0142/full/html>
5. Smart Contracts in 2021: What it is & Why matters? URL: <https://research.aimultiple.com/smartcontracts/>
6. Block Height. Guide to Blockchain. URL: <https://www.investopedia.com/terms/b/block-height.asp>

References

1. Kaiser K. Decentralization Reforms. Analyzing the Distributional Impact of Reforms. URL: <https://http://siteresources.worldbank.org/INTPSIA/Resources/4900231120845825946/3622>
2. Shcho take blockchain i dlia choho vin potriben. URL: <https://nachasi.com/2017/06/02/blockchain-faq>
3. Proof of stake instead of proof of work. URL: <https://bitcointalk.org/index.php?topic=27787.0>
4. Toward open manufacturing: A cross-enterprises knowledge and services exchange framework based on blockchain and edge computing. URL: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IMDS-04-2017-0142/full/html>
5. Smart Contracts in 2021: What it is & Why matters? URL: <https://research.aimultiple.com/smartcontracts/>
6. Block Height. Guide to Blockchain. URL: <https://www.investopedia.com/terms/b/block-height.asp>

Рецензія/Peer review : 16.09.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.10.2021 р.

МАШИНОБУДУВАННЯ, МЕХАНІКА ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

DOI 10.31891/2307-5732-2021-301-5-45-51

УДК 678.026.3

ОЛЕКСАНДРЕНКО В. П.

Хмельницький національний університет

ORCID ID: 0000-0002-2404-2104

e-mail: oleksandrenko_vp@ukr.net

СВІДЕРСЬКИЙ В. П.

Хмельницький національний університет

ORCID ID: 0000-0003-4816-6977

e-mail: svidersky.vladyslav@gmail.com

КИРИЧЕНКО Л. М.

Хмельницький національний університет

ORCID ID: 0000-0001-6382-8911

e-mail: kirichenko47@ukr.net

СФІМЕНКО В. В.

Національний авіаційний університет

ORCID ID: 0000-0002-4903-6174

e-mail: e.valerij.ua@gmail.com

ВПЛИВ СКЛАДУ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА АДГЕЗІЙНУ МІЦНІСТЬ ФТОРОПЛАСТОВИХ ПОКРИТТІВ ДО МЕТАЛЕВИХ ПОВЕРХОНЬ

Проаналізовано шляхи регулювання адгезії фторопластових покриттів до металевих поверхонь. Досліджено вплив складу і температурно-часових умов формування ґрунтувального шару покриття на адгезійну міцність металополімерних з'єднань. Детально описані режими технологічних операцій. Наведені властивості ґрунтувального шару фторополімеру Ф-30П. Окреслено особливості формування ґрунтувального шару фторопластового покриття. Розроблена технологія нанесення ґрунтувального шару фторопластового покриття електроосадженням на металеві поверхні. Дані рекомендації з використання результатів виконаних досліджень для отримання фторопластових покриттів з високою адгезією до металевих поверхонь.

Key words: adhesion, fluoroplastic coatings, strength, composition, technological factors, metal surface.

OLEKSANDRENKO V. P., SVIDERSRKYI V. P., KIRICHENKO L. M.

Khmelnitsky National University

YEFYMENKO V. V.

National Aviation University

THE INFLUENCE OF COMPOSITION AND TECHNOLOGICAL FACTORS ON ADHESION STRENGTH OF FLUOROPLASTICS COATINGS TO METAL SURFACES

The ways of regulating adhesion of fluoroplastic coatings to metal surfaces are analyzed. It has been established that polymer and metal modification is necessary to increase the adhesive strength and resistance of fluoroplastic coatings. The relative impact of the nature of the metal on the strength of adhesive compounds of polymer - metal is less influenced by the nature of the polymer. The strength of metal compounds is significantly affected by the activation of the metal surface by mechanical treatment (grinding etc.). Various methods of oxidation, etching, metal phosphating are recommended to increase the adhesive strength of fluoropolymer coatings. Method of investigation of adhesion and resistance to scratch damage of coatings is given. The influence of composition and temperature-time conditions of the ground layer formation of the coating on adhesive strength of metal-polymeric compounds was investigated. Detailed operation modes are described. The properties of the ground layer of fluoropolymer Ф-30П are given. The peculiarities of the fluoroplastic coating ground layer formation are outlined. The technology of application of the fluoroplastic coating ground layer on electroplating of metal surfaces has been developed. The coating on the metal surface was done by electrostatic spraying of the ground layer powder at an electric field voltage of 50 kV. The deformation and strength properties of the unstabilized Ф-30П fluoroplast are found to be quite high, which together with high adhesive strength makes it possible to recommend this polymer as primer. It is also advisable to melt the ground layers in more rigid temperature-time modes (melting temperature 260 °C, duration – 2 hours) in order to ensure higher adhesion strength. The adhesive strength of the Ф-30П fluoroplastic coating can be increased by 10–15 % by additional heating at a temperature of 240 °C for two hours. Analysis of the results showed that the resistance of fluoroplastic coatings based on Ф-30П to damage by scratching with an increase in the graphite content of C-1 from 15 % to 25 % increases by a factor of 2.11, and inserting to coating with 25 mas.% of C-1 graphite additional 3 mas. % of the aerosil-based amino-ergoholozene – 3.16 times. The additional thermoprocessing of these coatings increases the resistance to damage by scratching by 30 per cent. Recommendations on the use of research results for obtaining fluoroplastic coatings with high-adhesion to metal surfaces are given.

Key words: adhesion, fluoroplastic coatings, strength, composition, technological factors, metal surface.

Вступ

Одним з основних факторів, що визначають працездатність полімерних покриттів є адгезія матеріалу покриття до підложки та її стійкість в експлуатаційних умовах. Адгезія полімерів до металів, як правило визначає адгезійну міцність металополімерних з'єднань, яку оцінюють за роботою, зусиллям або терміном руйнування з'єднань тим або іншим методом. Найдавніші уявлення про явище зчеплення полімерів з твердою поверхнею були пов'язані з гіпотезою про механічне заклинювання полімеру в мікродіфектах поверхні твердого тіла. Сучасні теорії розглядають адгезію полімерів як результат специфічної взаємодії

полімеру і твердої поверхні, що визначається їх фізичними, фізико-хімічними та іншими властивостями [1]. Адсорбційна теорія виходить з того, що адгезія є результат міжмолекулярної взаємодії металевої поверхні і полімеру, а саме адсорбції молекул полімеру за рахунок сил Ван-дер-Ваальса. Електронна теорія адгезії розглядає утворення контактних подвійних електричних шарів на межі розділу адгезійного з'єднання полімер – тверде тіло. Згідно електрорелаксаційної теорії робота руйнування адгезійного з'єднання складається з електричної і деформаційної складових, причому завдяки наявності останньої пояснюється збільшення роботи руйнування адгезійного з'єднання зі збільшенням швидкості руйнування. Приблизники хімічної або хемосорбційної теорії вважають, що основну роль в адгезійній взаємодії відіграють хімічні зв'язки ковалентного або іонного типу, що виникають при контакті полімерів з твердими тілами. Згідно дифузійної теорії взаємодія конденсованих тіл здійснюється за рахунок дифузії сегментів макромолекул полімеру через межу початкового контакту. Відсутність єдиної точки зору на адгезію полімерів до металів пояснюється складністю і різноманітністю явищ на межі полімер – тверде тіло. В наш час відсутня загальна теорія адгезії металополімерних з'єднань і науковий прогрес в цьому напрямку визначається в основному експериментальними дослідженнями, проведення яких є досить актуальним.

Аналіз останніх досліджень

Однією із найважливіших задач при формуванні фторполімерних покриттів на металевих поверхнях є отримання металополімерних з'єднань з високою адгезійною міцністю і зносостійкістю. Низька адгезійна здатність фторполімерів, які застосовуються в якості матеріалів для антикорозійних, електроізоляційних і антифрикційних покриттів викликає необхідність здійснення процесів модифікування металів або полімерів з метою підвищення міцності і стійкості адгезійних металополімерних з'єднань за рахунок встановлення або підсилення хімічних, фізичних або фізико-хімічних зв'язків, а також за рахунок збільшення площі адгезійного контакту [2].

Модифікування фторполімерів. Підвищення адгезійної міцності металополімерних з'єднань модифікуванням полімерів полягає у зміні хімічного складу та будови макромолекул полімерів, введенні речовин, що збільшують їх адгезійну здатність.

Суттєвий вплив на адгезійну здатність полімерів і адгезійну міцність з'єднань на їх основі виявляє наявність полярних функціональних груп [1]. Покриття з полімерів з достатньою концентрацією полярних груп (поліаміди, полііміді, епоксидні сполуки і ін.) мають, як правило високу початкову адгезійну міцність за відсутності попередньої спеціальної підготовки. Збільшення вмісту полярних груп до деякої межі приводить до покращення адгезійних властивостей полімерів і підвищення міцності з'єднань їх з металами. Однак зі збільшенням вмісту полярних груп в полімерах зростає не тільки їх адгезійна здатність але й енергія міжмолекулярної взаємодії, в результаті чого знижується рухомість макромолекул полімеру і зменшується імовірність адгезійного контакту полярних груп полімеру і металевої поверхні. Це обумовлює необхідність проведення експериментальних досліджень для визначення адгезійної міцності металополімерних з'єднань в залежності від концентрації полярних груп в полімерах. Оскільки в більшості випадків відсутня кореляція між адгезійною міцністю і кількістю полярних груп, оптимальна концентрація останніх для кожного конкретного металополімерного з'єднання визначається експериментальним шляхом. Активація фторполімерної поверхні здійснюється електричним розрядом, ультрафіолетовим, гама або рентгенівським випромінюванням. Але ці методи активації є дорогі. Підвищує адгезійну здатність політетрафторетилену обробка його поверхні розплавами алкоксидних металів I, II і III груп періодичної системи та іншими сполуками.

Спрямоване регулювання міцності фторопластових покриттів здійснюється введенням в полімери модифікуючих добавок, природа яких впливає на характер зміни адгезійних властивостей фторопластових покриттів. Адгезійна міцність фторопластових покриттів змінюється зі збільшенням концентрації мінеральних наповнювачів: оксиду хрому, графіту, оксиду алюмінію, карбїду кремнію, силікату алюмінію або цирконію, скляного волокна, сульфату барію, тонких керамічних порошків, тальку, металевого волокна [3, 4]. При введенні металевих наповнювачів до об'єму полімерних покриттів необхідно враховувати їх каталітичну активність по відношенню до окислення полімеру. При формуванні наповнених покриттів термоокислювальні процеси, що приводять до підвищення кількості полярних функціональних груп, відповідальних за міцність адгезійних з'єднань, протікають за рахунок кисню розчиненого в полімері і адсорбованого на металевій поверхні, а також за рахунок кисню, який дифундує в полімер з навколишнього середовища. Причому визначаючий вплив на характер і кінетику термоокислення чинить кисень повітря, що дифундує в об'єм полімеру. Введення активного наповнювача сприяє інтенсифікації термоокислювальних процесів навколо частинок наповнювача, дифундує в кисень витрачається в основному на об'ємне окислення покриттів, в результаті чого окислення граничного з металевою поверхнею шару полімеру зменшується і адгезійна міцність з'єднань знижується.

Великий вплив має природа наповнювача на термічну стійкість адгезійних з'єднань. Наповнювачі, що каталізують окислення полімеру, приводять до зниження адгезійної міцності до нульових значень за довготривалої термічної дії. Якщо ж наповнювач сповільнює окиснення, то адгезійна міцність покриттів незалежно від активності металевої поверхні залишається досить високою і при термічній дії [4].

У патенті Російської федерації 2464107 [5] ґрунтувальний порошок містить сополімер тетрафторетилену/перфторолефіну і зв'язуючу речовину. Зв'язуюче містить полібензімідазол, рідкокристалічний полімер, або будь-яку їх комбінацію. Додатково ґрунтувальний порошок містить

поліефірсульфон, поліфеніленсульфід, поліаріленефіркетон або будь-які їх комбінації. Для покращення адгезії фторопласту-4 до металевої поверхні в якості проміжного шару також використовують 8–12 % розчин полібензімідазолу в диметилформаміді [6].

Модифікування металів. Фізичні, фізико-хімічні та інші властивості металів не спричиняють такого суттєвого впливу на адгезійну міцність металополімерних з'єднань, як полімери. Відносний вплив природи металу на міцність адгезійних з'єднань полімер – метал менше впливу природи полімеру [7].

Як правило, при зростанні твердості металів збільшується адгезійна міцність металополімерних з'єднань на їх основі і максимальна міцність досягається на основі нікелю, заліза і їх сплавів, мінімальна – на основі свинцю, олова та інших м'яких металів [7]. Має місце кореляція між когезійною міцністю металів і адгезійною міцністю з'єднань полімер – метал.

Суттєвий вплив на адгезійну міцність полімерних покриттів мають [1] окисні плівки на поверхні металу, які залежно від складу, структури і товщини можуть як зменшувати, так і збільшувати міцність металополімерних з'єднань.

Термін утворення окису на металевій поверхні складає 10^{-2} – 10^{-4} с, тобто при формуванні металополімерних з'єднань має місце контакт полімеру не з металом, а з окисом [1]. Оскільки об'єм окисів менше ніж об'єм чистих металів ріст окисної плівки супроводжується утворенням тріщин, пор і інших дефектів. Це сприяє підвищенню міцності з'єднань полімеру з металом як за рахунок збільшення площі адгезійного контакту, так і в результаті механічного зчеплення полімеру в мікродефектах металевої поверхні.

На міцність металополімерних з'єднань значний вплив має активація поверхні металу в результаті механічної обробки (точіння, шліфування та інші) [8]. Безпосередньо після обробки поверхня металу випускає електрони (екзоелектронна емісія), інтенсивність яких з часом знижується до нульових значень. Природу цього явища пов'язують з структурними перетвореннями, хемосорбцією, періодичною зміною полярності потенціалу по товщині окисної плівки. Екзоелектронна емісія може бути використана в якості критерію фізико-хімічної активності металевої поверхні. Для підвищення адгезійної міцності фторополімерних покриттів рекомендуються різні способи окисування, травлення та фосфатування металів.

Постановка проблеми

Фторопластові покриття знаходять широке застосування в харчовому та хімічному машинобудуванні. Нанесення фторопластових покриттів дозволяє суттєво знизити прилипання речовин, що переробляються до робочих поверхонь деталей і вузлів тертя, що викликає втрати сировини і готової продукції, погіршення їх якостей, а також зниження продуктивності праці через необхідність частого очищення та змашування обладнання. Фторопластові покриття ефективні для захисту хімічного обладнання, що працює в агресивних середовищах. Вони унікальні за своїми властивостями, особливо за хімічною стійкістю. Покриття з фторопластів мають низький коефіцієнт тертя, стійкі до зношування та ударів.

Недоліком фторопластових покриттів є їх низька адгезійна міцність до металевої підложки і недостатньо висока зносостійкість. Тому дослідження спрямовані на подолання цих недоліків є досить актуальними.

Мета та завдання

Метою роботи є створення ґрунтувального шару з високою адгезією до поверхні і відпрацювання технології нанесення електроосадженням фторопластового покриття на основі фторполімеру Ф-30П.

Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні задачі – розробити:

- склад і температурно-часовий режим формування ґрунтувального шару фтор полімерного покриття з високою адгезією і стійкістю до пошкодження шкрябанням;
- технологію електростатичного нанесення фторполімерного покриття на металеву поверхню.

Виклад основного матеріалу

Матеріали та методика дослідження. Для досліджень використовували фторопластові покриття на основі сополімеру трифторхлоретилену з етиленом: фторопласту-30 марки П (Formoplast, Росія) (ГОСТ 30333-2007,) з наповненням промоторами адгезії.

Як наповнювач композицій для фторопластового покриття використовували колоїдно-графітовий препарат С-1 (ТУ 113–08–48–63–90) (ТОВ Укрспецмасла) і високодисперсний аміноорганокремнезем на основі аеросилу. Матеріал металевої поверхні – лист сталевий холоднокатаний ст. 08кп. Для приготування композиції використовували дробарку-млинок МРП-1 (Granat, Росія) з подовими ножами та частотою обертання 7000 об/хв.

Методика дослідження композиційних матеріалів для покриттів містила визначення адгезії і стійкості до пошкодження шкрябанням. Недолік фторопластових покриттів: низька адгезійна міцність частково може бути подолана створенням ґрунтувального проміжного шару і особливою підготовкою поверхні, що покривається.

Дослідження адгезії і стійкості до пошкодження шкрябанням виконували за ASTM D 2197 «Метод визначення адгезії органічних покриттів з допомогою шкрябання» з застосуванням приладу NOVOTEST ЦІ-М. Прилад відповідає вимогам ISO 12137-1, ASTM D 5178, ASTM D 2197. Конструктивно прилад відповідає вимогам стандартів і являє собою установку з рухомим столом, на якому зразок для дослідження протягується під дією індентора (рис. 1).

На індентор діє встановлене з допомогою вантажів на коромислі навантаження. Прилад складається з основи на якій містяться три зони: а) стіл приладдя; б) стіл для досліджень; в) коромисло.

Стіл приладдя призначений для зберігання вантажів, індентора, а також шестигранного ключа. В процесі роботи стіл для досліджень з пристроями для кріплення переміщується по направляючим прямолінійно і паралельно напрямку осі коромисла. Пристрої для кріплення служать для фіксації зразка при виконанні досліджень.

Коромисло закріплено на стійці, з однієї сторони коромисла розташований врівноважуючий вантаж та рівень (для встановлення паралельного положення коромисла по відношенню до стола), з іншого – отвори для встановлення вантажів. Також на коромислі закріплені індентор. Принцип дії приладу оснований на дії індентора на покриття з певним навантаженням.

Технологічний процес нанесення фторполімерного покриття на металеву поверхню складається з наступних стадій: а) підготовка поверхні: знежирення, видалення забруднень і окисів, а також перетворення (конверсія) поверхні для підвищення адгезії та захисту від корозії (фосфатування); б) нанесення шару порошкового покриття на поверхню; в) формування плівки покриття: опалення, затвердіння, охолодження.

Для видалення окисних плівок використано абразивне очищення з допомогою піскоструменевої обробки металеві поверхні на установці піскоструменевої – 620-1109. Абразивне очищення здійснюється за допомогою часток піску, що подаються на поверхню з великою швидкістю в струмені стислого повітря. Частки абразиву, ударяючись об поверхню, відколюють від неї невеликі шматочки металу разом з окисними плівками та іншими забрудненнями. При цьому забезпечується висока якість очищення практично від усіх забруднень. Абразивне очищення забезпечує рівномірну шорсткість, що сприяє підвищенню адгезії покриття.

Після обробки поверхні частками піску її обдували очищеним повітрям. Для поліпшення захисних властивостей і подовження терміну служби, особливо при експлуатації в атмосферних умовах, для підготовки поверхні перед нанесенням фторопластового покриття застосували фосфатування. Фосфатування – отримання на металевій поверхні плівки з важко розчинних фосфорнокислих солей. Фосфатні плівки збільшують адгезію покриття і перешкоджають поширенню підплівкової корозії.

Фторопласт-30П і наповнювачі перед нанесенням покриття висувувались. Порошок фторполімеру Ф-30П для збільшення насипної маси і товщини покриття термообробляли за температури 200 °С протягом 30–60 хв. Після цього фторопласт-30П, графіт С-1 і аміноорганокремнезем на основі аеросилу перемішували в млинку МРП-1. Далі виконували фракціонування порошку з метою отримання композиції з розмірами частинок 40–80 мкм і піддавали її термообробці протягом однієї години при 150 °С. Нанесення фторопластових покриттів здійснювали за допомогою установки "Optima-01С" (м. Запоріжжя, «Елем»).

Нанесення фторопластових покриттів здійснювали шляхом електростатичного напилення. Метод нанесення тонкошарових полімерних покриттів в електростатичному полі оснований на осіданні заряджених частинок полімеру на поверхні деталі, що має протилежний заряд. Схема процесу зарядження і осадження частинок полімеру на виріб в полі коронного розряду приведена на рис. 2.

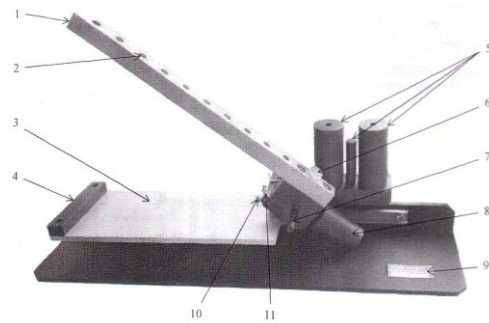


Рис. 1. Прилад для визначення адгезії і стійкості покриттів до пошкодження шкрябанням NOVOTEST ЦІ-М:
 1 – коромисло; 2 – отвори під вантажі; 3 – рухомий стіл;
 4 – обмежувач стола; 5 – вантажі (2×0,5 кг, 1×0,05 кг);
 6 – рівень; 7 – «палець» фіксації положення коромисла;
 8 – противага; 9 – заводський номер приладу;
 10 – індентор; 11 – гвинт фіксації індентора

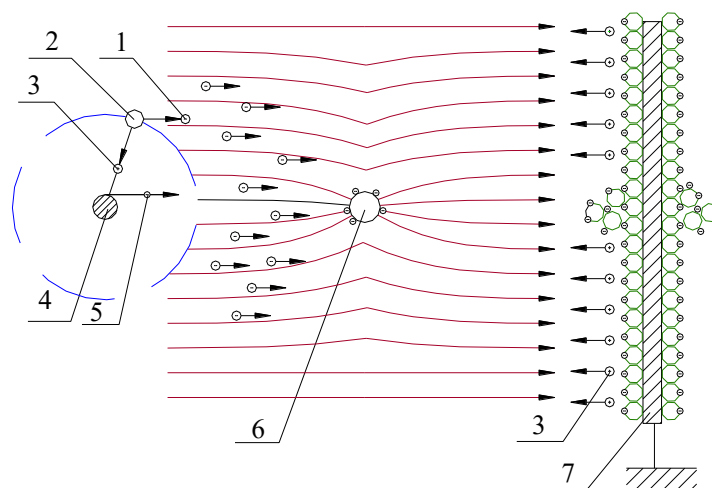


Рис. 2. Схема процесу зарядження і осадження частинок полімеру на виріб в полі коронного розряду:
 1 – іон (-); 2 – молекула повітря; 3 – іон (+); 4 – коронуючий електрод; 5 – електрон; 6 – частинки полімеру; 7 – виріб

Для нанесення покриттів використовувалось явище коронного розряду, що виникає під дією струму високої напруги. При цьому іони 1, що мають однаковий заряд з коронуючим електродом 4, відштовхуються від нього і рухаються в напрямку протилежному до зарядженого електроду. В просторі між електродами створюється електричне поле високої напруги. Якщо в міжелектродний простір входять частинки полімеру 6, то іони їх заряджають. Заряджена частинка направляється до електроду (деталі) з протилежним зарядом і осідає на її поверхні 7. Для реалізації процесу напilenня використовувався спеціальний пістолет-розпилювач.

Ефективність такого осадження залежала від електрофізичних властивостей підшару. Нанесення покриття на металеву поверхню здійснювали способом електростатичного напilenня порошку ґрунтувального шару при напруженості електричного поля 50 кВ. Ґрунтувальний шар з фторполімеру Ф-30П і промоторами адгезії (аміноорганокремнеземом на основі аеросилу і графіту С-1) для забезпечення високої адгезійної міцності оплавляли за більш жорстких температурно-часових режимів: температури 255–260 °С і терміну оплавлення 2 години та охолоджували до кімнатної температури з швидкістю 30–40 °С за годину. Для збільшення адгезійної міцності ґрунтувального шару його додатково нагрівали за температури 235–240 °С протягом двох годин з наступним охолодженням до кімнатної температури.

Підложку з покриттям встановлювали на рухомий столик і виконували його протягування під дією індентора. Після цього відбувалася візуальна оцінка покриття і встановлювалося його руйнування (вишкрябуванням). Ступінь проникнення індентора в покриття може бути різним – в залежності від мети дослідження і прикладеного навантаження. Це може бути або поверхневий слід на виробу, або повне руйнування.

Результати вирішення основних завдань проблеми і їх обговорення

Суттєвий вплив на адгезійну міцність покриттів полімерів на металах мають температурно-часові умови формування адгезійних металополімерних з'єднань. Змінюючи температуру і термін термічної дії можна в значних межах збільшувати міцність з'єднань та їх стійкість в умовах експлуатації.

Плівкоутворення на поверхні металевого виробу повинно не тільки привести до утворення рівної і суцільної плівки, але і забезпечити високу адгезійну міцність покриття. Фторполімери не містять в своєму складі полярних груп, здатних до сильної адгезійної взаємодії з активними групами металів. Не дивлячись на те, що фторполімери у розплаві мають порівняно низький поверхневий натяг, що сприяє змочуванню поверхні металу, відносно висока в'язкість розплаву затрудняє формування повного контакту і мікрореологічне затікання в пори підложки. Все це негативно впливає на адгезійну міцність та захисні властивості покриттів.

При оплавленні порошоків фторполімерів за підвищених температур відбувається одночасно декілька хімічних і фізико-хімічних процесів: окислення з виникненням полярних груп, термоокислювальна деструкція і термоструктурування, змочування та затікання розплаву в пори підложки і видалення пухирів. Тому температурно-часові режими плівкоутворення є важливим фактором оптимізації властивостей покриттів.

Результати дослідження адгезії і стійкості до пошкодження шкрябанням наведено на рис. 3 та 4.

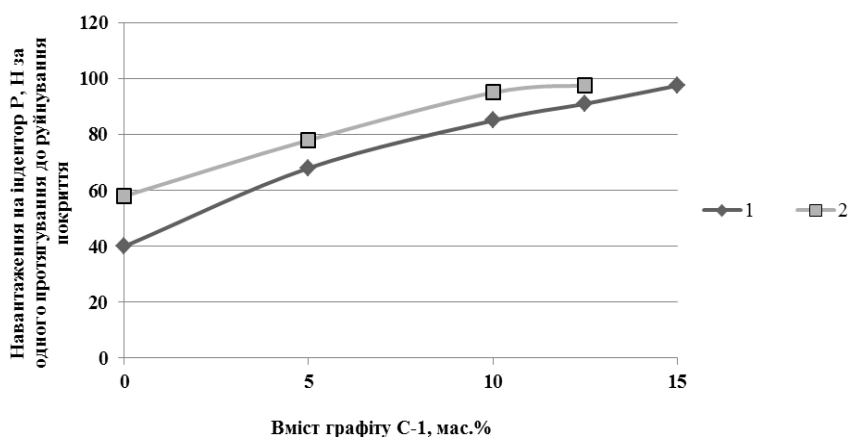


Рис. 3. Залежність навантаження на індентор (Р) за одного протягування індентора до руйнування покриття на основі полімеру Ф-30П від вмісту графіту С-1: 1 – оплавлення покриттів за температури 260 °С протягом двох годин; 2 – додаткова термообробка покриттів за температури 240 °С протягом двох годин

Встановлено, що фторполімер Ф-30П доцільно застосовувати в якості ґрунтувального шару сталених поверхонь оскільки він містить водень і здатний окислюватись з утворенням полярних груп. Причому процес окислення каталізується матеріалом підложки. При збільшенні вмісту графіту С-1 у покритті на основі фторопласту Ф-30 П до 15 мас. % адгезійна міцність зростає в 2,5 рази (рис. 3). Термоокислювальна деструкція або термоструктурування визначається за зміною показника текучості розплаву (ПТР) при прогріві [9]. При плівкоутворенні фторполімеру Ф-30П разом з деструкцією відбувається термоструктурування за відсутності утворення тримірної сітки, що викликає зниження ПТР. Процес термоструктурування відбувається з великою швидкістю за першу годину прогріву, інтенсифікується при

збільшенні температури і термоструктурування переважає деструкцію. Ріст адгезійної міцності корелює зі збільшенням когезійної міцності покриттів, що свідчить про когезійний характер руйнування адгезійних з'єднань. Введення наповнювачів знижує і внутрішні напруження в покриттях, що також позитивно впливає на їх адгезійні та захисні властивості.

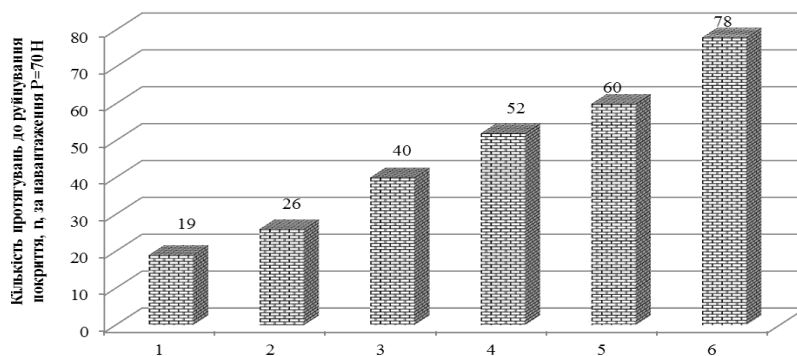


Рис. 4. Гістограма кількості протягувань до руйнування фторопластових покриттів на основі Ф-30П, (N) за навантаження на індентор $P = 68,6 \text{ Н}$:

1, 2 – Ф-30 П + 15 мас. % графіту С-1, 3, 4 – Ф-30 П + 25 мас. % графіту С-1, 5, 6 – Ф-30 П + 25 мас. % графіту С-1 + 3 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу; 1, 3, 5 – оплавлення покриттів за температури $260 \text{ }^\circ\text{C}$ протягом двох годин; 2, 4, 6 – додаткова термообробка покриттів за температури $240 \text{ }^\circ\text{C}$ протягом двох годин

При виборі температури плівкоутворення (спікання) фторопластів керуються показником температури втрати міцності, який прямо пропорційний молекулярній масі полімерів. Мінімальне значення температури міцності у промислових фторопластів складає $245 \text{ }^\circ\text{C}$, максимальне – $300 \text{ }^\circ\text{C}$. Оплавлення порошків виконують за температури, що близька до температури втрати міцності, або на $5\text{--}10 \text{ }^\circ\text{C}$ вищої.

Таким чином, підвищення адгезії і одночасно зниження внутрішніх напружень фторопластів досягається ґрунтуванням поверхні. При оплавленні порошку фторполімеру Ф-30П більше 2 годин його фізико-механічні властивості дещо знижуються, що пов'язане з деструкцією макромолекул і накопиченням продуктів деструкції на межі полімер – підложка. Але за більш тривалого прогріву (5 год) спостерігається вторинне зростання міцності і відносного видовження при розриві, що пов'язане з термоструктуруванням полімеру.

Встановлено, що деформаційні і міцнісні властивості нестабілізованого фторопласта Ф-30П досить високі, що в поєднанні з високою адгезійною міцністю дозволяє рекомендувати цей полімер в якості ґрuntu. Доцільно також ґрунтувальні шари оплавлювати за більш жорстких температурно-часових режимів (температура оплавлення $260 \text{ }^\circ\text{C}$, тривалість 2 години) для забезпечення більш високої адгезійної міцності (рис. 3, крива 1). На $10\text{--}15 \%$ збільшити адгезійну міцність фторопластового покриття на основі Ф-30 П можна за рахунок додаткового його нагріву при температурі $240 \text{ }^\circ\text{C}$ протягом двох годин (рис. 3, крива 2).

Після оплавлення виконують охолодження покриттів з порошків фторполімерів. Ця стадія технологічного процесу є важливою для забезпечення оптимальних захисних властивостей покриттів з полімерів, що кристалізуються, до яких відносять фторполімери. Для більшості покриттів з фторполімерів застосовується природне охолодження. Для отримання фторполімерних покриттів з високою еластичністю, стійкістю до ударів і з метою зменшення внутрішніх напружень їх піддають загартуванню: різкому охолодженню у холодній воді.

Прилад для визначення адгезії і стійкості покриттів до пошкодження шкрябанням NOVOTEST ЦІ -М має обмеження за навантаженням на індентор – $9,95 \text{ кг}$ ($97,5 \text{ Н}$) (рис. 3). Цього навантаження недостатньо для руйнування покриття за один прохід індентора при підвищеному вмісті графіту. Тому для фторопластових покриттів з вмістом графіту С-1 більше 15 мас. % проведені дослідження стійкості покриттів до пошкодження шкрябанням при навантаженні 7 кг ($68,6 \text{ Н}$) (рис. 4) залежно від кількості протягувань.

Аналіз отриманих результатів показав, що стійкість фторопластових покриттів на основі Ф-30 П до пошкодження шкрябанням зі збільшенням вмісту графіту С-1 від 15 до 25 мас. % зростає у 2,11 разів, а при введенні до покриття, що містить 25 мас. % графіту С-1 додатково 3 мас. % аміноорганокремнезему на основі аеросилу – у 3,16 разів. Додаткова термообробка цих покриттів приводить до збільшення стійкості до пошкодження шкрябанням на 30 % (рис. 4, позиції 2, 4, 6).

Оскільки наповнення фторопластових композитів більше 30 мас. % приводить до зменшення їх фізико-механічних характеристик [10] то для формування ґрунтувального шару вибрано такий склад: фторполімер Ф-30 П – 72 мас. %, графіт С-1 – 25 мас. %, аміноорганокремнезем на основі аеросилу – 3 мас. %.

Висновки

1. Встановлено, що для підвищення адгезії фторопластового покриття до металевої поверхні необхідно створювати ґрунтувальний шар до складу якого входять промотори адгезії: графіт С-1 – 25 мас. %, високодисперсний аміноорганокремнезем на основі аеросилу – 3 мас. %. Відпрацьована технологія (температурно-часові режими) нанесення ґрунтувального шару.

2. Розроблена технологія нанесення ґрунтовального шару фторопластового покриття електроосадженням на металеву поверхню: напруженість електростатичного поля повинна складати $E=50\text{кВ}$.

Література

1. Sina Ebnesajjad. Fluoroplastics Volume 1: Non-Melt Processible Fluoropolymers / Sina Ebnesajjad. – The Definitive User's Guide and Data Book. – Second Edition. – 2015. – 698 p.
2. Sina Ebnesajjad. Fluoroplastics Volume 2: Melt Processible Fluoropolymers / Sina Ebnesajjad. – The Definitive User's Guide and Data Book. – Second Edition. – 2016. – 745 p/
3. Фторопластовые защитные покрытия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://plastpolymer.org/pokr.htm>
4. Пат. № 2439100С2 Российская федерация МПК С09D 27/12 (2006.01), В0505/083. Антипригарное поверхностное покрытие / Вич Майкл. Дж. (US), Хаякава Осаму (Jp), Адамс Джером Т. (US), патентообладатель: Российская федерация: Е. И. Дюпон де Немур Энд компани, заявлено 05.10.2010, опубл. 10.01.2012, Бюл. № 28. – 18 с.
5. Пат. № 2464107 Российская федерация МПК С09D 27/12 (2006.01), В05D5/08. Способ наесения фторполимерного порошкового покрытия в качестве ґрунтовочного слоя и верхнего покрывного слоя / ХЕННЕССИ Крейг Кинг (US) патентообладатель: Российская федерация: Е. И. Дюпон де Немур Энд компани, заявлено 05.09.2012, опубл. 10.03.2013, Бюл. № 23. – 14 с.
6. Пат. № 2490371С1 Российская федерация МПК С23С 24/08(2006.01), В32В 15/04 (2006.01), В22F 7/04 (2006.01). Способ получения фторопластового аниадгезионного покрытия на металлических поверхностях / Корнопольцев В. Н., Могнонов Д. М., Аюрова О. Ж., Бурдюковский В. Ф., Хохлоев В. Ч. Заявители и патентообладатели: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Байкальский институт природоиспользования Сибирского отделения Российской академии наук (БИП СО РАН), Общество с ограниченной ответственностью «Малое инновационное предприятие «МЕГАРЕСУРС» (ООО «МИП» «МЕГАРЕСУРС») заявка № 2012115977/02, 19.04.2012, опубл. 10.08.2013, Бюл. № 23. – 7 с.
7. Сухарева Л. А. Фторлоновые покрытия: основные свойства и способы их модификации / Л. А. Сухарева, В. В. Комаров, Е. В. Бакирова // Современные ЛКМ свойства и области применения. – Московский государственный университет прикладной биотехнологии, 2020. – № 9 – С. 64-67. – Режим доступа: <http://plastpolymer.org/polgn.htm>
8. Технологічні процеси підготовки поверхонь [Електронний ресурс]. – Своє діло. – 2014. – 26.02. – Режим доступа : <https://proizvodim.com/tehnologichni-procesi-pidgotovki-poverxon.html>
9. Защитные покрытия из порошков фторполимеров / [Мулин Ю.А., Колесниченко В. В., Ермакова Л. П. и др.]. – Л.: ЛДНТП, 1985. – 24 с.
10. Машиностроительные фторкомпозицы : структура, технология, применение: монография / С.В. Авдейчик, [и др.] ; под науч. ред. В. А. Струка. – Гродно : ГрГУ им. Янки Купалы. – 2012.– 339 с.

References

1. Sina Ebnesajjad. Fluoroplastics Volume 1: Non-Melt Processible Fluoropolymers / Sina Ebnesajjad. –The Definitive User's Guide and Data Book. – Second Edition. – 2015. – 698 p.
2. Sina Ebnesajjad. Fluoroplastics Volume 2: Melt Processible Fluoropolymers / Sina Ebnesajjad. – The Definitive User's Guide and Data Book. – Second Edition. – 2016. – 745 p.
3. Фторопластовые защитные покрытия [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu: <http://plastpolymer.org/pokr.htm>
4. Pat. № 2439100S2 Rossijskaja federacija MPK C09D 27/12 (2006.01), V0505/083. Antiprigamoe poverhnochnoe pokrytie / Vich Majkl. Dzh. (US), Hajakava Osamu (Jp), Adams Dzhherom T. (US), patentoobladatel': Rossijskaja federacija: E. I. Djupon de Nemur Jend kompani, zajavleno 05.10.2010, opubl. 10.01.2012, Bjul. № 28. – 18 p.
5. Pat. № 2464107 Rossijskaja federacija MPK C09D 27/12 (2006.01), V05D5/08. Sposob naesenija ftorpolimernogo poroshkovogo pokrytija v kachestve ґruntovochnogo sloja i verhnego pokryvnogo sloja / HENNESSI Krejg King (US) patentoobladatel': Rossijskaja federacija: E. I. Djupon de Nemur Jend kompani, zajavleno 05.09.2012, opubl. 10.03.2013, Bjul. № 23. – 14 p.
6. Pat. № 2490371S1 Rossijskaja federacija MPK C23S 24/08(2006.01), V32V 15/04 (2006.01), B22F 7/04 (2006.01). Sposob poluchenija ftoroplastovogo aniadgezionnogo pokrytija na metallicheskih poverhnostjah / Kornopol'cev V. N., Mognonov D. M., Ajurova O. Zh., Burdjukovskij V. F., Hohloev V. Ch. Zajaviteli i patentoobladateli: Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe uchrezhdenie nauki Bajka'l'skij institut prirodospol'zovanija Sibirskogo otdelenija Rossijskoj akademii nauk (BIP SO RAN), Obshestvo s ogranichennoj otvetsvennostju «Maloe innovacionnoe predpriatie «MEGARESURS» (ООО «МИП» «МЕГАРЕСУРС») заявка № 2012115977/02, 19.04.2012, opubl. 10.08.2013, Bjul. № 23. – 7 p.
7. Suhareva L. A. Ftorlonovye pokrytija: osnovnyesvojstva i sposoby ih modifikacii / L. A. Suhareva, V. V. Komarov, E. V. Bakirova // Sovremennye LKM svojstva i oblasti primenenija. – Moskovskij gosudarstvennyj universitet prikladnoj biotekhnologii, 2020. – № 9 – P. 64-67. – Rezhim dostupa: <http://plastpolymer.org/polgn.htm>
8. Tekhnologichni protsesy pidhotovky poverkhon' [Elektronnij resurs]. – Svoje dilo. – 2014. – 26.02. – Rezhym dostupu : <https://proizvodim.com/tehnologichni-procesi-pidgotovki-poverxon.html>
9. Zashhitnye pokrytija iz poroshkov ftorpolimerov / [Mulin Ju.A., Kolesnichenko V. V., Ermakova L. P. i dr.]. – L.: LDNTP, 1985. – 24 p.
10. Mashinostroitel'nye ftorkompozity : struktura, tehnologija, primenenie: monografija / S.V. Avdejchik, [i dr.] ; pod nauch. red. V. A. Struka. – Grodno : GrGU im. Janki Kupaly. – 2012.– 339 p.

Рецензія/Peer review : 14.09.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.10.2021 р.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРИВОДУ ВІБРАЦІЙНОЇ МАШИНИ ДЛЯ МИЙКИ І ОЧИСТКИ ЗАНУРЕНИМ ПУЛЬСУЮЧИМ СТРУМЕНЕМ РІДИНИ З ТВЕРДИМИ ЧАСТИНКАМИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЇЇ ПРОДУКТИВНОСТІ

Розроблено експериментальні стенди вібраційних машин для очистки і мийки. Для вимірювання тиску зануреного пульсуючого струменя застосовано оригінальний мембранний датчик та електронний осцилограф. Встановлено, що раціональний діапазон частот коливання вібраційного приводу машини лежить у межах від 14 Гц до 18 Гц та рекомендовано використовувати амплітуду коливання вібраційного приводу 2 мм при співвідношенні діаметра насадка до діаметра камери 1:10. Проведені дослідження мийки модельних забруднень підтвердили основні теоретичні припущення про механічний природі взаємодії миючої рідини із забрудненням та показали ефективність способу мийки із кавітаційними пухирцями, які отримуються при роботі вібраційної машини для мийки та ефективність способу очистки пульсуючим струменем рідини з твердими частинками або металевими кульками.

Ключові слова: вібраційна машина, очистка, мийка забруднень, максимальний тиск струменя, конструктивні параметри, режими роботи вібраційного приводу.

STARII A.R.

Khmelnitskyi National University

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF PARAMETERS OF THE DRIVE OF THE VIBRATION MACHINE FOR WASHING AND CLEANING BY IMMEDIATE PULSATING FLUID OF LIQUID FLUID

Experimental stands of vibrating machines for cleaning and washing have been developed. An original membrane sensor and an electronic oscilloscope were used to measure the pulsating pressure of the jet. For the washing process, a method was used to create a gas-liquid pulsating jet of liquid in the pulsation chamber of the vibrating machine by oscillating the elastic membrane with disks. To increase the pressure of the jet during the cleaning process in the vibrating machine, it was proposed to connect the pulsation chamber and the cleaning tank with a non-return valve of the membrane type. To confirm the nature of the physical process of the mechanism of mechanical interaction of the liquid jet with contamination during washing, comparative studies of different washing methods were conducted; ultrasonic, jet and jet-pulsating gas-liquid washing. As a result of experimental studies it was found that the use of a diaphragm check valve in the drive of a vibrating cleaning machine allows to increase the maximum pressure of the immersed pulsating fluid jet by 0.045 MPa at oscillation frequencies from 14 to 18 Hz, which allows to increase productivity. It is established that the rational range of oscillation frequencies of the vibrating drive of the machine is in the range from 14 Hz to 16 Hz and it is recommended to use the oscillation amplitude of the vibrating drive 2 mm at a ratio of nozzle diameter to chamber diameter 1:10. Studies of model contamination washing confirmed the main theoretical assumptions on the mechanical nature of the interaction of detergent with contamination and showed the effectiveness of the method of washing with cavitation bubbles obtained by vibrating washing machine and the effectiveness of pulsating jet cleaning of solid particles or metals.

Keywords: cleaning, dirt washing, vibrating machine, maximum jet pressure, design parameters, 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). Частина 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.

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 у 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. Фізико-хімічний фактор забезпечується застосуванням нагрітих миючих розчинів, що пов'язано зі значними матеріальними витратами на придбання і нагрів цих розчинів при несприятливому впливі їх на навколишнє природне середовище. Тому, розробка технології для поліпшення якості ремонту і технічного обслуговування обладнання, з поверхні деталей та вузлів необхідно видаляти не тільки слабо і середньо

зв'язані забруднення, але і міцно зв'язані, які займають близько 10 % загальної площі поверхні об'єктів і мають найбільшу трудомісткість видалення. Підвищення ефективності очисних та миючих установок досягається за рахунок підвищення механічної дії 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. Робота обладнання пов'язана зі значними енергетичними затратами через велику потужність приводу, яка необхідна для подачі миючої рідини. З метою очистки та мийки конкретного забруднення необхідно розробляти технології, які здійснюють зрив забруднюючого матеріалу під дією додаткових напружень, створених на поверхні, що очищається, потоком миючої рідини за допомогою частинок поліестіролової крихти (ПС) або металевих кульок. Для мийки та очистки забруднень перспективним є застосування вібраційних приводів в машинах та явище кавітації, яке має значну руйнівну енергію, а газові пухирці, які не сплеснулися, збільшують силу тертя газорідного потоку на поверхні забруднення [3]. Відомі способи та конструкції машин та пристроїв з вібраційним приводом для очистки та мийки деталей та вузлів різних забруднень, які виникають при виробництві або ремонті обладнання та техніки [5–8]. Але створення вібраційного обладнання з пульсуючим робочим тілом на основі гідропульсатора [5–8], у якому робоче тіло виступає як інструмент, стримується недостатністю експериментальних досліджень в цій області.

Актуальність дослідження

Потреба у створенні недорогих машин для очищення та миття деталей машин при ремонті у дрібносерійному та одиничному виробництві є актуальним науково-технічним завданням. Метою роботи є дослідження впливу конструктивних параметрів вібраційної машини для очищення і мийки на продуктивність процесу та визначення раціональних режимів роботи вібраційного приводу із застосуванням занурених пульсуючих струменів рідини з кавітаційними пухирцями або твердими частинками.

Виклад основного матеріалу

Режими очистки та мийки поверхні деталі потоком миючої рідини (оптимальну технологію) визначають, виходячи з аналізу гідродинамічної взаємодії миючої рідини з частинками з існуючим забрудненням 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. Розділимо мийку та очистку на окремі процеси з погляду на особливості механічної дії на забруднення поверхонь. В процесі мийки в основному проходить зрив частинок забруднення потоком миючої рідини завдяки силам тертя та збільшеній величині 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 [2, 9, 10], найбільша продуктивність процесу мийки характеризується максимальним значенням тиску 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 масових характеристик твердих частинок, що ежектуються соплом.

Запропонована конструкція вібраційної машини [8] містить ванну для очищення забруднень зануреним пульсуючим потоком твердих частинок та ванну для мийки пульсуючим струменем кавітаційних пухирців. Створення пульсуючого струменя в обох ваннах отримується за допомогою камери пульсації з насадком при роботі вібраційного приводу машини. Основними завданнями експериментальних досліджень було: визначення залежності максимального тиску пульсуючого струменя рідини з насадка від режимів роботи приводу, а саме частоти та амплітуди коливаний, взаємозв'язку конструктивних параметрів вібраційної машини та співвідношенню діаметра насадка до діаметра камери пульсації.

На рис. 1 показано фотографію експериментального стенду вібраційної машини для мийки та очистки забруднень потоком твердих часток з встановленим мембранним датчиком тиску над отвором насадка.

Для вимірювання миттєвого значення гідродинамічного тиску зануреного пульсуючого струменя рідини з отвору насадка застосовано тензометричний датчик тиску MPM489 і USB осцилограф BM8020, який з'єднаний з персональним комп'ютером через порт USB і обслуговується програмним продуктом «DiSco». Схема підключення датчика приведена на рис. 2.

Для процесу мийки було застосовано спосіб створення газорідного зануреного пульсуючого струменя рідини у камері пульсації вібраційної машини шляхом коливання пружної мембрани з дисками [11, 12]. У камері пульсації 2, при втягуванні рідини, виникає падіння тиску нижче атмосферного і на вході насадка виникає кавітаційна каверна, з якої кавітаційні пухирці попадають у камеру пульсації 2 (рис. 3). Після фази стиснення рідини у камері пульсації 2 пухирці сплескуються, а деякі зменшуються у розмірах та викидаються у струмені рідини і взаємодіють із забрудненою поверхнею, працюючи, як тверді частинки, що зривають шар забруднення. Але поява газової фази 3 у камері пульсації 2 зменшує об'єм рідини, який потім виштовхується з насадка та зменшує величину максимального тиску пульсуючого струменя.

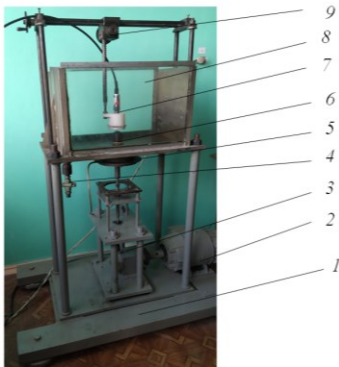


Рис. 1. Експериментальний стенд вібраційної машини:
 1 – основа; 2 – електродвигун постійного струму;
 3 – вібропривід; 4 – зливний кран; 5 – камера пульсації;
 6 – насадок; 7 – датчик тиску; 8 – ємність;
 9 – механізм переміщення датчика

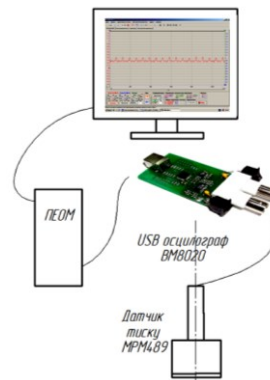


Рис. 2. Схема підключення датчика тиску до персонального комп'ютера для вимірювання миттєвого тиску зануреного пульсуючого струменя рідини

Для збільшення величини тиску зануреного пульсуючого струменя в процесі очищення забруднень у вібраційній машині [8] було запропоновано з'єднати камеру пульсації 5 (рис. 1) та ємність для очищення 8 зворотним клапаном мембранного типу рис. 4. Його застосування зменшує виникнення значного об'єму газової фази при втягуванні рідини у камеру пульсації 5 (рис. 1) і призводить до викидання струменя з насадка 6 збільшеного об'єму рідини та тиску пульсуючого струменя.

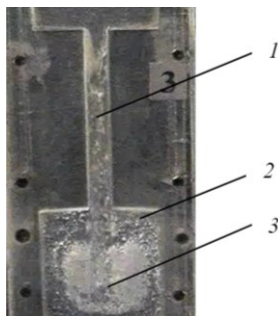


Рис. 3. Фотографія візуалізації фізичного явища втягування рідини крізь насадок у камеру пульсації вібраційної машини:
 1 – канал насадка; 2 – камера пульсації; 3 – кавітаційні пухирці

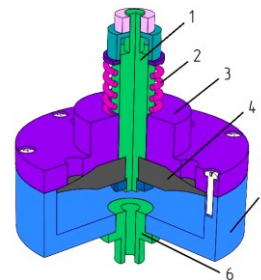


Рис. 4. Схема зворотного клапана мембранного типу:
 1 – шток; 2 – пружина; 3 – кришка;
 4 – гумовий пелюстковий клапан; 5 – корпус; 6 – штуцер

Результати експериментальних досліджень залежності максимального тиску зануреного пульсуючого струменя, який утворюється за допомогою камери пульсації та вібраційного приводу, від частоти коливань та конструктивних параметрів приводу приведені на рис. 5 та рис. 6.

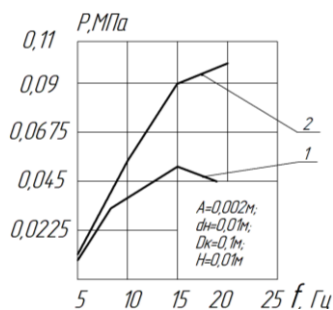


Рис. 5. Графіки експериментальних досліджень зміни тиску пульсуючого струменя від частоти:
 1 – без зворотного клапана; 2 – із застосуванням камери пульсації зворотного клапана

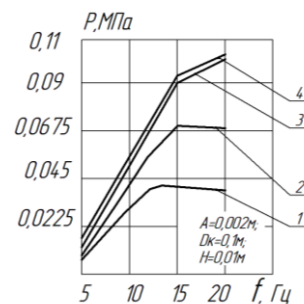


Рис. 6. Графіки експериментальних досліджень зміни тиску пульсуючого струменя від частоти із застосуванням зворотного клапана:
 1 – діаметр насадка 6 мм;
 2 – діаметр насадка 8 мм; 3 – діаметр насадка 10 мм;
 4 – діаметр насадка 12 мм

У результаті проведених досліджень (рис.5) встановлено, що застосування зворотного клапана мембранного типу дозволяє збільшити величину максимального тиску зануреного пульсуючого струменя на частотах від 10 до 18 Гц та уникнути значного росту газової фази при втягуванні рідини у камеру пульсації, що призводить до збільшення продуктивності вібраційної машини на операції очистки. Встановлено (рис. 6), що при збільшенні діаметра насадка при незмінному розмірі камери пульсації тиск пульсуючого струменя зростає, але збільшення діаметру насадка до 12 мм не дає значного росту значень миттєвого тиску пульсуючого струменя.

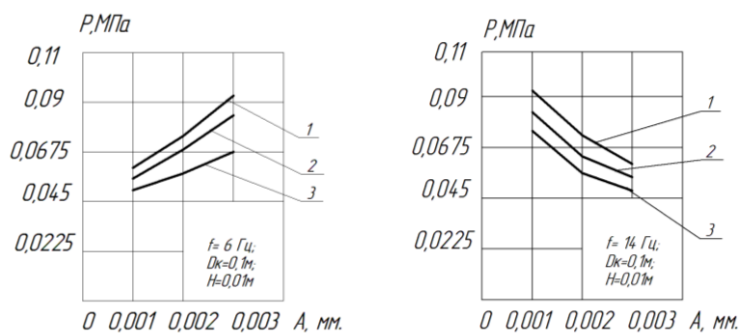


Рис. 7. Графіки експериментальних досліджень зміни тиску пульсуючого струменя від амплітуди коливань на різних частотах при зміні діаметра насадки: 1 – діаметр насадки 10 мм; 2 – діаметр насадки 8 мм; 3 – діаметр насадки 6 мм

зростання величини максимального тиску а при частотах більше 14 Гц веде до зменшення величини максимального тиску рис. 7.

Проведено експериментальні дослідження пливу на максимальний тиск зануреного пульсуючого струменя відстані від зрізу сопла до поверхні датчика при постійній частоті та різних діаметрів насадків. Встановлено, що при збільшенні відстані від сопла до датчика величина тиску пульсуючого струменя зменшується (рис. 8) та зменшується із зміною діаметру насадка.

Для підтвердження природи фізичного процесу мийки та механізму механічної взаємодії струменя рідини з кавітаційними пухирцями із забрудненням були проведені порівняльні дослідження різних методів мийки. Досліджувались ультразвуковий, струминний та струмено-пульсуючий газорідинний способи промивання. Для усунення впливу хімічних факторів на процес миття в якості робочого тіла використовувалась водопровідна вода при $T = 20$ °С. Для досліджень процесу мийки вільним струменем рідини та для мийки зануреним пульсуючим струменем рідини для однорідності умов експерименту використовувався насадок діаметром 10 мм. Для проведення досліджень мийки модельних забруднень застосовано стенд (див. рис. 1) де замість датчика кріпився тримач для зразків. Зворотний клапан був виключений з метою отримання кавітаційних пухирців, які не сплеснулись, у пульсуючому зануреному струмені рідини. Дослідження проводились при наступних параметрах: частота коливань вібраційного приводу 14 Гц, амплітуда коливань 2 мм, діаметр насадка 10 мм при діаметрі камери 100 мм, відстань до зрізу насадка 30 мм.

На рис. 9 показано фотографії поверхні зразків із залишками в'язких забруднень (алмазна паста), які промивалися різними способами. На рис. 9, а показано фотографію поверхні зразка після мийки в ультразвуковій ванні. На поверхні остаточного забруднення видно «кратери», які утворилися при зростанні та сплескуванні кавітаційних пухирців. На рис. 9, б показано фотографію поверхні зразка, який промивався вільним струменем рідини. На зразку добре розрізняється зона дії нормальних напружень рідини (у центрі) та зона дії дотичних напружень тертя рідини (по краях дії потоку). На рис. 9, в та рис. 9, г показано фотографії поверхонь зразків, які промивалися пульсуючим зануреним струменем рідини із газовими пухирцями на початку та в кінці оброблення. Поверхня модельного забруднення має вигляд «кратероподібних» лунок із зміщенням від центру зразка. Це говорить про вдавлення та зрушення модельного забруднення кавітаційними пухирцями, що не сплеснулися. Пухирці, розмірами від 0,1 до 0,2 мм, завдяки поверхневому натягу мають у середині значний тиск і працюють із модельним забрудненням як «тверді» частинки, а при розтіканні струменя по поверхні забруднення відповідно збільшують дотичні сили тертя на її поверхні. Проведені дослідження мийки модельних забруднень підтвердили основні теоретичні припущення [4, 12] по механічній природі взаємодії миючої рідини із забрудненням та показали ефективність способу мийки із кавітаційними пухирцями, які отримуються при роботі вібраційної машини для процесу мийки.

Для проведення досліджень процесу очистки забруднень було розроблено експериментальний стенд вібраційної машини для очистки забруднень потоком твердих частинок (рис. 10), який містить основу 1, на якій встановлено вібропривід 2 та електродвигун постійного струму 3. На стійках розміщено ванну 7. На дні ванни 7 через різьбовий отвір закріплено корпус камери пульсації та нагвинчено насадок 4, а між корпусом камери пульсації і диском встановлено пружну мембрану з дисками, яка закріплена до штока віброприводу 2.

Порожнина камери пульсації і ванна може з'єднуватись зворотним мембранним клапаном, який встановлюється у ванну 7. У порожнину ванни 7 встановлено контейнер 6 з боковими сітками та сіткою, яка розташована над насадком 4, у коробі розміщено сопло 2 (рис. 11). У контейнер 6 є можливість засипати тверді частки полістиролової крихти (ПС) або металеві кульки. У ванну 7 заливається рідина, яку після спрацювання можна злити крізь кран. На стійках встановлено гвинтовий механізм руху 8, який дозволяє переміщення у горизонтальному або вертикальному напрямках датчика або зразка, який оброблюється.

Для камери пульсації діаметром 100 мм найбільш ефективним по створенню максимального тиску зануреного пульсуючого струменя є насадок діаметром 10 мм. Рациональним діапазоном частот коливання вібраційного приводу машини з досліджень (рис. 6) встановлено, що він знаходиться від 14 до 18 Гц.

Експериментально визначено залежність зміни величини тиску зануреного пульсуючого струменя від зміни амплітуди при постійній частоті. Встановлено, що збільшення амплітуди коливань приводу на малих частотах дає

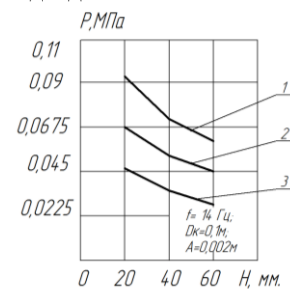


Рис. 8. Графіки експериментальних досліджень зміни тиску пульсуючого струменя в залежності відстані від сопла до датчика H при зміні діаметра насадка: 1 – діаметр насадка 10 мм; 2 – діаметр насадка 8 мм; 3 – діаметр насадка 6 мм

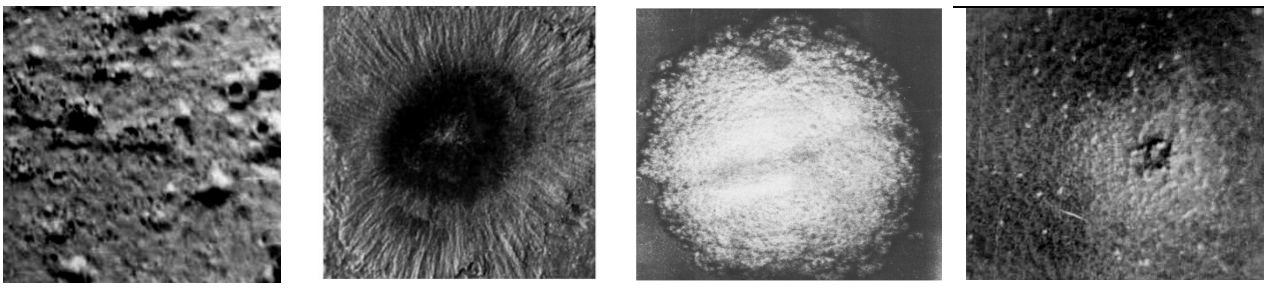


Рис. 9. Фотографії разків із модельним забрудненням (алмазна паста) при мийки різними способами:
a – при промиванні в ультразвуковій ванні; *б* – при промиванні вільним струменем рідини;
в – при промиванні зануреним пульсуючим струменем рідини із газовими пухирцями на початку оброблення;
z – при промиванні зануреним пульсуючим струменем рідини із газовими пухирцями в кінці оброблення

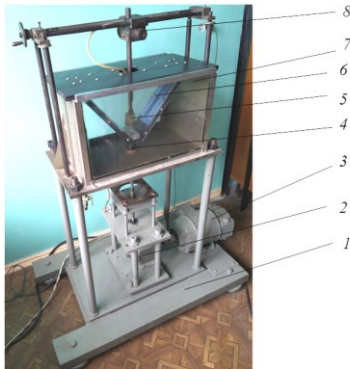


Рис. 10. Фотографія стелу вібраційної машини для очистки забруднень потоком твердих частинок деталей:
1 – основа; *2* – вібропривід; *3* – електродвигун постійного струму;
4 – насадок; *5* – пристрій для утримання зразків;
6 – контейнер; *7* – ванна;
8 – механізм переміщення зразка із забрудненням

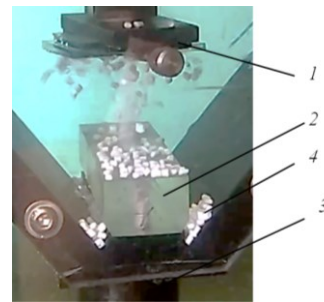


Рис. 11. Фотографія тримача зразків та фрагменту сопла з насадком вібраційної машини для очистки забруднень потоком твердих частинок ПС:
1 – тримач зразків; *2* – сопло; *3* – насадок;
4 – тверда крихта ПС

Проведено експериментальні дослідження процесу очистки модельних забруднень на стелді (рис. 10) пульсуючим струменем з твердими частинками. У якості твердих частинок застосовувались: крихта ПС та металеві кульки діаметром 0,8 мм. У якості модельного забруднення використано в'язку суміш пилу на основі пластиліну, яку наносили на поверхню сталевого зразка розміром 40×40 мм. Вигляд зразка із модельним забрудненням до очищення показано на рис. 12. Для приводу вібраційної машин були вибрані раціональні режими оброблення: частота коливань вібраційного приводу 18 Гц, амплітуда коливань 2 мм, діаметр насадка 10 мм при діаметрі камери 100 мм, відстань до зрізу насадка 30 мм та застосовано зворотний клапан, який з'єднує камеру пульсації та ванну для очистки. Кут атаки струменя 90°. На рис. 13 показано фотографію зразка з модельним забрудненням після оброблення зануреним пульсуючим струменем рідини з твердими частинками (ПС). Поверхня має шаржований вигляд та спостерігаються результати врізання та зрушення частки забруднення. Процес очищення за часом можна прискорити збільшенням маси твердої частинки застосувавши металеві кульки.

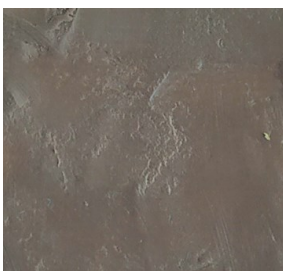


Рис. 12. Фотографія поверхні зразка з модельним забрудненням перед обробленням



Рис. 13. Фотографія поверхні зразка з модельним забрудненням після оброблення пульсуючим струменем рідини з твердими частинками (ПС), кут 90°



Рис. 14. Фотографія поверхні зразка з модельним забрудненням після оброблення пульсуючим струменем рідини металевими кульками, кут 90°



Рис. 15. Фотографія поверхні зразка з модельним забрудненням після оброблення пульсуючим струменем рідини металевими кульками, кут 125°

На рис. 14 показано фотографію зразка з модельним забрудненням після оброблення пульсуючим зануреним струменем рідини з металевими кульками 0,8 мм. На поверхні зразка спостерігаються результати процесу вдавлювання кульки у в'язку забруднення та наступне зрушення частки забруднення при

дотичному руху кульки у потоці рідини по поверхні забруднення. Проведено дослідження продуктивності очищення модельного забруднення зануреним пульсуючим струменем з металевими кульками за часом із зміною кута атаки струменя. Інтенсивність продуктивності очищення визначалось за середнім відносним зменшенням ваги зразка. Зменшення ваги зразків визначали за різницею ваги до та після обробки протягом контрольованого часу за формулою:

$$\Delta m = m_1 - m_2, \quad (1)$$

де m_1 – вага зразка до очищення; m_2 – вага зразка після очищення.

Продуктивність очищення визначали залежністю:

$$G = \Delta m(F, t), \quad (2)$$

де Δm – зміна ваги зразка; (F, t) – функція зміни ваги за часом.

Масове зношування металевих кульок та зміна шорсткості основи зразка практично не спостерігалася завдяки виникненню на поверхні незначних напружень пружного характеру. На рис. 16 показано залежність продуктивності знімання з поверхні зразка модельного забруднення за часом оброблення та зі зміною кута атаки пульсуючого струменя рідини з твердими частинками (металевими кульками) до поверхні, що очищається.

У результаті проведеного дослідження продуктивності очищення модельного забруднення встановлено, що збільшення кута атаки пульсуючого зануреного струменя з металевими кульками з 90° до 125° призводить до зростання продуктивності очистки (починають значно впливати дотичні напруження між кулькою та забрудненням, що призводять до його більш активного зривання). Подальше збільшення кута веде до незначного зростання продуктивності обробки (починається зменшення впливу нормальних напружень між кулькою та забрудненням).

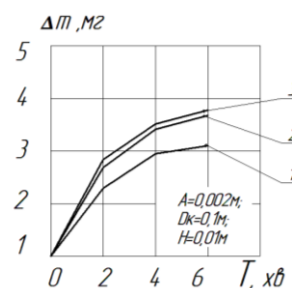


Рис. 16. Графіки продуктивності знімання з поверхні зразка модельного забруднення за часом при різних кутах затопленого струменя з твердими частинками від вертикальної осі струменя до поверхні: 1 – кут 90° ; 2 – кут 125° ; 3 – кут 135°

Висновки

1.1 У результаті проведених експериментальних досліджень встановлено, що застосування зворотного клапану мембранного типу в приводі вібраційної машини для очистки дозволяє збільшити величину максимального тиску зануреного пульсуючого струменя рідини на $0,045$ МПа при частотах коливання привода від 14 до 18 Гц, що дає можливість збільшити продуктивності процесу очищення забруднень.

1.2 Встановлено, що раціональний діапазон частот коливання вібраційного привода машини для мийки та очистки лежить у межах від 14 до 18 Гц та рекомендована амплітуда коливання вібраційного привода 2 мм при співвідношенні діаметра насадка до діаметра камери $1:10$.

1.3 Проведені дослідження мийки модельних забруднень підтвердили основні теоретичні припущення по механічній природі взаємодії мючою рідини із забрудненням та показали ефективність способу мийки із кавітаційними пухирцями, які отримуються при роботі вібраційної машини та ефективність способу очистки пульсуючим струменем рідини з твердими частинками або металевими кульками із застосуванням зворотного клапана у камері пульсації вібраційної машини.

1.4 Проведені експериментальні дослідження зміни величини максимального тиску зануреного пульсуючого струменя від відстані зрізу сопла до поверхні датчика при постійній частоті та при різних діаметрах насадків показали, що при збільшенні відстані від зрізу сопла до датчика величина тиску пульсуючого струменя зменшується та зменшується із зміною діаметру насадка у меншу сторону. Рекомендовано проводити процес очистки на відстані від сопла в межах від 30 до 60 мм.

1.5 У результаті проведених досліджень впливу кута атаки пульсуючого струменя встановлено, що при очищенні в'язких забруднень продуктивність процесу зростає при розташуванні забрудненої поверхні під певним кутом. Рекомендований діапазон кутів атаки зануреного пульсуючого струменя рідини з твердими частинками до поверхні знаходиться в межах 125° – 130° .

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. 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.
6. А. с. 880519 СССР, МКИ³ В 08 В 3/10. Устройство для промывки изделий / Р.И. Силин, В.П. Кошель, А.И. Гордеев (СССР). – № 2869224/28–12; заявл. 17.12.79; опубл. 15.11.81, Бюл. № 42.
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. – u 2016 10059; Заяв. 03.10.2016; Опубл. 10.05.2017, Бюл. № 9.
8. 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.
9. Андилахай А. А. Абразивная обработка деталей затопленными струями / А.А. Андилахай. – Мариуполь : ПГТУ, 2006. – 190 с.
10. Андилахай А. А. Условия повышения производительности абразивной обработки / А.А. Андилахай. – Вісник НТУ "ХПІ". – 2012. – № 53(959). – С. 42–47.
11. Старий А. Р. Технологія очистки та мийки забруднень деталей машин при ремонті потоком рідини з твердими частками та вібраційна машина для її реалізації / А.Р. Старий А.І. Гордєєв // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2019. – № 4. – С. 7–14.
12. 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.

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. А. с. 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. А. с. 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 Khmelnytskyi National University. u 2016 10059; Application 03.10.2016; Published 05.10.2017, Bul. № 9.
8. 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. Staryi, A.I. Hordeev, O.A. Hordeev. U201810344; Declared 19.10.2018. Published 03.11.2019. Bull №5.
9. Andilakhai A. A. Abrasive treatment of parts with flooded jets. Mariupol: PGTU, 2006. 190 p.
10. Andilakhai A. A. Conditions for increasing the productivity of abrasive processing. Bulletin of NTU "KhPI", № 53. 2012. pp. 42–47.
11. Staryi A. R., Hordeev A. I. Technology of cleaning and washing of contaminants of machine parts during repair by the flow of liquid with solid particles and a vibrating machine for its implementation. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. Issue 4. 2019. P. 7–14.
12. Hordeev A. I., Staryi A. R. Analysis of the process of interaction of gas-liquid medium with the surface of parts during washing before coating. Problems of durability of materials, coatings and structures. Abstracts of the VI International Scientific and Technical Conference. 13–15 September. 2018 Vinnytsia: VNTU, 2018. pp. 14-15.

Рецензія/Peer review : 26.09.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.10.2021 р.

ЗАЛЮБОВСЬКИЙ М. Г.

ЗВО «ВІДКРИТИЙ МІЖНАРОДНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РОЗВИТКУ ЛЮДИНИ «УКРАЇНА»

ORCID ID: 0000-0001-6258-0088

e-mail: markzalubovskiy@gmail.com

ПАНАСЮК І. В.

Київський національний університет технологій та дизайну

ORCID ID: 0000-0001-6671-4266

e-mail: panasjuk1961@gmail.com

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ГАЛТУВАЛЬНОЇ МАШИНИ ЗІ СКЛАДНИМ РУХОМ РОБОЧОЇ ЄМКОСТІ, ЩО СПОЖИВАЄТЬСЯ НА ЇЇ ВЕДУЧОМУ ВАЛУ

Робота присвячена експериментальному визначенню енергетичних параметрів машини зі складним рухом робочої ємкості. Розроблено експериментальну установку галтувальної машини, у якій робоча ємкість виконує складний просторовий рух, де є можливість варіювати в необхідному діапазоні двома факторами впливу. Були проведені експериментальні дослідження моменту опору та потужності, що споживається на ведучому валу такої машини при її роботі із завантаженим робочим масивом до ємкості із застосуванням аналого-цифрового двоканального USB-осцилографа VM-8020. На основі повного факторного експерименту отримано рівняння регресії в натуральних величинах. Рівняння регресії описує залежність максимальної потужності, що споживається машиною на ведучому валу, від маси сипкого середовища та кутової швидкості ведучого валу. Встановлено, що потужність машини, яка споживається на її ведучому валу, збільшується зі збільшенням маси сипкого середовища, яке завантажується до робочої ємкості, а також зі збільшенням кутової швидкості ведучого валу машини. Експериментальним шляхом виконано перевірку попередньо отриманих аналітичних залежностей та підтверджено їх адекватність.

Ключові слова: галтувальна машина, потужність, ведучий вал, галтування, робоча ємкість.

ZALYUBOVSKIY MARK G.

Open International University of Human Development "Ukraine"

PANASYUK IGOR V.

Kyiv National University of Technology and Design

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE POWER OF A REPLACING MACHINE WITH COMPLEX MOVEMENT OF THE WORKING CAPACITY CONSUMED ON ITS LEADING SHAFT

The work is devoted to the experimental determination of the energy parameters of a machine with a complex movement of the working capacity. An experimental installation of a galvanizing machine has been developed, in which the working capacity performs a complex spatial movement, where it is possible to vary in the required range by two factors of influence. Experimental studies of the moment of resistance and power consumed on the drive shaft of such a machine during its operation with a loaded working array to the tank using a digital two-channel USB-oscilloscope VM-8020. On the basis of a complete factorial experiment, the regression equation in natural quantities is obtained. The regression equation describes the dependence of the maximum power consumed by the machine on the drive shaft on the mass of the bulk medium and the angular velocity of the drive shaft. It is established that the power of the machine consumed on its drive shaft increases with increasing mass of bulk medium, which is loaded into the working tank, as well as with increasing angular velocity of the driving shaft of the machine. The previously obtained analytical dependences were checked experimentally and their adequacy was confirmed.

Key words: shredding machine, power, drive shaft, shredding, working capacity.

Постановка задачі

Значна кількість деталей різних галузей промисловості потребує виконання фінішних оздоблювально-зачисних операцій [1], зокрема, для надання деталі належного вигляду. Це може бути шліфування та полірування поверхонь виробів [2], очищення металевих деталей від продуктів корозії, відділення металевих [3] чи полімерних деталей [4] від ливників тощо. Зазвичай, такі операції виконуються із застосуванням галтувального обладнання з рухомими ємкостями. Окрім того, на виконання таких операцій витрачається до 80 % технологічного часу [5].

Для таких типів галтувального обладнання актуальними є дослідження енергетичних параметрів, зокрема потужності, яка споживається на ведучому валу такої машини при виконанні відповідних технологічних операцій та моменту опору ведучого валу. Дослідження енергетичних параметрів дасть можливість раціоналізувати процес обробки деталей з точки зору зменшення енерговитрат.

Таким чином, проведення експериментальних досліджень потужності, що споживається на ведучому валу машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості, є актуальною задачею для подальшого розвитку даної галузі промисловості України в цілому.

Аналіз досліджень та публікацій

Відома значна кількість робіт [6, 7] щодо дослідження потужності, що споживається при роботі обертових барабанів, а також вібраційних машин. У роботі [8] виконані дослідження статичного моменту опору ведучого валу галтувальної машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості. У роботі [9]

проводилися дослідження статичного моменту опору ведучого валу, який створювався масою сипкого середовища, завантаженого до ємкості. У статті [10] наведені результати досліджень динамічного моменту опору на ведучому валу, утвореного переміщенням сипкого масиву у ємкості.

Виділення невирішених частин

У зазначених літературних джерелах відсутня інформація про узагальнення методів визначення енергетичних параметрів галтувальних машин зі складним рухом робочої ємкості. У той само час, методика визначення потужності, що споживається при роботі обертових барабанів, а також вібраційних машин не може бути адаптованою для галтувальних машин зі складним просторовим рухом робочих ємкостей в силу кардинальних відмінностей конструкцій. Окрім того, усі, попередньо отримані, результати аналітичних досліджень енергетичних параметрів машин зі складним просторовим рухом робочих ємкостей потребують перевірки експериментальним шляхом.

Формулювання цілей

Суть даної роботи полягає у проведенні експериментального дослідження потужності галтувальної машини зі складним рухом робочої ємкості, що споживається на її ведучому валу

Виклад основного матеріалу

Опис експериментальної установки. Для проведення досліджень щодо визначення потужності машини, що споживається на її ведучому валу, було розроблено експериментальну установку машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості, фото якої представлено на рис. 1, а, кінематична схема установки з електричною схемою підключення електродвигуна представлена на рис. 1, б.

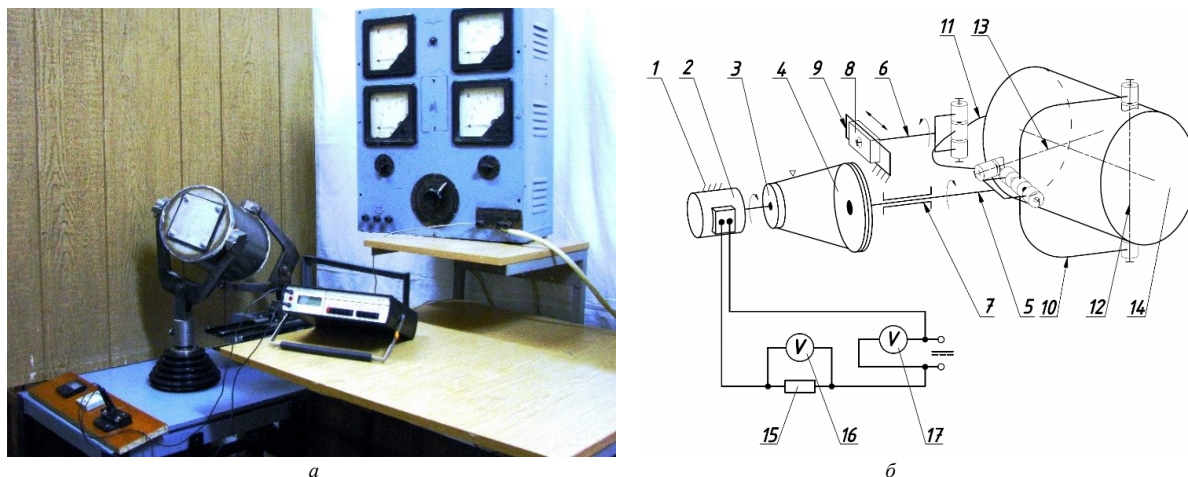


Рис. 1. Фото експериментальної установки машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості (а), кінематична схема установки (б)

Установка містить станину 1, в якій розміщений електродвигун постійного струму 2, на валу якого закріплений ведучий шків 3 клинопасової передачі, ведений шків 4 жорстко з'єднаний з ведучим валом 5. Ведучий 5 та ведений 6 вали закріплені в підшипникових опорах 7 та 8 відповідно, при цьому ведучий вал 5 встановлений в підшипниковій опорі 7 нерухомо, а ведений вал 6 встановлений в підшипниковій опорі 8 з можливістю її зворотно-поступального переміщення вздовж горизонтальної напрямної 9. Крім того, ведучий 5 та ведений 6 вали кінематично з'єднані з вилками 10 та 11 відповідно, діаметрально взаємно перпендикулярні вісі яких 12 та 13 являються осями кріплення робочої ємкості 14. В свою чергу, електродвигун 2 через шунт 15 під'єднаний до блоку живлення постійного струму з можливістю регулювання на ньому значення вихідної напруги. В електричному колі електродвигуна встановлені вольтметри 16 та 17 аналого-цифрового двоканального USB-осцилографа ВМ-8020. За допомогою вольтметра 16 можна записати зміну напруги на шунті 15, а за допомогою вольтметра 17 – зміну напруги на джерелі живлення.

Працює установка наступним чином. При увімкненні електродвигуна 2, розташованого в станині 1, постійний обертальний рух через пасову передачу, утворену ведучим 3 та веденим 4 шківками передається на ведучий вал 5 встановлений в підшипниковій опорі 7, та вилку 10, котра через вісь 12 обертає робочу ємкість 14, надаючи їй складного просторового переміщення з обертанням навколо власної осі. Такий рух робочої ємкості 14 передається через вісь 13 на вилку 11, від вилки 11, на ведений вал 6, котрий встановлений в підшипниковій опорі 8.

Використання рухомої підшипникової опорі 8 з можливістю її зворотно-поступального переміщення вздовж горизонтальної напрямної 9 дає можливість уникнути заклинювання просторового механізму машини [11], що зумовлене неточним виготовленням деталей машини. Технічна характеристика експериментальної установки представлена в таблиці 1.

Попередніми аналітичними дослідженнями [5, 8–10] було встановлено, що потужність машини, яка споживається на її ведучому валу, залежить від таких основних параметрів: кутова швидкість ведучого валу

машини, маса робочого середовища завантаженого до ємкості, сумарна маса рухомих ланок, які виконують просторовий рух.

При створенні експериментальної установки в її конструкцію була закладена можливість зміни в необхідному діапазоні перших двох параметрів, маса рухомих ланок була незмінною.

Таблиця 1

Технічна характеристика експериментальної установки

1	Маса рухомих ланок, які виконують просторовий рух, кг	$m_{ланок} = 9,6$
2	Відстань між осями ведучого та веденого валів, м	$l_{QO} = 0,38$
3	Форма робочої ємкості	Циліндрична
4	Відстань, на яку робоча ємкість виступає за вісь кріплення вилки, м	$l_B = 0,05$
5	Міжосьова відстань робочої ємкості, м	$l_{PC} = 0,21$
6	Довжина робочої ємкості, м	$l_{Ц} = 0,29$
7	Діаметр робочої ємкості, м	$d_{PC} = 0,2$
8	Об'єм робочої ємкості, м ³	$V = 0,0088$ (8,8 л)
9	Номинальна потужність електродвигуна, кВт	$P = 0,25$
10	Діапазон зміни напруги живлення, В	$U = [0 \dots 30]$
11	Передаточне відношення клинопасової передачі	$i = 6,2:1$

Застосування в приводі установки двигуна постійного струму з можливістю регулювання вихідної напруги на блоці живлення дозволило варіювати кутову швидкість ведучого валу. До робочої ємкості завантажувалося сипке робоче середовище різної маси при заповненні її на 50 % від загального об'єму згідно рекомендацій у [12]. Ведучому валу надавалося відповідна кутова швидкість, після чого, за допомогою аналого-цифрового двоканального USB-осцилографа ВМ-8020, котрий був під'єднаний до електронної обчислюваної машини записували: першим каналом – за один оберт ведучого валу зміну напруги на джерелі живлення електродвигуна, паралельно другим каналом – зміну напруги на шунті, який був послідовно під'єднаний в електричне коло електродвигуна. Попередньо шунт був відкалібрований до характеристики: 50 мВ – 1А. За вимірною напругою на клеммах шунта, можна було встановити значення сили струму, яке проходить в електричному колі:

$$I = \frac{U_{\text{виміряне}}}{50}, \quad (1)$$

де $U_{\text{виміряне}}$ – значення напруги на клеммах шунта, [мВ].

За відомою методикою [13], на основі вимірних значень сили струму та напруги джерела живлення, визначили потужність, що споживається електродвигуном, після чого, врахувавши значення ККД клинопасової передачі [14], встановлювали потужність на ведучому валу, що споживається машиною.

Постановка задачі та планування експерименту

Вибір та обґрунтування факторів, які впливають на досліджуваний процес. В ході проведення експерименту слід вирішити наступні задачі: 1. Дослідити вплив кутової швидкості ведучого валу та маси сипкого середовища завантаженого до робочої ємкості на зміну потужності машини, що споживається; 2. Отримати математичну модель, яка описує вплив обраних факторів на потужність машини, що споживається; 3. Перевірити відповідність аналітично розрахованих [8–10] та експериментально встановлених значень потужності машини, що споживається.

Поставлені задачі можуть бути вирішені шляхом проведення повного факторного експерименту [15, 16]. При плануванні експерименту у якості факторів були використані: кутова швидкість ведучого валу машини $\omega_{\text{ведуч}}$ та маса сипкого середовища m_c . За вихідний параметр обрано максимальну потужність машини, що споживається P_{max} на її ведучому валу. Діапазон варіювання кутової швидкості ведучого валу машини прийнято в межах від 3,1 рад/с до 3,8 рад/с. При таких кутових швидкостях обертання ведучого валу експериментальної установки буде утворюватися змішаний та водоспадний режими руху сипкого середовища, що рекомендовані [17] для технологічних операцій шліфування, полірування, відділення деталей від ливників. Діапазон варіювання маси сипкого середовища прийнято в межах від 4 кг до 6 кг. Частинки сипкого середовища мали гранулометричний склад аналогічний тому, що використовують при поліруванні полімерних деталей.

Таблиця 2

Дані для планування повного факторного експерименту

Рівні факторів та інтервали їх варіювання					
Найменування та позначення факторів	Кодовані позначення	Рівні варіювання			Інтервал варіювання Δ_i
		-1	0	+1	
m_c – маса сипкого середовища, кг	X_1	4	5	6	1
$\omega_{\text{ведуч}}$ – кутова швидкість ведучого валу, рад/с	X_2	3,1	3,45	3,8	0,35

Використовуючи співвідношення, які пов'язують кодовані X_i та натуральні C_i значення факторів визначимо інтервали варіювання та значення факторів на рівнях варіювання. Усі необхідні дані для планування повного факторного експерименту представлені в таблиці 2.

Порядок проведення та обробка даних експерименту. На основі таблиці 2 було створено матрицю планування та робочу матрицю (таблиця 3) згідно якої проводився сам експеримент. Отримані графіки зміни напруги на джерелі живлення та на клеммах шунта за один оберт ведучого валу, що записані за допомогою самописця двоканального USB-осцилографа ВМ-8020 для чотирьох паралельних дослідів, представлені на рис. 2 – рис. 5. Максимальні значення напруги на джерелі живлення та на клеммах шунта визначені з графіків представлених на рис. 2 – рис. 5 та записані до таблиці 3.

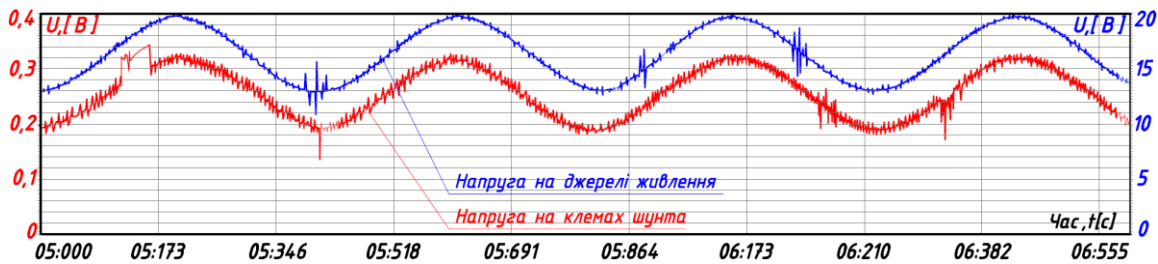


Рис. 2. Графік зміни напруги на джерелі живлення та на клеммах шунта за один повний оберт ведучого валу машини при завантаженій масі сипкого середовища в 6 кг до ємкості та кутовій швидкості ведучого валу в 3,8 рад/с

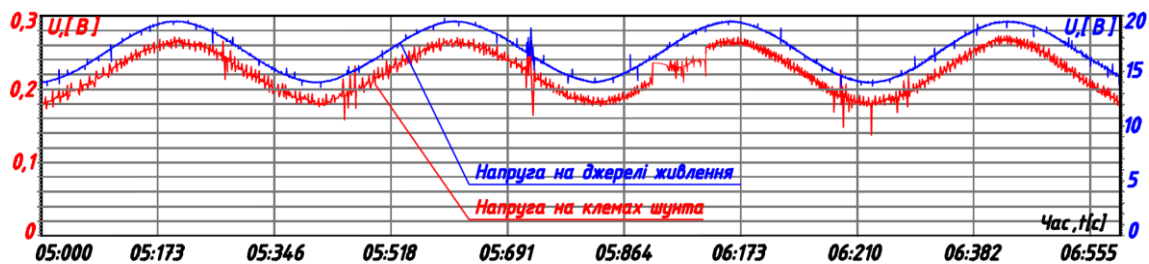


Рис. 3. Графік зміни напруги на джерелі живлення та на клеммах шунта за один повний оберт ведучого валу машини при завантаженій масі сипкого середовища в 4 кг до ємкості та кутовій швидкості ведучого валу в 3,8 рад/с

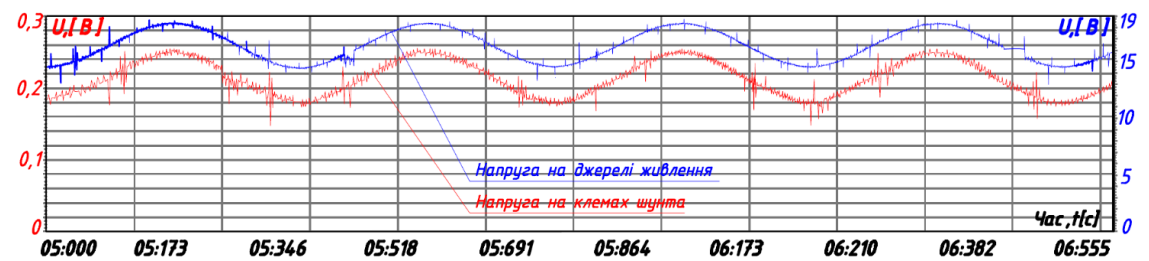


Рис. 4. Графік зміни напруги на джерелі живлення та на клеммах шунта за один повний оберт ведучого валу машини при завантаженій масі сипкого середовища в 6 кг до ємкості та кутовій швидкості ведучого валу в 3,1 рад/с

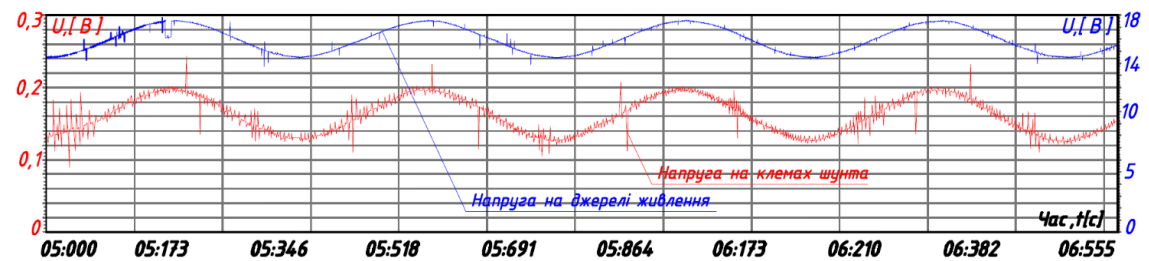


Рис. 5. Графік зміни напруги на джерелі живлення та на клеммах шунта за один повний оберт ведучого валу машини при завантаженій масі сипкого середовища в 4 кг до ємкості та кутовій швидкості ведучого валу в 3,1 рад/с

Таблиця 3

№ з/п	Матриця планування		Робоча матриця		Значення Y_{ui} в окремих спостереженнях				
					Y_{u1}	Y_{u2}	Y_{u3}	Y_{u4}	Y_{u5}
	X_1	X_2	m , кг	ω , рад/с	P_{max} , Вт	P_{max} , Вт	P_{max} , Вт	P_{max} , Вт	P_{max} , Вт
1	+	+	6	3,8	120,2	120,0	121,8	119,8	121,0
2	-	+	4	3,8	99,0	99,7	95,2	99,2	97,0
3	+	-	6	3,1	87,0	86,4	86,5	85,0	88,6
4	-	-	4	3,1	67,0	68,4	66,5	65,0	65,5

Повна потужність електродвигуна P , який працює на постійному струмі визначається як:

$$P = UI, \quad (2)$$

де U – напруга джерела живлення, [В]; I – сила струму електродвигуна, [А].

Значення потужності машини, що споживається на її ведучому валу визначали, враховуючи те, що крутний момент від вала електродвигуна до ведучого валу машини передавався за допомогою клинопасової передачі. Коефіцієнт корисної дії клинопасової передачі становить: $\eta=0,95$ [14], тому:

$$P = UI\eta. \quad (3)$$

В роботі [8] встановлено, що значення потужності, яке споживається машиною за один повний оберт її ведучого валу, має 8 точок екстремумів. Тому визначали лише максимальні значення потужності P_{\max} для кожного паралельного експерименту на основі максимальних значень напруги джерела живлення U_{\max} (графіки рис. 2 – рис. 5) та розрахованих максимальних значень сили струму I_{\max} електродвигуна. Отже, рівняння (3) матиме вигляд:

$$P_{\max} = U_{\max} I_{\max} \eta. \quad (4)$$

В свою чергу, максимальні значення сили струму визначали на основі максимальних значень напруги, вимірної на клеммах шунта згідно виразу (1). Максимальні значення розрахованої за виразом (4) потужності, що споживається на ведучому валу машини для окремих чотирьох експериментів та п'яти паралельних дослідів кожного експерименту наведені в таблиці 3.

Значимість коефіцієнтів та адекватність регресійної моделі визначались за загальновідомою методикою [16], використовуючи при цьому критерії Стьюдента та Фішера [16] відповідно з гарантованою вірогідністю 95 %. Дисперсія відтворюваності розраховувалася за відомими формулами та подальшою перевіркою однорідності на основі критерія Кохрена [15].

Обробка отриманих результатів експерименту виконувалася із використанням програмного забезпечення системи математичного моделювання MathCAD. Таким чином, було отримано рівняння регресії:

$$Y = 92,94 + 10,69X_1 + 16,35X_2 + 0,58X_1X_2. \quad (5)$$

Рівняння (5) адекватно описує досліджуваний процес, так як розрахований критерій Фішера $F_p=3,501$ є меншим від табличного значення $F_t=4,5$.

Далі проводилася перевірка значущості коефіцієнтів рівняння регресії за відомою методикою [15]. На основі розрахунків встановлено, що коефіцієнт подвійної взаємодії 0,58 є незначущим, а отже виключається з моделі. Таким чином, рівняння регресії матиме вигляд:

$$Y = 92,94 + 10,69X_1 + 16,35X_2. \quad (6)$$

Після перерахунків значущих коефіцієнтів регресії, отримали рівняння регресії в натуральних значеннях:

$$P_{\max} = -121,72 + 10,7m_c + 46,71\omega^{\text{ведуч}}. \quad (7)$$

Рівняння (7) описує залежність максимальної потужності P_{\max} , що споживається машиною на ведучому валу, від маси сипкого середовища m_c та кутової швидкості ведучого валу $\omega^{\text{ведуч}}$. Аналіз отриманого рівняння показав, що потужність машини, яка споживається на її ведучому валу збільшується зі збільшенням маси сипкого середовища, яке завантажується до робочої ємкості, а також зі збільшенням кутової швидкості ведучого валу машини. Враховуючи величини коефіцієнтів при змінних, можна відзначити, що вклад такого фактору як кутова швидкість ведучого валу значно більший, ніж фактору, який відповідає масі сипкого середовища, тобто кутова швидкість ведучого валу має більший вплив на потужність машини, що споживається на її ведучому валу.

Далі виконували перевірку відповідності аналітично розрахованих (згідно рівняння, яке отримане у роботі [18]) та розрахованих за

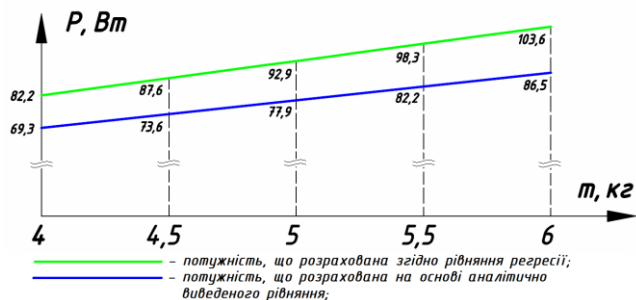


Рис. 6. Графік залежності потужності, що споживається машиною від зміни маси сипкого середовища, завантаженого до робочої ємкості

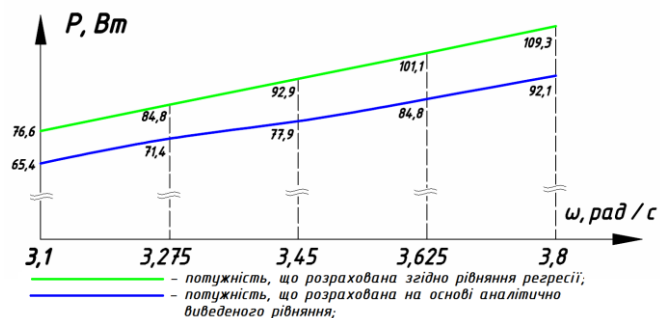


Рис. 7. Графік залежності потужності, що споживається машиною від зміни кутової швидкості ведучого валу

допомогою рівняння регресії (7) значень потужності, що споживається машиною. Зокрема, визначали зміну потужності окремо для двох випадків: 1) потужності, що споживається в залежності від зміни у встановлених межах варіювання маси сипкого робочого середовища, яке завантажувалося до робочої ємкості, при цьому кутова швидкість ведучого валу приймалася сталою та відповідала нульовому рівню варіювання фактору (3,45 рад/с); 2) потужності, що споживається в залежності від зміни у встановлених межах варіювання кутової швидкості ведучого валу, при цьому маса сипкого середовища була незмінною та відповідала нульовому рівню варіювання фактору (5 кг).

На основі розрахованих значень було отримано графіки зміни потужності, яка розрахована на основі аналітично виведеного рівняння, що отримане у роботі [18], а також потужності, яка розрахована згідно з рівнянням регресії (7). Таким чином, на рис. 6 представлено графік залежності потужності, що споживається машиною від зміни маси сипкого середовища, завантаженого до робочої ємкості, а на рис. 7 – графік залежності потужності, що споживається машиною від зміни кутової швидкості ведучого валу.

Проаналізувавши отримані графіки залежності, що представлені на рис. 6 та рис. 7, встановлено, що середня розбіжність між розрахунковим та експериментально встановленим значенням потужності машини, що споживається становитиме: 16,1 % у випадку, якщо варіювати величиною маси сипкого середовища завантаженого до робочої ємкості при сталій кутовій швидкості ведучого валу машини та 15,7%, якщо змінювати величину кутової швидкості ведучого валу машини при постійній масі сипкого середовища, завантаженого до робочої ємкості. Така розбіжність між розрахунковим та експериментально встановленим значенням пояснюється тим, що при визначенні потужності розрахунковим методом не враховувалися втрати потужності на тертя у кінематичних парах машини, в опорах валів, в поступальній кінематичній парі веденого валу з напрямною, втрати на нагрів обмоток електродвигуна. Відомо [7], що більшість з них приймаються постійними для відповідного значення кутової швидкості ведучого валу машини. Втрати на тертя не є універсальними і їх потрібно розрахувати за відомими методами під час проектування вже конкретної машини з індивідуальними конструктивними особливостями.

Висновки

1. Розроблено експериментальну установку машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості, описано принцип її роботи.
2. Проведено експериментальне дослідження потужності галтувальної машини зі складним рухом робочої ємкості, що споживається на її ведучому валу.
3. На основі проведеного експериментального дослідження отримані математичні закономірності, що описують вплив кутової швидкості ведучого валу та маси сипкого середовища завантаженого до робочої ємкості на зміну потужності, що споживається на ведучому валу машини.
4. Виконано перевірку попередньо отриманих аналітичних залежностей. На основі порівняння відповідності аналітично розрахованих та експериментально встановлених значень потужності, що споживається на ведучому валу машини, підтверджено адекватність попередньо отриманих аналітичних залежностей.

Література

1. Панасюк І.В. Особливості оздоблювально-зачищувальної обробки деталей легкої промисловості технологічним середовищем / І.В. Панасюк, О.П. Бурмістенков, М.Г. Залюбовський // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки – 2013. – № 3. – С. 190–194.
2. Zalyubovskiy M.G. Experimental investigation of the handling process of polymeric units in a machine with a compacted space movement of working capacity / M.G. Zalyubovskiy, I.V. Panasyuk, Y.I. Smirnov, Y.V. Klaptsov, V.V. Malyshev // Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design. – 2019. – Vol. 2 (132). – P. 24–32.
3. 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.
4. Бурмістенков О.П. 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.С. Скиба, О.М. Синюк. – Хмельницький, 2007. – 255 с.
5. 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.
6. Модестов В.Б. Определение мощности смесителя, необходимой при смешивании сыпучих материалов / В.Б. Модестов // "Химическое и нефтегазовое машиностроение". – 2003. – № 3. – С. 7–8.
7. Модестов В.Б. Смесители сыпучих и пастообразных материалов : монографія / В. Б. Модестов ; МОНМС України, Восточноукр. нац. ун-т им. В. Даля, Технол. ин-т. – Луганск, 2011. – 353 с.
8. 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.

9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. 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 / M. Marigo, D. L. Cairns, M. Davies, M. Cook, A. Ingram, E. H. Stitt // CMES: Computer Modeling in Engineering & Sciences. – 2010. – No. 3 (Vol. 59). – P. 217–238.
13. Малинівський С. М. Загальна електротехніка : підручник / С. М. Малинівський. – Львів : Бескид Біт, 2003. – 640 с.
14. Піпа Б.Ф. Деталі машин : підручник / Піпа Б.Ф., Хомяк О.М., Марченко А.І. – Київ : КНУТД, 2011. – 358 с.
15. Гусейнов Ф.Г. Планирование эксперимента в задачах электроэнергетики / Гусейнов Ф.Г., Мамедяров О.С. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 151 с.
16. Тихомиров В.Б. Планирование и анализ эксперимента (при проведении исследований в легкой и текстильной промышленности) / Тихомиров В.Б. – М. : Легкая индустрия, 1974. – 262 с.
17. Panasyuk I. Driving machine shaft angular velocity impact on motion conditional change of granular medium in working reservoir for components compounding and process / I. Panasyuk, M. Zalyubovskiy // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – № 3. – P. 260–264.
18. Залюбовський М.Г. Аналітичне дослідження потужності, яка споживається на ведучому валу галтувальної машини зі складним рухом робочої ємкості / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк, В.В. Малишев // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2021. – № 4 (299). – С. 106–111.

References

1. Panasiuk I.V. Osoblyvosti ozdobiuvanno-zachyshchuvalnoi obrobky detalei lehkoi promyslovosti tekhnolohichnym seredovyschem / I.V. Panasiuk, O.P. Burmistenkov, M.H. Zaliubovskiy // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky – 2013. – № 3. – S. 190–194.
2. Zalyubovskiy M.G. Experimental investigation of the handling process of polymeric units in a machine with a compacted space movement of working capacity / M.G. Zalyubovskiy, I.V. Panasyuk, Y.I. Smirnov, Y.V. Klaptsov, V.V. Malyshev // Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design. – 2019. – Vol. 2 (132). – P. 24–32.
3. 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 dizainu. – 2020. – № 2 (144). – S. 24–32.
4. Burmistenkov O.P. Vyrobnystvo lytykh detalei ta vyrobiv z polimerykh materialiv u vztuttivii ta shkirha lanterninii promyslo vosti : monohrafiia / O.P. Burmistenkov, B.M. Zlotenko, V.P. Konoval, I.V. Panasiuk, M.Ie. Skyba, O.M. Syniuk. – Khmelnytskyi, 2007. – 255 с.
5. Zaliubovskiy M.H. Mashyny zi skladnym rukhom robochykh yemkosti dlia obrobky polimerykh detalei : monohrafiia / M.H. Zaliubovskiy, I.V. Panasiuk, V.V. Malyshev. – K. : Universytet «Ukraina», 2018. – 228 s.
6. Modestov V.B. Opredelenye moshchnosti smesyatelia, neobkhodimoi pry smeshyvanii syrpychykh materiyalov / V.B. Modestov // "Khymicheskoe y neftezhazovoe mashynostroenie". – 2003. – № 3. – S. 7–8.
7. Modestov V.B. Smesyately syrpychykh y pastoobraznykh materiyalov : monohrafiia / V. B. Modestov ; MONMS Ukrainy, Vostochnoukr. nats. un-t ym. V. Dalia, Tekhnol. yn-t. – Luhansk, 2011. – 353 с.
8. Zaliubovskiy M.H. Doslidzhennia statychnoho momentu oporu veduchoho valu haltuvanoi mashyny zi skladnym prostorovym rukhom robochoi yemkosti / M.H. Zaliubovskiy // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2021. – № 1 (293). – S. 86–92.
9. Zaliubovskiy M.H. Vyznachennia statychnoho momentu oporu veduchoho valu haltuvanoi mashyny, stvorenoho masoiu syrpkoho seredovyscha u robochii yemkosti / M.H. Zaliubovskiy, I.V. Panasiuk // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2021. – № 2 (295). – S. 116–122.
10. Zaliubovskiy M.H. Doslidzhennia dynamichnoho momentu oporu veduchoho valu haltuvanoi mashyny, utvorenoho peremishchenniam syrpkoho masivu u robochii yemkosti / M.H. Zaliubovskiy, I.V. Panasiuk, V.V. Malyshev // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2021. – № 3 (297). – S. 94–99.
11. 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.
12. 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 / M. Marigo, D. L. Cairns, M. Davies, M. Cook, A. Ingram, E. H. Stitt // CMES: Computer Modeling in Engineering & Sciences. – 2010. – No. 3 (Vol. 59). – R. 217–238.
13. Malynivskiy S. M. Zahalna elektrotehnika : pidruchnyk / S. M. Malynivskiy. – Lviv : Beskyd Bit, 2003. – 640 s.
14. Pipa B.F. Detali mashyn : pidruchnyk / Pipa B.F., Khomiak O.M., Marchenko A.I. – Kyiv : KNUITD, 2011. – 358 s.
15. Huseinov F.H. Planirovanye eksperymenta v zadachakh elektroenerhetyky / Huseinov F.H., Mamediarov O.S. – M. : Enerhoatomizdat, 1988. – 151 s.
16. Tykhomyrov V.B. Planirovanye y analiz eksperymenta (pry provedenii yssledovanyi v lehkoi y tekstylnoi promyshlennosti) / Tykhomyrov V.B. – M. : Lehkaia yndustryia, 1974. – 262 s.
17. Panasyuk I. Driving machine shaft angular velocity impact on motion conditional change of granular medium in working reservoir for components compounding and process / I. Panasyuk, M. Zalyubovskiy // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – № 3. – P. 260–264.
18. Zaliubovskiy M.H. Analitichne doslidzhennia potuzhnosti, yaka spozhyvaietsia na veduchomu valu haltuvanoi mashyny zi skladnym rukhom robochoi yemkosti / M.H. Zaliubovskiy, I.V. Panasiuk, V.V. Malyshev // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2021. – № 4 (299). – S. 106–111.

СЕРДЮК О. В., СУХОРУКОВ С. І.

Вінницький національний технічний університет
ORCID ID: 0000-0000-0000-0000
e-mail: karvatkoolga@ukr.net

СЕРДЮК В. В., КОРЧИНСЬКИЙ О. А.

Вінницький науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України
ORCID ID: 0000-0000-0000-0000
e-mail: cerdukvasya@ukr.net

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОБКОЧУВАННЯ РОЛИКОМ ІЗ ГВИНТОВОЮ РОБОЧОЮ ПОВЕРХНЕЮ

У роботі наведено результати досліджень використаного ресурсу пластичності при обкочуванні торіодальним роликом із гвинтисловою робочою поверхнею.

Ключові слова: напруження, деформації, пластичність, обкочування роликом, напружено-деформований стан.

SERDIUK OLGA V., SYCHORYKOV SERGIY I.

Vinnytsia National Technical University

SERDIUK VASYL V., KORCHYNS'KYI OLEKSANDR A.

Vinnytsia Research forensic center of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine

RESEARCH OF THE ROLLING PROCESS WITH A SCREW WORKING SURFACE

Recently, in Ukraine and in other countries, special attention is paid to the quality and technological heredity of finished products, which receive metal treatment by pressure. One of the important tasks in the production of parts is to ensure the high quality of the working surfaces and improve the physical and mechanical characteristics of the surface layer of their material. One of the most economical and effective ways of solving this problem is to strengthen details by surface plastic deformation (PPE), which allows to more fully realize the potential properties of structural materials in real details of complex structure and in details with stress concentrators. Using the methods of deformability theory, the value of the resource used and its dependence on the parameters of the process of surface plastic deformation is determined at the design stage. It is necessary to have information about the stress-strain state in the deformation cell and the laws of its change, depending on the parameters of the process of surface plastic deformation. The most effective direction for improving the technology of roughing roller is the choice of rational parameters of the geometry of the tool and process technology. Analyzing the obtained results it can be concluded that there is a significant nonmonotonic deformation due to the fact that there is a wave in front of the roller in which there is a stress tension, while under the roller there is a stressful state of comprehensive compression. In addition, when changing the direction of obstruction, the sign of tangential stresses, which contributes to the partial recovery of microcracks and, consequently, to reduce the value of the used resource of plasticity. According to the results of researches, it was established that the optimal mode is treatment, in which a tool with three turns is used and the routing is performed once in two opposite directions. This allows you to increase the hardness of the original workpiece almost twice and get a surface with a minimum roughness. The obtained results show the advantage of nonmonotonic deformation, as in these cases, with the same degree of deformation of the surface layer of the metal, the resource of plasticity in the first case is much smaller.

Keywords: stress, deformations, plasticity, deformation of roller, the stress-strain state.

Постановка проблеми

Подальше вдосконалення процесів обкочування деталей можливе при удосконаленні форми робочого інструменту. В роботі [1] запропоновано для обкочування використовувати ролик, що має гвинтову робочу поверхню з перемінним кроком. Але при цьому має бути оптимізована конструкція інструменту (діаметр, крок витків, радіус сферичної поверхні), технологічні параметри процесу (подача, зусилля, швидкість) для забезпечення максимальної твердості поверхневого шару при мінімальному використаному ресурсі пластичності, та для забезпечення необхідних показників точності та шорсткості поверхні.

Аналіз останніх джерел

В роботі [2] наведено дані про експериментальні дослідження процесу обкочування торіодальним роликом, що підтверджують доцільність його використання для отримання якісного поверхневого шару. Але відсутні дослідження використаного ресурсу пластичності. При поверхневій пластичній деформації використаний ресурс пластичності може бути розрахований за моделлю [2], що використовується для процесів накопичення пошкоджень при немонотонній пластичній деформації. Грунтуючись на відомих результатах моделювання процесів ОМТ методом скінчених елементів [3], для розв'язку задачі пластичного деформування поверхневого шару заготовки можна використовувати програму LS-DYNA [4, 5]. Дана програма дозволяє моделювати напружено-деформований стан під час пластичного формозмінення матеріалів, взаємодію контактних поверхонь інструмента та заготовки з врахуванням тертя.

Введення початкових даних виконується з командного файлу. Для візуалізації результатів імітаційного моделювання та їх наступного аналізу використовували препроцесор LS-PREPOST, що входить до складу пакету LS-DYNA [6, 7].

Метою роботи є дослідження якості поверхневого шару металу заготовки пластично зміцненого обкочуванням роликом на основі розрахованого використаного ресурсу пластичності матеріалу при немонотонній деформації.

Виклад основного матеріалу

В цій моделі розглядається обкатка сталевого валу (Сталь 45), роликem діаметром 50 мм, з профільним радіусом – 5 мм. Аналіз отриманих результатів показує, що мають місце три зони деформування [8]: область випередження область налипання або область безпосередньо контакту ролика і деталі; область відставання. Формування всіх зон добре видно на рис. 1.

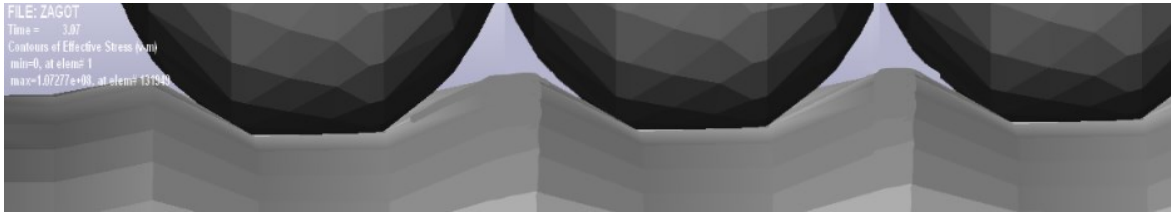


Рис. 1. Утворення пластичної хвилі перед роликом та після нього на поверхні деталі

Оскільки при обкочуванні має місце немонотонність навантаження, то величину використаного ресурсу пластичності в поверхневому шарі металу після обкочування розраховували за критерієм [9]:

$$\Psi = \sqrt{\Psi_{ij}\Psi_{ji}}, \quad (1)$$

де Ψ_{ji} – компоненти тензора пошкоджень [8].

Отримана траєкторія навантаження для точки, в якій величина використаного ресурсу пластичності приймає найбільші значення та поверхня граничних деформацій сталі 45 наведена на рис. 2.

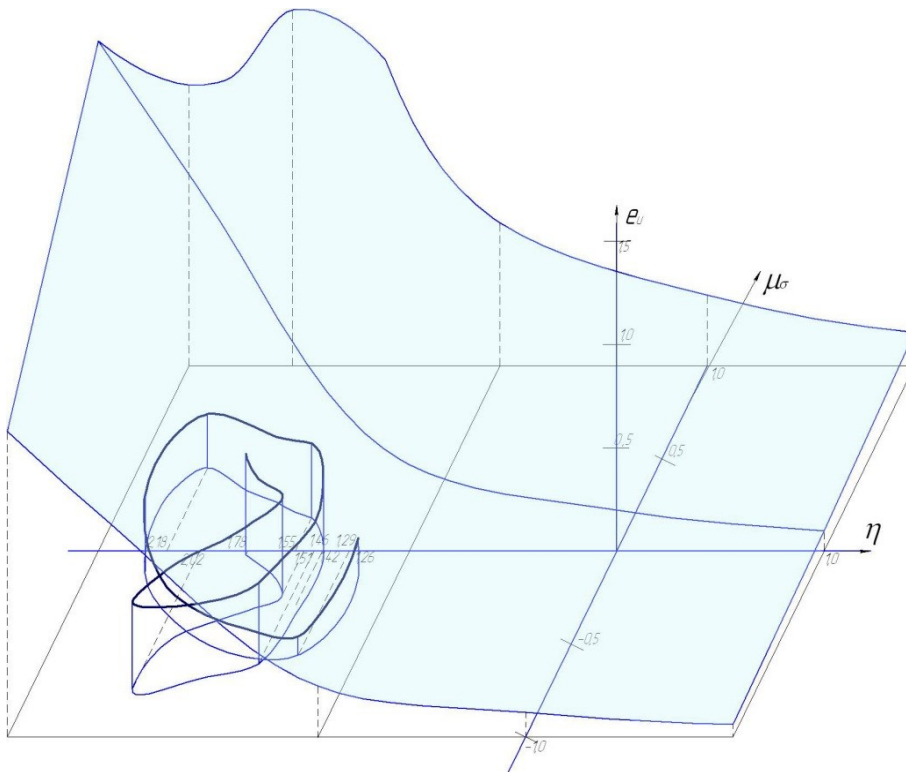


Рис. 2. Траєкторія навантаження при обкочуванні двічі в різних напрямках

Отримані результати свідчать про те, що при немонотонному навантаженні інтенсивність накопичення пошкоджень зменшується. Із отриманих результатів видно, що при вдавлюванні напруження σ_x , σ_y стискуючі, а напруження σ_z стискує під роликом, але розтягує перед та після нього на поверхні деталі. Що підтверджує складний напружений стан при вдавлюванні та обкочуванні деталі.

Висновки

Визначено напружено-деформований стан в осередку деформації при вдавлюванні торіодального ролика з довільною кривизною робочої поверхні в поверхню довільної кривизни. Установлено, що в загальному випадку, коли контур вм'ятини має еліптичну форму, розподіл тиску по поверхні контактної площадки трансформується від еліптичного на пружній стадії деформації до близького рівномірного при розвинутій пластичній деформації в зоні контакту.

Література

1. Пат. 76462 Україна, МПК В 24 В 39/00. Ролик для обкочування металевих деталей / О. В. Сердюк та Т. В. Ярошенко. – № u 2012 05857, Бюл. № 1, заявл. 14.05.2012, опубл. 10.01.2013.
2. Сивак Р. И. Накопление повреждений при поверхностной пластической деформации / Р. И. Сивак, О. В. Карватко, В. Т. Ивацко // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : збірник наукових праць. – 2006. – № 1 (3). – С. 18–20.
3. Грушко О. В. Визначення силових характеристик процесів обробки тиском методом еквівалентної оцінки / О. В. Грушко, В. В. Кухарь, Т. І. Молодецька // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні : збірник наукових праць. – Луганськ, 2012. – № 31. – С. 218–226.
4. Сердюк О. В. Оцінка пластичності поверхневого шару металу при немонотонному навантаженні / О. В. Сердюк, І. О. Сивак, С. І. Сухоруков, Р. І. Сивак // Наукові нотатки : міжвузівський збірник (за галузями знань «Технічні науки»). – 2016. – Випуск 54. – С. 277–281.
5. Сердюк О. В. Напружено-деформований стан в осередку деформації при вдавлюванні тороїдального ролика / О. В. Сердюк, І. О. Сивак, М. А. Карватко // Наукові нотатки : міжвузівський збірник (за галузями знань «Технічні науки»). – 2013. – Випуск 40. – С. 251–256.
6. Сердюк О. В. Моделирование процесса деформирования поверхностного слоя при обкатке цилиндрическим роликом / О. В. Сердюк // Обработка материалов давлением. – 2012. – № 3 (32). – С. 15–18.
7. Сивак Р. И. Влияние немонотонности пластической деформации на напряжённое состояние / Р. И. Сивак, О. В. Сердюк, И. О. Сивак // Обработка материалов давлением. – 2010. – № 2 (23). – С. 3–7.
8. Sivak R. I., Serdiuk O. V., and Yablonska S. Z. (2009). Evaluation of the metal surface layer plasticity in the process of surface plastic deformation. Buletinul Institutului Politehnic Din Iasi. Sectia: Stiinta si ingineria materialelor, Tomul LV (LIX), Fasc. 3, p. 201–204.
9. Карватко О. В. Экспериментально-расчетное определение использованного ресурса пластичности в порверхностном слое при обкатке цилиндрическими роликами / О. В. Карватко, О. В. Дерибо, В. Т. Ивацко // Обработка материалов давлением : сборник научных трудов. – 2008. – № 1 (19). – С. 211–214.

References

1. Pat. 76462 Ukraina, MPK V 24 V 39/00. Rolyk dlia obkochuvannia metalevykh detalei / O. V. Serdiuk ta T. V. Yaroshenko. – № u 2012 05857, Biul. № 1, zaia vl. 14.05.2012, opubl. 10.01.2013.
2. Sivak R. I. Nakoplenie povrezhdenij pri poverhnostnoj plasticheskoj deformacii / R. I. Sivak, O. V. Karvatko, V. T. Ivacko // Visnik Donbaskoyiderzhavnomyimashinobudivnoyiakademii: zbmik naukovih prac. – 2006. – № 1 (3). – S. 18–20.
3. Hrushko O. V. Vyznachennia sylovykh kharakterystyk protsesiv obrobky tyskom metodom ekvivalentnoiotsinky / O. V. Hrushko, V. V. Kukhar, T. I. Molodetska // Resursozberihaiuchi tehnolohii vyrobnystva ta obrobky tyskom materialiv u mashynobuduvanni : zbmik naukovykh prats. – Luhansk, 2012. – № 31. – S. 218–226.
4. Serdiuk O. V. Otsinka plastychnosti poverkhnevoho sharu metalu pry nemonotonnomu navantazhenni / O. V. Serdiuk, I. O. Syvak, S. I. Sukhorukov, R. I. Syvak // Naukovi notatky : mizhvuzivskiyi zbmik (za haluziami znan «Tekhnichni nauky»). – 2016. – Vypusk 54. – S. 277–281.
5. Serdiuk O. V. Napruzhenodeformovanyi stan v oseredku deformatsii pry vavlivanni toroidalnoho rolyka / O. V. Serdiuk, I. O. Syvak, M. A. Karvatko // Naukovinotatky : mizhvuzivskiyi zbmik (za haluziami znan «Tekhnichni nauky»). – 2013. – Vypusk 40. – S. 251–256.
6. Serdyuk O. V. Modelirovanie processa deformirovaniya poverhnosnogo sloya pri obkatke cilindricheskim rolikom / O. V. Serdyuk // Obrobka materialov davleniem. – 2012. – № 3 (32). – S. 15–18.
7. Sivak R. I. Vliyanie nemonotonnosti plasticheskoj deformacii na napryazhyonnoe sostoyanie / R. I. Sivak, O. V. Serdyuk, I. O. Sivak // Obrobka materialov davleniem. – 2010. – № 2 (23). – S. 3–7.
8. Sivak R. I., Serdiuk O. V., and Yablonska S. Z. (2009). Evaluation of the metal surface layer plasticity in the process of surface plastic deformation. Buletinul Institutului Politehnic Din Iasi. Sectia: Stiinta si ingineria materialelor, Tomul LV (LIX), Fasc. 3, p. 201–204.
9. Karvatko O. V. Eksperimentalno-raschetnoe opredelenie ispolzovanogo resursa plastychnosti v poverhnostnom sloe pri obkatke cilindricheskimi rolikami / O. V. Karvatko, O. V. Deribo, V. T. Ivacko // Obrobka materialov davleniem : sbornik nauchnyh trudov. – 2008. – № 1 (19). – S. 211–214.

Рецензія/Peer review : 21.09.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.10.2021 р.

СТАДНІК М. І.

Вінницький національний аграрний університет

ORCID: 0000-0003-3895-9607

stadnik1948@gmail.com

ЯРОШЕНКО Л. В.

Вінницький національний аграрний університет

ORCID: 0000-0002-0261-006X

volvinlv@gmail.com

ВИДМИШ А. А.

Вінницький національний аграрний університет

ORCID: 0000-0002-9803-2750

andriyvymysh1966@gmail.com

ПРОЦЕНКО Д. П.

Вінницький національний технічний університет

ORCID: 0000-0002-5611-7262

procenko.d.p@vntu.edu.ua

ОСОБЛИВОСТІ ПУСКОВОГО РЕЖИМУ ВІБРОТРАНСПОРТЕРА З ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИМ ДЕБАЛАНСНИМ ПРИВОДОМ

У статті запропоновано підхід щодо визначення закономірностей споживання електроенергії двигунами вібротранспортера в режимі його пуску, та оцінка впливу характеристик дебалансного механізму на роботу вібраційного електропривода транспортера сипучої продукції. Визначено, що в пусковому режимі роботи швидкість обертання ротора асинхронного двигуна привода дебалансів змінюється нерівномірно, це призводить до нерівномірності навантаження двигунів. Отримані цифрові дані вимірювальних параметрів (струми та напруги двигунів вібротранспортера) реєструвались з використанням плати АЦП E-14-140 та програмного середовища Lgraph2. Проведені експериментальні дослідження дозволяють стверджувати, що на пускові струми двигунів мають вплив не тільки параметри дебалансів, але і їх початкове положення, зокрема при протилежному початковому положенні центрів мас дебалансів різних віброзбуджувачів, пікове значення різниці струмів двигунів майже вдвічі більше ніж при узгодженому положенні. Це може бути враховано при виборі потужності електродвигунів вібротранспортера, та їх перевантажувальної здатності. На основі частотного аналізу кривих різниці діючих струмів двигунів встановлено, що найбільшу амплітуду мають складові з частотою 16,6 Гц тобто ті які змінюються із частотою швидкості обертання. Також наявна постійна складова, що зумовлена відхиленням параметрів віброзбуджувачів. Аналіз кривої різниці миттєвих значень струмів двигунів показав, що в спектральній характеристиці крім складової з частотою близько 50 Гц найбільш виражені частоти 33,4 Гц та 66,6, це означає, що на частоту основної гармоніки накладаються протифазні коливання з частотою близько 16,6 Гц зумовлені обертанням дебалансів.

Ключові слова: вібротранспортер, дебаланс, вібралоток, асинхронний двигун, частота, пуск електропривода.

STADNIK N., YAROSHENKO L., VYDMYSH A.

Vinnytsia National Agrarian University

PROTSSENKO D.

Vinnytsia National Technical University

FEATURES OF THE STARTING MODE OF THE VIBROCONTAINER WITH THE ELECTROMECHANICAL BALANCE DRIVE

The article proposes an approach to determining the patterns of electricity consumption by the vibrating conveyor motors in its start-up mode, and evaluating the influence of the characteristics of the unbalance mechanism on the operation of the vibrating electric drive of the bulk product conveyor. It is determined that in the starting mode the rotation speed of the rotor of the asynchronous motor of the unbalance drive changes unevenly, this leads to uneven load of the motors. The obtained digital data of measuring parameters (currents and voltages of vibroconveyor motors) were recorded using the ADC board E-14-140 and software environment Lgraph2. Experimental studies suggest that the starting currents of the motors are affected not only by the unbalance parameters but also by their initial position, in particular at the counter initial position of the unbalance centers, the peak value of the motor current differences is almost twice as large as at the agreed position. This can be taken into account when choosing the power of the electric motors of the vibrating conveyor, and its overload capacity. Based on the frequency analysis of the curves of the difference of the operating currents of the motors, it is established that the components with a frequency of 16.6 Hz have the greatest amplitude, those that change with the speed of rotation. There is also a constant component due to the deviation of the parameters of the vibrator. Analysis of the curve of the difference of the Mittevi values of motor currents showed that in the spectral characteristic, in addition to the component with a frequency of about 50 Hz, the frequencies 33.4 Hz and 66.6 Hz are most pronounced, which means that antiphase oscillations with a frequency of about 16.6 Hz are superimposed on the fundamental harmonic frequency. due to the rotation of imbalances.

Keywords: vibroconveyor, unbalance, vibrating tray, induction motor, frequency, electric drive start.

Постановка проблеми

Для переміщення кускових і сипучих матеріалів в сільському господарстві широкого розповсюдження здобули вібраційні транспортери. Дія вібраційного транспортера заснована на тому, що робочий орган машини на початку і в кінці кожного циклу коливань займає одне і те ж положення, а вантаж,

який транспортується в кожному циклі просувається вперед щодо робочого органу. Є два основних типи вібротранспортування – з постійним нормальним тиском вантажу на робочий орган і зі змінним тиском, коли здійснюється періодичне ударне підкидання вантажу. Найбільш перспективним є другий тип, тому що він дозволяє отримувати більшу швидкість переміщення вантажу. Збільшення швидкості пояснюється тим, що вантаж переміщається при його вільному польоті, тоді як в не наголошених вібраційних транспортерах вантаж завжди знаходиться в контакті з робочим органом. Його коливання в часі відбуваються в напрямку S під кутом β до осі OX за гармонійним законом [1]

$$S = F \cdot \sin kt, \quad (1)$$

де F – амплітуда вимушеної сили, k – циклічна частота.

Недоліком вібраційних машин є різке збільшення амплітуд коливань при проходженні зони резонансу в процесі пуску, резонансні амплітуди можуть значно перевершувати амплітуди коливань при сталому режимі роботи, що є неприпустимим з точки зору нормальної експлуатації [2, 3]. Резонансні розгойдування супроводжуються сильним шумом, зіткненням витків пружин і викликають значні динамічні навантаження на підтримуючі конструкції і електропривод.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Одним з найбільш перспективних приводів вібраційних машин є асинхронні дебалансні електроприводи, які представляють собою асинхронний електродвигун з встановленими на його валу чи на окремому валу дебалансними вантажами [1]. Істотною перевагою таких вібробудувачів є низька вартість, простота виконання і найменша металоємність на одиницю сили серед усіх відомих вібромашин, а також те що такий тип віброприводу є само балансним і під час його роботи на навколишнє обладнання практично не передаються динамічні сили і немає необхідності їх зрівноважувати чи гасити. При цьому особливий інтерес представляє груповий вібраційний привод на базі частотно-керованих асинхронних двигунів, використання якого дозволяє отримати різні траєкторії руху робочого органу, підвищити ККД і розширити функціональні можливості вібраційних установок [4]. Поведінка асинхронного двигуна в приводі групи вібраторів в значній мірі визначається характером зміни моменту навантаження на його валу, тобто характером навантажувальних діаграм. У робочому режим вібратори долають різні види опорів. Величиною і їх видом в значній мірі визначаються особливості руху вібраційної системи і споживана приводними двигунами потужність. Енергія двигуна вібробудувача витрачається на подолання постійних та змінних втрат, причому змінні втрати залежать від швидкості обертання. У момент пуску швидкість обертання ротора асинхронного вібропривода зростає нерівномірно, це викликано величиною статичного моменту дебаланса, що призводить до провалів швидкості асинхронного двигуна [5]. На практиці дану проблему вирішують використанням двигунів зі значним резервом потужності (30-70%), проте резерв потужності погіршує енергетичні показники (ККД і коефіцієнт потужності в робочому режимі) [6].

Мета дослідження

Отже метою роботи є визначення закономірностей споживання електроенергії двигунами вібротранспортера в режимі його пуску, та оцінка впливу характеристик дебалансного механізму на роботу вібраційного електропривода транспортера сипучої продукції.

Основні результати дослідження

Дослідно-промисловий зразок вібраційної машини для сушіння гранульованої, дрібнодисперсної і пилоподібної продукції, спроектований і виготовлений у лабораторії автоматизації технологічних процесів Вінницького національного аграрного університету [7]. Основні технічні характеристики вібраційної сушарки наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Технічні характеристики лабораторної вібраційної сушарки

Параметр	Значення
Продуктивність, кг/год	150
Потужність електронаривача, кВт	5,0
Амплітуда коливань вібрлотка, мм	0-6
Частота обертів приводного електродвигуна, об/хв	910
Потужність приводних двигунів, кВт	0,75
Температура у термокамері, °C	20-180
Маса, кг	230
Габаритні розміри, мм	1000×600×1000

Принципова схема такої сушильної машини приведена на рис. 1.

Вібраційна сушарка містить корпус 1, що покритий теплоізоляцією на панелях 2 корпусу 1 на циліндричних пружинах 3 змонтовані суцільний термічний 4 та перфорований (колосниковий) 5 вібрлотки. Робоча поверхня термічного лотка 4 виготовлена із суцільної листової сталі, що має підвищену жаростійкість. Робоча поверхня перфорованого (колосникового) вібрлотка виготовлена з довгих

вертикальних смужок 7, що прикріплені шляхом зварювання на кронштейнах 8. Між смужками утворюються повздовжні зазори величиною $\delta = 1,5-2$ мм (щоб не було просипання оброблюваного зерна). Дебалансні віброприводи лотків змонтовані з їх боків по середині і складаються із двох відцентрових дебалансних вібробудувачів, які обертаються назустріч один одному. Відцентрові вібробудувачі з'єднані за допомогою еластичних муфт 10 з приводними асинхронними електродвигунами 11 і складаються із встановлених на підшипниках валів 9 на яких з однієї сторони і в одній площині розміщені по дві пари дебалансних вантажів. Провертаючи дебалансні вантажі у кожній парі навколо осі валу 9 можна змінювати величини сумарних статичних моментів кожної пари дебалансів а отже і величину відцентрової сили яка виникає при їхньому обертанні навколо осі валів 9. Причому осі валів 9 є паралельними та встановленими під кутом β до площин робочих доріжок вібротоків, як у свою чергу розміщуються горизонтально. Над термічними лотками 4 розміщені джерела ІЧ-випромінювання 12 (ТЕНи або лампи ІКЗ). Термічний віброток 4 зверху та з боків має додаткову термоізоляцію 13. Завантажувальна горловина 14 встановлена початком термічного вібротка 4 а в його кінці перепускна крильчатка 15. Під перфорованим колосниковим вібротком 5 встановлено нагнітальний вивід електроventилятора 16, а вище поверхні цього вібротка – вивідне вікно 17 з шибром 18. Під кінцем нижнього вібротка 5 встановлюють ємність для обробленої продукції 19.

Вібраційна сушарка працює таким чином. Після запуску приводних асинхронних двигунів 11 вібробудувачів, їхні ротори обертаються зустрічно у кожному віброприводі, це призводить до динамічної самосинхронізації їх обертання, при цьому збуджуються плоскі поступальні коливання вібротків 4 і 5 під кутом β до площин їхніх робочих доріжок. Сипуча зернова продукція надходить у вібросушарку через завантажувальну горловину на і попадає на робочі поверхні вібротків, які коливаються, внаслідок чого сипуча продукція розподіляється на них моно-шаром. У ході вказаних коливань вібротків між їх робочими поверхнями і частинками оброблюваної зернової продукції виникає асиметрія сил тертя, під дією якої виникає вібротранспортування - направлений рух зернинок вздовж робочих поверхонь вібротків. У ході коливань вібротків точки їхніх робочих поверхонь здійснюють зворотно-поступальний рух навколо певного центру коливань при цьому направлено переміщення за період одного коливання немає. Шляхом зміни величини статичних моментів дебалансних вантажів при їхньому взаємному провертанні відносно осі валу 9 у кожній парі дебалансів, можна встановити необхідний режим вібротранспортування, а саме із неперервним підкиданням зернинок при їхньому переміщенні вздовж робочих поверхонь вібротків. Неперервне підкидання зернинок і їхнє хаотичне провертання при цьому та вібротранспортування вздовж робочих поверхонь термічних вібротків 4, над якими встановлені джерела ІЧ-випромінювання 12 призводить до їхнього рівномірного опромінення і нагрівання з усіх сторін інфрачервоним промінням, що пришвидшує прогрівання оброблюваних зернин.

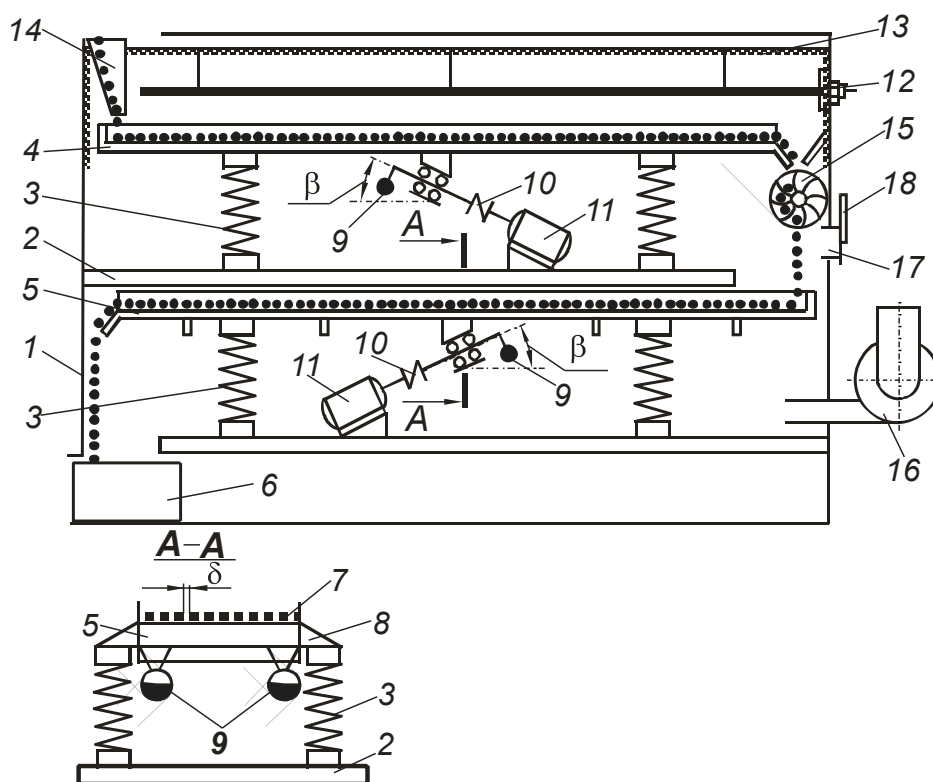


Рис. 1. Конструктивна схема лабораторної вібросушарки

Після обробки ІЧ-випромінюванням на термічному вібротку, прогріте зерно через перепускна крильчатку 15 попадає на робочу поверхню перфорованого колосникового вібротка 5, де через отвори

перфорації обдувається атмосферним повітрям, яке подається у цю робочу зону під напором що, створює електровентилятор 16. Вібротранспортування зерна по робочих поверхнях перфорованих вібрлотків 5 також здійснюється при неперервному підкиданні і хаотичному провертанні зернинок, що сприяє кращій рівномірності обдування їх атмосферним повітрям, це порушує рівноважний стан волога у зернинах, і коли тиск водяних парів у них перевищить парціальний тиск водяних парів води у волога із зернин починає інтенсивно випаровуватись. Таким чином зростає інтенсивність процесу сушіння зерна і продуктивність даної вібросушарки порівняно із традиційними конвективними сушарками, які сушать зерно шляхом його продування нагрітим повітрям. Крім того у даній сушарці відсутні значні втрати тепла з відпрацьованим теплим повітрям.

На рис. 1: 1 – корпус; 2 – площадка; 3 – пружні елементи; 4 – термічний лоток; 5 – колосниковий лоток; 6 – приймальний бункер; 7 – повздовжні вертикальні смужки; 8 – кронштейн; 9 – дебалансний вантаж; 10 – еластична муфта; 11 – електродвигун; 12 – термогенератори; 13 – термоізоляція; 14 – завантажувальна горловина; 15 – крильчатка; 16 – вентилятор; 17 – вивідні патрубки; 18 – регулювальний шибер.

Динамічна схема дослідження вібраційного лотка наведена на рис. 2. Робочий орган (вібрлоток) вважається абсолютно жорстким твердим тілом, встановлений на нерухомій основі за допомогою достатньо м'яких пружних елементів жорсткістю k та коефіцієнтом опору b .

На рис. 2: 1 – робочий орган; 2 – пружина; 3 – опорна рама; 4 – дебаланс. На лотку, симетрично відносно вертикальної осі, на відстані l один від одного змонтовані два дебалансних віброзбуджувачі. Осі обертання віброзбуджувачів лежать в горизонтальній площині, яка проходить через центр маси лотка.

Віброзбуджувачі оснащені приводними електродвигунами, що обертаються назустріч один одному. За узагальнені координати системи прийнято: x , y і ϕ , що відповідають горизонтальному, вертикальному і кутовому переміщенню лотка. Диференціальне рівняння руху вібраційного лотка при рівномірному обертанні віброзбуджувачів буде мати вигляд [1]:

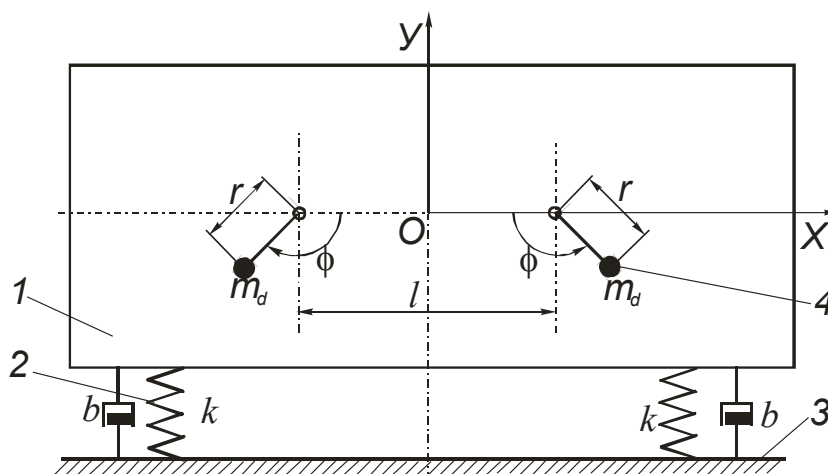


Рис. 2. Розрахункова схема дебалансного віброзбуджувача лотка

$$M \frac{d^2s}{dt} + b \frac{ds}{dt} + k \cdot s = F_0 \cdot \sin(\omega \cdot t) \tag{2}$$

де M – приведена маса вібрлотка;
 s – переміщення робочого органу;
 b – коефіцієнт пропорційний силам тертя та опору повітря;
 k – жорсткість пружної системи вібрлотка;
 F_0 – циклічна вимушуюча сила.
 Циклічна відцентрова вимушуюча сила, що виникає при обертанні дебалансів буде рівною (див. рис. 2):

$$F = m \cdot e \cdot \omega^2 \tag{3}$$

де m – маса дебалансного вантажу віброзбуджувачів;
 e – ексцентриситет дебалансного вантажу віброзбуджувачів;
 ω – кутова швидкість обертання приводного вала.
 Аналізуючи вихідне рівняння (2) можна зробити висновок, що якщо колова частота ω зовнішньої вимушуючої сили F_0 мала порівняно з частотою власних коливань ω_0 вібраційної технологічної машини, то у лівій частині рівняння (2) вагому роль відіграє тільки член $(k \cdot s)$ тому:

$$k \cdot s \approx F_0 \cdot \sin(\omega \cdot t) \tag{4}$$

Отже при $\omega < \omega_0$ зовнішня сила в основному затрачується на подолання пружних сил у механічній системі, і амплітуда зміщення ($s = F_0 / k$) збігається за фазою із зовнішньою силою.

Якщо частота ω зовнішньої вимушуючої сили F_0 велика порівняно з частотою власних коливань ω_0 вібраційної технологічної машини, то у лівій частині рівняння (2.2) вагому роль відіграє тільки член $(M \cdot d^2s/dt^2)$ тому:

$$M \frac{d^2s}{dt^2} \approx F_0 \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad (5)$$

Тобто при $\omega > \omega_0$ зовнішня сила в основному затрачається на те, щоб надавати робочому органу прискорення. Амплітуда прискорення ($A_\infty = F_0/m$) збігається по фазі із зовнішньою силою, а переміщення має протилежну фазу. В області резонансу коли $\omega \approx \omega_0$ члени $(M \cdot d^2s/dt^2)$ та $(k \cdot s)$ приблизно однакові за значенням але протилежні за знаком. Оскільки коливання робочого органу відбуваються за законом $s = S \cdot \sin(\omega \cdot t)$ то:

$$\begin{cases} M \frac{d^2s}{dt^2} = -M \cdot \omega^2 \cdot S \cdot \sin(\omega \cdot t), \\ k \cdot s = k \cdot S \cdot \sin(\omega \cdot t). \end{cases} \quad (6)$$

Тобто $k / M = \omega_0^2$ і $\omega \approx \omega_0$, тому: $(M \cdot d^2s/dt^2) \approx k \cdot s$. Обидва ці члени компенсують один одного в рівнянні (2.2) і як висновок:

$$b \frac{ds}{dt} \approx F_0 \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad (7)$$

Спираючись на вираз (6) та [8] можна зробити висновок, що: в області резонансу ($\omega \approx \omega_0$) пружна система сама долаючи зовнішні сили надає масі m необхідного прискорення; роль зовнішньої сили зводиться до подолання сил тертя, а амплітуда швидкості ($V_{\max} = F_0/b$) по фазі співпадає із зовнішньою силою. При чому зовнішня сила F_0 виконує найбільшу корисну роботу тому що, напрям руху робочого органу вібромашини постійно збігається із напрямом зовнішньої вимушуючої сили. І навпаки коли ω помітно відрізняється від ω_0 напрям руху робочого органу протягом деякої частини періоду збігається із вимушуючою силою, а протягом другої частини періоду протилежний їй. Тому із енергетичної точки зору явище резонансу зумовлене тим, що коли частоти $\omega \approx \omega_0$ збігаються, то настають найбільш сприятливі умови для надходження в систему енергії від зовнішнього джерела.

Загальний вигляд вібрототка із вимірювальним обладнанням наведений на рис. 3.



Рис. 3. Загальний вигляд вібрототка із вимірювальним обладнанням

В режимі пуску відношення між швидкістю обертання ω та швидкістю власних коливань ω_0 динамічно змінюються, так в перший момент після пуску коливання вібрототка майже відсутні тобто

виконується умова $\omega > \omega_0$, по мірі розгону з'являються власні коливання частота яких зрівнюється із частотою обертання дебалансів в усталеному режимі, тобто $\omega \approx \omega_0$. Відповідно на момент навантаження, та струм двигуна в режимі пуску буде впливати не тільки статичне навантаження, але і періодична складова, частота якої буде залежати від швидкості обертання. Здійснимо оцінку періодичної складової струмів двигунів віброкотка, схему вимірної установки показано на рис. 4.

На схемі: PA1, PA2 – сенсор струму першого та другого двигуна; PV – сенсор напруги; M1, M2 – двигуни вібробудувачів; D1, D2 – дебаланси першого та другого двигуна; PC – персональний комп'ютер; $\wedge/\#$ – аналогово-цифровий перетворювач (АЦП). Наведена дослідна установка дозволяє в реальному часі динамічно вимірювати значення лінійних струмів двигунів та прикладеної напруги. Отримані цифрові дані вимірних параметрів візуалізуються та реєструються за допомогою програмного середовища персонального комп'ютера Lgraph2 для плати АЦП Е-14-140. В схемі застосовані сенсори струму та напруги LTS 6-NP та LV 25-P відповідно, вимірювання здійснюються з частотою 33кГц [9].

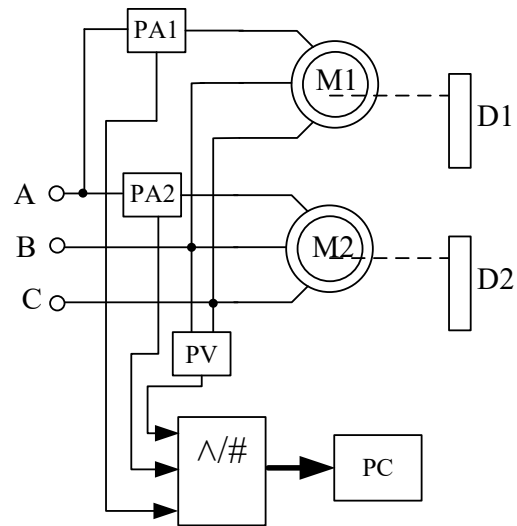


Рис. 4. Схема вимірної установки

Під час запуску двигунів важливо встановити початкове положення дисбалансів. Від їх положення в момент пуску змінюються умови роботи двигунів, через взаємовплив коливального руху дебалансів. В лабораторних умовах здійснено пуск коли дебаланси знаходяться в крайньому нижньому положенні, та коли вони мають протилежне розміщення, тобто їх центри ваги зміщені на 180° відносно осі валу. Графіки миттєвих значень лінійних струмів двигунів при зустрічному розміщенні дебалансів наведено на рис. 5. Візуально не помітно різниці струмів для режимів узгодженого та протилежного розміщення дебалансів перед пуском.

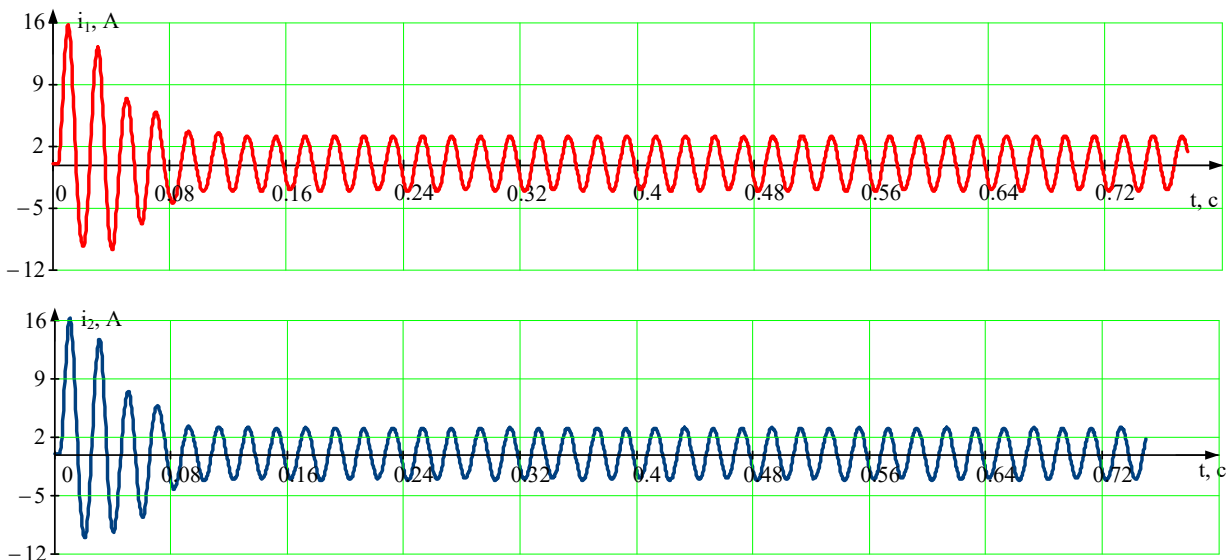


Рис. 5. Графіки миттєвих значень лінійних струмів двигунів при протилежному розміщенні дебалансів перед пуском

Це ж видно на графіках зміни діючого значення струмів двигунів в режимі протилежного запуску (рис. 6), які були розраховані як середньоквадратичні значення на періоді за методом ковзного середнього.

$$\begin{cases} I_{1i} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \sum_{m=i}^{T+i} i_{1m}^2}, \\ I_{2i} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \sum_{m=i}^{T+i} i_{2m}^2}, \end{cases} \quad (8)$$

де T – кількість точок, які відповідають періоду вимірної величини;
 i_{1m}, i_{2m} – масив значень струмів двигунів вібробудувачів.

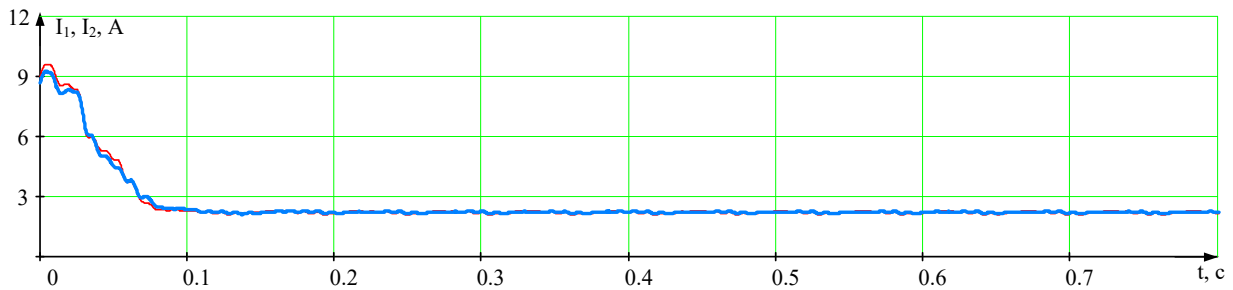


Рис. 6. Графіки зміни діючого значення струмів двигунів при протилежному розміщенні дебалансів перед пуском

Для визначення взаємовпливу вібробудувачів на навантаження двигунів в пусковому режимі знайдемо різницю миттєвих значень струму,

$$\Delta I \approx i_1 - i_2. \quad (9)$$

Графік зміни різниці миттєвих значення струмів в режимі узгодженого розміщення дебалансів перед запуском зображено на рис. 7.

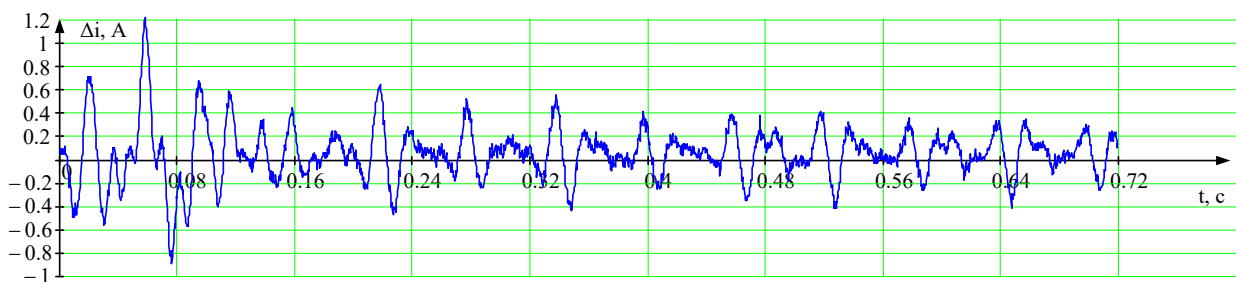


Рис. 7. Графік зміни різниці миттєвих значення струмів двигунів в режимі узгодженого розміщення дебалансів перед пуском

Аналізуючи графік різниці діючих значень струму в усталеному режимі, можна спостерігати наявність періодичності, графік якої в режимі узгодженого розміщення дебалансів перед запуском зображено на рис. 8

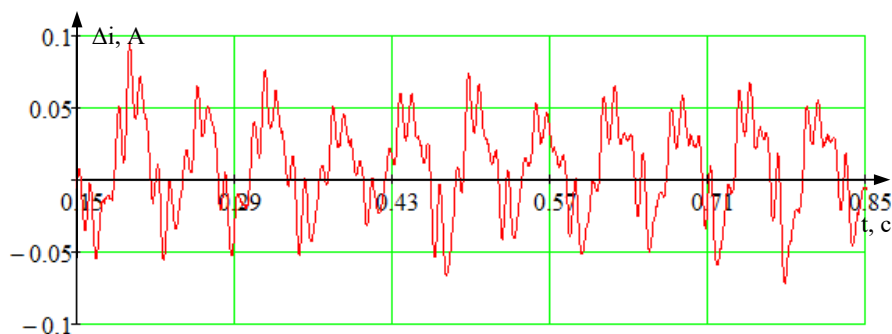


Рис. 8. Графік зміни різниці діючих значення струмів двигунів в режимі узгодженого розміщення дебалансів перед пуском

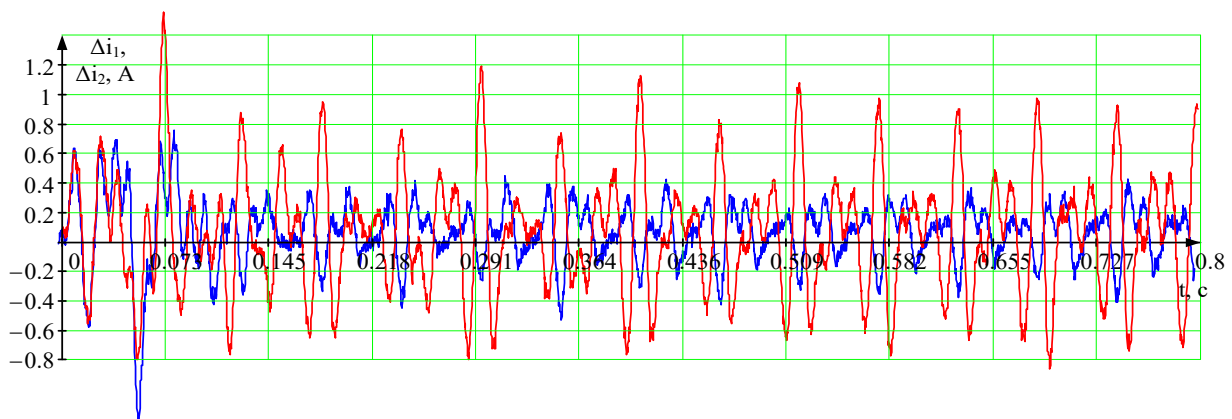


Рис. 9. Графіки зміни різниці миттєвих значення струмів двигунів в режимах пуску при узгодженому та узгодженому розміщенні дебалансів перед запуском

Співставивши графіки різниці миттєвих значень струму в режимах пуску при узгодженому та неузгодженому розміщенні дебалансів перед запуском (рис. 9), видно, що при неузгодженому розміщенні дебалансів перед пуском, коливання струму мають набагато більші значення (в 2,5 разів в усталеному режимі).

Аналогічно і при співставленні діючих значень спостерігається вплив початкового положення дебалансів на характер зміни струму (рис. 10), причому для обох випадків різниця струмів має знакозмінний характер, спричинений перерозподілом енергії обертового руху дебалансів [10].

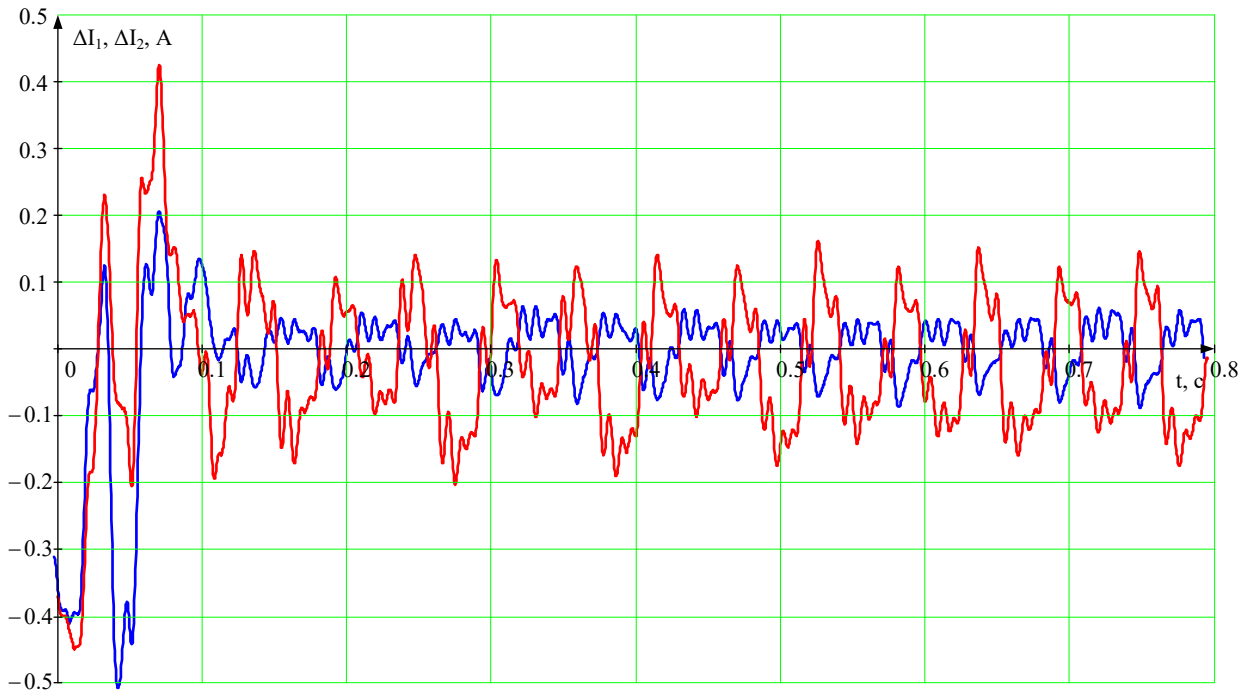


Рис. 10. Графіки зміни різниці діючих значення струмів двигунів в режимах пуску при узгодженому та неузгодженому розміщенні дебалансів перед запуском

Здійснимо частотний аналіз кривих діючого та миттєвого значень струмів, для цього застосуємо дискретне перетворення Фур'є для елементів масиву вимірених даних. В результаті опрацювання даних отримано вектор комплексних чисел, які відповідають різним частотам, елементи вектора представлені у вигляді [11]

$$C_h = \frac{1}{\sqrt{n}} \sum_{k=0}^{n-1} v_k e^{2\pi j(h/n)k}, \tag{10}$$

де v_k – вектор вимірених значень;
 n – кількість елементів в v_k ;
 j – уявна одиниця;

Для відтворення частоти що відповідає тій чи іншій складовій C_k використаємо співвідношення

$$f_k = \frac{k}{n} f_s, \tag{11}$$

де f_s – частота вимірювання (частота дискретизації).

В результаті перетворення отримано графік спектральної характеристики для різниці діючих значень струмів двигунів (рис. 11), із якої слідує, що найбільшу амплітуду мають складові з частотою 16,6 Гц, тобто ті, які змінюються із частотою швидкості обертання. Також наявна постійна складова, що зумовлена відхиленням параметрів вібробуджувачів.

В результаті перетворення Фур'є для кривої різниці миттєвих значень струмів двигунів отримано графік спектральної характеристики (рис. 12) з якого видно, що крім складової з частотою близько 50 Гц найбільш виражені частоти 33,4 Гц та 66,6 Гц; це означає, що на частоту основної гармоніки накладаються протифазні коливання з частотою близько 16,6 Гц, зумовлені обертанням дебалансів (f/p , де p – кількість пар полюсів, $p = 3$).

Тобто можна зробити висновок, що в кривих струмів двигунів при пуску дебалансного електропривода будуть присутні, крім основної гармоніки, ще й додаткові, які зумовлені нерівномірним навантаженням, що створюють дебаланси, та мають частоти кратні частоті їх обертання.

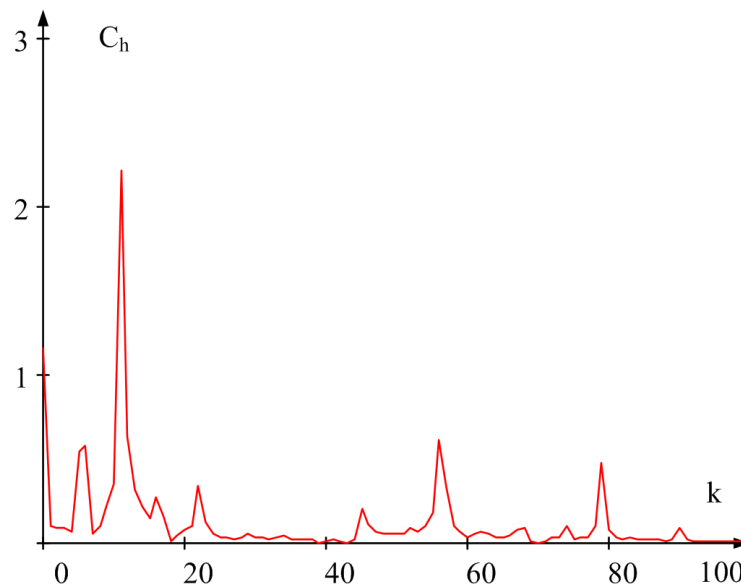


Рис. 11. Графік спектральної характеристики кривої різниці діючих значень струмів двигунів при протилежному розміщенні дебалансів перед пуском

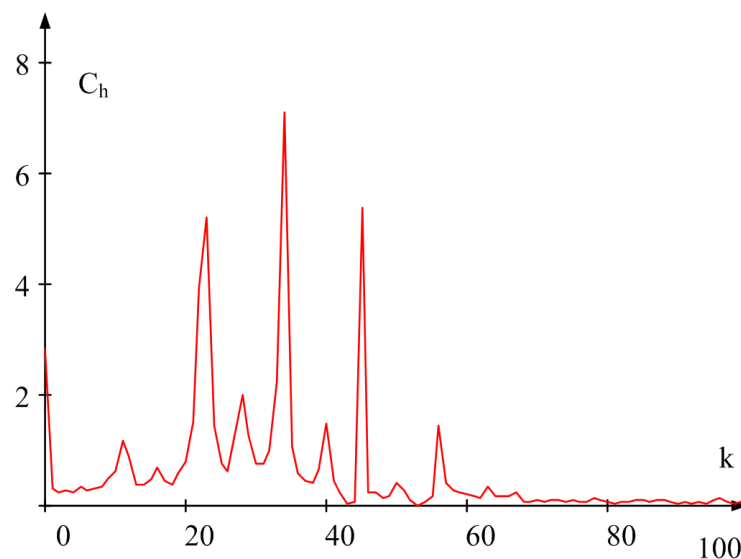


Рис. 12. Графік спектральної характеристики кривої різниці миттєвих значень струмів двигунів при протилежному розміщенні дебалансів перед пуском

Висновки та пропозиції

В пусковому режимі роботи швидкість обертання ротора асинхронного двигуна привода дебалансів змінюється нерівномірно, це призводить до нерівномірності навантаження двигунів. Експериментальні дослідження дозволяють стверджувати, що на пускові струми двигунів мають вплив не тільки параметри дебалансів, але і їх початкове положення, зокрема при протилежному початковому положенні центрів мас дебалансів пікове значення різниць струмів двигунів майже вдвічі більше ніж при їх узгодженому положенні. На основі частотного аналізу кривих різниці діючих струмів двигунів встановлено, що найбільшу амплітуду мають складові з частотою 16,6 Гц, тобто ті, які змінюються із частотою швидкості обертання приводних валів. Також наявна постійна складова, що зумовлена відхиленням параметрів вібробудувачів.

Література

1. Сухарев Э. А. Основы динамики подъемно-транспортных и дорожно-строительных машин : учебное пособие / Сухарев Э. А. – Ровно : НУВХП, 2012. 191 с.
2. Дмитриев В.Н. Переходные процессы зарезонансных вибрационных машин / В.Н. Дмитриев, Е.Н. Гаврилов // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2011. – № 4. – С. 52–55.
3. Егоров А.В. К вопросу о взаимном влиянии электроприводов в составе электротехнической системы / А.В. Егоров, А.Н. Комков, Г.Н. Малиновская // Территория «НЕФТЕГАЗ». – 2016. – № 2. – С. 106–112.

4. Michalczyk J. (2012) Angular Oscillations of Vibratory Machines of Independent Driving Systems Caused by a Non-Central Direction of the Exciting Force Operations. Arch. Min. Sci. Warszawa. Vol. 57, No. 1. P. 169–177.
5. Дмитриев В.Н. Исследование пусковых режимов асинхронного дебалансного вибродвигателя / В.Н. Дмитриев, А.А. Горбунов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2008. – № 1–2. – С. 119–122.
6. Гаврилов Е.Н. Динамические процессы зарезонансных вибрационных машин / Е.Н. Гаврилов // Вестник Казанского технологического университета. – Казань : Изд-во КНИТУ, 2013. – № 12. Т. 16. – С. 87–90.
7. Бандура В.М. Обґрунтування параметрів процесу сушіння насіння соняшнику у вібросушарці на основі інфрачервоного опромінення / В.М. Бандура, Л.В. Ярошенко // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – 2019. – Том 83. Вип. 1. – С. 110–116.
8. Берник П. С. Перехідні процеси у вібраційних технологічних машинах із дебалансним приводом / Берник П. С., Чубик Р. В. // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні : український міжвідомчий науково-технічний збірник. – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2006. – № 40. – С. 25–34.
9. E14-140 внешний модуль ацп/цап на шину usb. URL: <https://www.lcard.ru/products/external/e-140m> (дата звернення 14.04.2021).
10. Ярошевич Т.С. Порівняльний аналіз динаміки вібраційної машини з дебалансним збудником коливаль за різних характеристик двигуна / Т.С. Ярошевич // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні : укр. міжвід. наук.-техн. зб. – 2008. – № 42. – С. 43–49.
11. Панферов А.И. Применение Mathcad в инженерных расчетах : учеб. Пособие / Панферов А.И., Лопарев А.В., Пономарев В.К. – СПб : ГУАП, 2004. – 88 с.

References

1. Suharev E. A. Osnovy dinamiki podemno-transportnyh idorozhno-stroitelnyh mashin : uchebnoe posobie / Suharev E. A. – Rovno : NUVHP, 2012. 191 s.
2. Dmitriev V.N. Perehodnye processy zarezonansnyh vibracionnyh mashin / V.N. Dmitriev, E.N. Gavrilov // Elektrotehnicheskie komplekisy i sistemy upravleniya. – 2011. – № 4. – С. 52–55.
3. Egorov A.V. K voprosu o vzaimnom vliyaniі elektroprivodov v sostave elektrotehnicheskoy sistemy / A.V. Egorov, A.N. Komkov, G.N. Malinovskaya // Territoriya «NEFTEGAZ». – 2016. – № 2. – С. 106–112.
4. Michalczyk J. (2012) Angular Oscillations of Vibratory Machines of Independent Driving Systems Caused by a Non-Central Direction of the Exciting Force Operations. Arch. Min. Sci. Warszawa. Vol. 57, No. 1. P. 169–177.
5. Dmitriev V.N. Issledovanie puskovyh rezhimov asinhronnogo debalansnogo vibrodvigatelya / V.N. Dmitriev, A.A. Gorbunov // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Problemy energetiki. – 2008. – № 1–2. – С. 119–122.
6. Gavrilov E.N. Dinamicheskie processy zarezonansnyh vibracionnyh mashin / E.N. Gavrilov // Vest-nik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta. – Kazan : Izd-vo KNITU, 2013. – № 12. Т. 16. – С. 87–90.
7. Bandura V.M. Obgruntuvannia parametriv protsesu sushinnia nasinnia soniashnyku u vibrosushartsі na osnovi infrachervonoho oprominennia / V.M. Bandura, L.V. Yaroshenko // Naukovi pratsi Odeskoi natsionalnoi akademii kharchovykh tekhnolohii. – 2019. – Том 83. Вип. 1. – С. 110–116.
8. Bemyk P. S. Perekhidni protsesy u vibratsiinykh tekhnolohichnykh mashynakh iz debalansnym pryvodom / Ber-nyk P. S., Chubyk R. V. // Avtomatyzatsiia vyrobnychykh protsesiv u mashynobuduvanni ta prylobuduvanni : ukrainskyi mizhvidomchyi naukovy-tekhnichnyi zbirnyk. – Lviv : Vydavnytstvo Natsionalnoho universyte-tu “Lvivska politekhnika”, 2006. – № 40. – С. 25–34.
9. E14-140 vneshnij modul acp/cap na shinu usb. URL: <https://www.lcard.ru/products/external/e-140m> (data zvernennya 14.04.2021).
10. Iaroshevych T.S. Porivnialnyi analiz dynamiky vibratsiinoi mashyny z debalansnym zbudnykom kolyvan za riznykh kharakterystyk dvyhuna / T.S. Yaroshevych // Avtomatyzatsiia vyrobnychykh protsesiv u mashynobuduvanni ta prylobuduvanni : ukr. mizhvid. nauk.-tekhn. zb. – 2008. – № 42. – С. 43–49.
11. Panferov A.I. Primenenie Mathcad v inzhenernykh raschetah : ucheb. Pособie / Panferov A.I., Loparev A.V., Ponomarev V.K. – Spb : GUAP, 2004. – 88 s.

Рецензія/Peer review : 24.09.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.10.2021 р.

ХАРЛАМОВ Ю. О.

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

ORCID ID: 0000-0002-9136-8171

e-mail: yuriy.kharlamov@gmail.com

ПОЛОНСЬКИЙ Л. Г.

Державний університет «Житомирська політехніка»

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4347-9088>

e-mail: pol@ztu.edu.ua

БАЛИЦЬКА Н. О.

Державний університет «Житомирська політехніка»

ORCID ID: 0000-0003-1363-8110

e-mail: balytskanatalia@gmail.com

МЕЛЬНИК О. Л.

Державний університет «Житомирська політехніка»

ORCID ID: 0000-0002-7081-7513

e-mail: o.l.melnyk@ztu.edu.ua

НОЧВАЙ В. М.

Державний університет «Житомирська політехніка»

ORCID ID: 0000-0003-3742-0837

e-mail: nochvajvm@ztu.edu.ua

КЛАСИФІКАЦІЯ З'ЄДНАНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ЗА УМОВАМИ ЗНОШУВАННЯ

Процеси тертя і зношування в значній мірі залежать від конструктивного оформлення деталей вузлів тертя, обраних конструкційних матеріалів, технологій зміцнення, силових, кінематичних і температурних характеристик в контакті, а також від експлуатаційних умов. Запропоновано систему класифікації з'єднань деталей, що труться, яка включає 16 груп з'єднань, що відрізняються геометрією деталей, умовами їх контакту, відносного руху і зношування.

Ключові слова: з'єднання деталей, поверхня тертя, знос, умови зношування.

KHARLAMOV YURIY OL.

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University

POLONSKY LEONID G., BALYTSKA NATALIYA OL., MELNYK OLEKSANDR L., NOCHVAI VOLODYMYR M.

Zhytomyr Polytechnic State University

CLASSIFICATION OF CONNECTIONS MACHINE PARTS BY WEAR CONDITIONS

The main reasons for the failure of machine parts are both breakdowns and wear. Parts that have failed are very diverse and are reclassified according to various characteristics: functional purpose, materials, workpieces types, weight and size, geometric features and other wear conditions. Machine parts are subject to various wear types (mechanical, thermomechanical, fatigue, corrosion, erosion, etc.). Wearing effects cause the formation of defects, and the operating conditions determine the various dominant wear types, which are typical of certain parts: changes in the surfaces size and shape; the appearance of scratches, burrs on the conjugate surfaces; the appearance of cracks, wear, crumple and chipping of work surfaces; wear and destruction of the thread, etc. The creation of effective friction units is associated with the provision of rational conditions for wear of the connected friction parts surfaces, taking into account a large number of different factors. These factors determine the choice of the parts materials to be joined; design of friction units; ensuring the rational loading of the friction pairs elements; appropriate protection of friction surfaces from the environment and other undesirable effects; ensuring a rational thermal regime by optimizing heat dissipation; geometric optimization of friction pairs, etc. All this led to a huge variety of friction units' designs, tribotechnical materials, means of their control, etc. Therefore, the topical issue is the systematization and generalization of theory and practice based on the classification of wear conditions of machine parts connections. In the known works systematization of production experience results and scientific researches on details wear is carried out on worn types out details and physical mechanisms of wear. This does not take into account the uneven parts wear and their surfaces due to uneven specific pressures distribution and relative sliding speeds, differences in lubrication conditions, different supply intensity to the friction zone of abrasives and aggressive substances, wear particles removal and other conditions in contact. A system for classifying friction joints is proposed, which includes 16 groups of connections that differ in the parts geometry, their contact conditions, relative motion and wear. The proposed classification of friction connections according to the wear conditions provides the possibility of a systematic approach to generalize the experience of creating effective friction units stimulates research and development of more rational friction units' designs, expands the transfer of innovative designs and technologies. It is also possible to exchange experience in the creation and application of perspective parts designs, friction units, ways to strengthen and restore them, taking into account similar wear conditions between different branches of mechanical engineering.

Keywords: connection of details, friction surface, wear, wear conditions.

Постановка проблеми

Основними причинами виходу з ладу деталей машин є як їх поломки, так і знос. Деталі, які відмовили, відрізняються великою різноманітністю і класифікуються за різними ознаками: за функціональним призначенням, матеріалами, видами використовуваних заготовок, масою і розмірами, геометричними ознаками та іншими умовами зношування. Номенклатура таких деталей дуже широка та охоплює як типові, так і оригінальні конструкції. Деталі в процесі експлуатації піддаються різним видам зношування (механічному, термомеханічному, втомному, корозійному, ерозійному та ін.). Зношувальні впливи викликають утворення дефектів, при цьому умови експлуатації визначають різні домінуючі види зношування, типові для тих чи інших деталей: зміну розмірів і форми поверхонь; появу подряпин, ризик і

задирів на спряжених поверхнях; появу тріщин; знос, змінання і викришування робочих поверхонь; знос і руйнування нарізі тощо [1].

Створення ефективних вузлів тертя пов'язане із забезпеченням раціональних умов зношування спряжених поверхонь тертя деталей з урахуванням великої кількості різноманітних факторів. Ці фактори обумовлюють вибір матеріалів з'єднаних деталей; конструктивне оформлення вузлів тертя; забезпечення раціонального навантаження елементів пар тертя; відповідний захист поверхонь тертя від дії навколишнього середовища та інших небажаних впливів; забезпечення раціонального теплового режиму за рахунок оптимізації тепловиділення і відведення тепла; геометричну оптимізацію пар тертя тощо. Все це зумовило величезне різноманіття конструкцій вузлів тертя, триботехнічних матеріалів, засобів їх контролю та ін. Тому актуальним є систематизація та узагальнення теорії і практики на основі класифікації умов зношування з'єднань деталей машин.

Аналіз останніх досліджень

При проектуванні нових і вдосконаленні існуючих конструкцій машин оцінка їх довговічності за зносом знаходить обмежене застосування. Методи фізичного і математичного моделювання процесів зношування розроблені, головним чином, для обмеженого ряду типових деталей та вузлів тертя. Більш широко застосовують експериментальне моделювання тертя і зношування. Тому удосконалення вузлів тертя вимагає великих витрат і проведення багатоступеневих НДДКР.

В останні роки велика увага приділяється створенню науково-методичних баз даних технологічного забезпечення експлуатаційних властивостей відновлюваних деталей [2]. У відомих роботах систематизація результатів виробничого досвіду і наукових досліджень по зношуванню деталей обладнання виконується за типами зношених деталей і фізичним механізмом зношування. При цьому не враховується нерівномірність зношування деталей і їх поверхонь внаслідок нерівномірного розподілу питомих тисків і швидкостей відносного ковзання, відмінності умов змащування, різної інтенсивності надходження в зону тертя абразивів і агресивного середовища, організації видалення частинок зношування та інших умов контакту деталей. Це надмірно ускладнює створення і вдосконалення баз даних та їх практичне використання при технологічній підготовці відновлення деталей, впровадження нових ефективних технологій їх відновлення і зміцнення.

Процеси тертя і зношування значною мірою залежать від конструктивного оформлення вузлів і деталей, обраних конструкційних матеріалів і технології зміцнення, а також від експлуатаційних умов.

Знос деталей і їх з'єднань є геометричним критерієм втрати їх початкових показників і вихідним параметром, що впливає на надійність машин і механізмів. Актуальним напрямом розвитку технології ремонтного виробництва є створення інформаційних моделей, що сприяють розробці раціональних технологічних процесів відновлення деталей і забезпечення експлуатаційної технологічності конструкцій з урахуванням умов їх експлуатації, характеру відмов і закономірностей зносу. Трибологія як наука про тертя і зношування вивчає процеси, що протікають на локальних ділянках поверхонь на мікрорівні. На цьому рівні здійснюється моделювання трибологічних явищ для виявлення фізичних механізмів зношування для обмежених поєднань пар матеріалів і умов тертя [3]. Широке застосування знаходять стендові та експлуатаційні моделі деталей і вузлів тертя, а також розвиваються методи математичного моделювання. Проте в даний час відсутні достатньо надійні моделі навіть для розрахунку на знос типових деталей машин. Моделі процесів тертя і зношування відносяться до складних неоднорідних [4], що вимагає застосування методів, заснованих на врахуванні явищ механіки, хімії, теплофізики, матеріалознавства, фізики і хімії поверхні твердого тіла та інших наукових дисциплін. Крім врахування при моделюванні режимів роботи пар тертя, фізико-механічних властивостей матеріалів, конструктивних особливостей вузлів і деталей, та інших факторів, важливу роль відіграє мікро- і макрогеометрія поверхонь контакту. Для розвитку і вдосконалення методів розрахунку та оцінки зносу всіх основних видів деталей, що зношуються, необхідна систематизація основних видів вузлів і деталей. Відома класифікація типових з'єднань деталей машин з фіксованим напрямком відносного зближення і з самовстановлюваними при зношуванні деталями [3], проте вона не враховує всіх можливих з'єднань деталей.

Проектування оптимальних й вдосконалення існуючих конструкцій зношуваних деталей і вузлів, регламентування режимів їх експлуатації, прогнозування ресурсу і технічного стану в часі неможливе без проведення відповідних розрахунків. Різноманіття конструкцій і умов їх експлуатації вимагає класифікації деталей і вузлів тертя на типові групи і створення відповідних типових моделей розрахунку на знос.

Мета роботи – розробка системи класифікації з'єднань деталей машин за умовами зношування як основи для подальшої систематизації та узагальнення досвіду розробки і експлуатації вузлів тертя.

Виклад основного матеріалу

З'єднання поверхнево зміцнюваних і відновлюваних деталей за умовами зношування їх контактуючих поверхонь можна розділити на 16 груп (табл. 1). Кожна група може бути розділена на підгрупи за наявністю проміжних речовин в контактні взаємодіючих деталей:

- 1 – без проміжних речовин;
- 2 – твердий мастильний матеріал;
- 3 – рідкий або пластичний мастильний матеріал;
- 4 – абразивомістке середовище;
- 5 – агресивне середовище;

б – спеціальні з'єднання, що працюють в умовах тертя у вакуумі, високих і низьких температур та ін.

Можлива також одночасна присутність в зоні контакту різних проміжних речовин. Особливу проблему являє забезпечення працездатності вузлів сухого тертя, що працюють без рідкого і пластичного мастила. Це зумовило створення твердих змащувальних і самозмащувальних матеріалів та покриттів. Для підвищення довговічності змащувальні покриття наносять на деталь, що має менший шлях тертя ковзання. Можливе створення конструкцій з безперервно поновлюваними покриттями із ротапринтним способом подачі твердого мастила.

Основними показниками якості поверхонь тертя є: макровідхилення розмірів і форми (відхилення від площинності, циліндричності та ін.); хвилястість; шорсткість; залишкові напруги; структура основного матеріалу деталі; структура поверхневого шару; текстура мікрорельєфу поверхні (напрямок слідів обробки, наявність спеціального маслоутримуючого рельєфу та ін.) [5]. Вихідні показники якості поверхні в процесі тертя змінюються [6]. Виняток становлять залишкові напруги і структура основного матеріалу, які можуть зберігатися до повного руйнування поверхонь тертя деталей. У більшості випадків вже в період припрацювання істотно змінюються шорсткість і структура поверхневого рельєфу. Хвилястість і структура поверхневих шарів деталі змінюються при сталому зношуванні, а геометрична форма поверхні тертя залишається в межах допустимих значень, прийнятих при виготовленні, практично до кінця служби вузла тертя, якщо оцінка його працездатності проводиться за параметрами точності. Схема змін вихідних показників якості поверхні тертя в процесі експлуатації вузла тертя представлена на рис. 1. Тут в якості вихідного параметра розглядається розмір поверхні тертя. Однак на практиці зустрічаються випадки, коли визначальну роль в забезпеченні працездатного стану поверхні тертя відіграють параметри шорсткості, текстури мікрорельєфу, форми зношеної поверхні тощо.

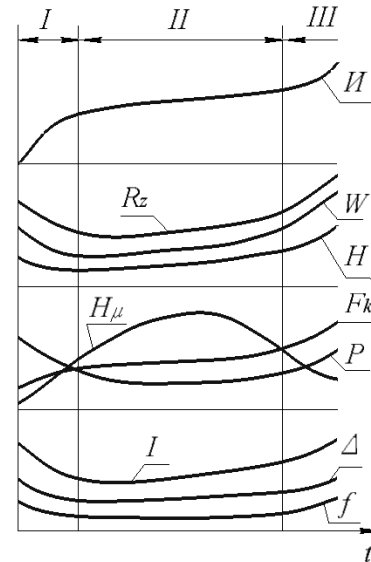


Рис. 1. Схема зміни початкових показників якості поверхні та вихідних параметрів триботехнічної системи (ТС) в процесі тертя в межах допустимих відхилень (I – ділянка припрацювання; II – ділянка нормального зношування; III – ділянка форсованого зношування); H – знос; H – точність розмірів і форми; W – хвилястість; R_z – шорсткість; F_k – фактична площа контакту; p – фактичний тиск; H_μ – мікротвердість; Δ – комплексний показник шорсткості; f – коефіцієнт тертя; I – інтенсивність зношування

Таблиця 1

Класифікація з'єднань деталей машин за умовами зношування

Група	Умови зношування	Приклади з'єднань деталей
1	2	3
1	Обертання з контактуванням 2-х деталей і проковзуванням (в контакт) в умовах дотику. Коефіцієнт взаємного перекриття $K_{вз}=1$. Однакові умови зношування для кожного з тіл.	Конічні гальма, фрикційні муфти, торцеві ущільнення, осьові підшипники ковзання, шестерінчасті насоси (торцеві поверхні шестерень і бічні стінки корпусу насоса), осьові з'єднання робочих коліс лопатевих насосів, плоскі підп'ятники
2	Обертання з контактуванням 2-х деталей і проковзуванням (в контакт) в умовах самовстановлення. $K_{вз}=1$. Однакові умови зношування для кожного з тіл	Диски фрикційних муфт, пробкові крани, сферичні підп'ятники, кульові крани, конусні крани
3	Обертальний, поступальний або складний рух з контактуванням 2-х деталей і проковзуванням (в контакт) в умовах дотику. $K_{вз}<1$. Постійні умови зношування для всіх точок, що лежать на даній траєкторії, для одного тіла	Ходові гвинти-гайки, колодкові гальма з жорстким закріпленням колодки, шестерінчасті насоси (контакт головок зубів і корпусу насоса), контакт заготовок з інструментом при дорнуванні, штовхачі в напрямних втулках тощо
4	Обертальний, поступальний або складний рух з контактуванням 2-х деталей і проковзуванням (в контакт) в умовах само встановлення. $K_{вз}<1$. Постійні умови зношування для всіх точок одного тіла, що лежать на даній траєкторії	Вали-підшипники ковзання; осьові опори ковзання з самовстановлюваними несучими поверхнями (колодками); колодкові гальма з самовстановленням колодок; кругові напрямні ковзання при ексцентричному навантаженні; відцентрові колодкові муфти; гальмівні диски; дискові гальма, циліндричні шарніри та ін.

Продовження табл. 1

1	2	3
5	Поступальний або зворотно-поступальний рух в нижчих кінематичних парах. Умови зношування не зберігаються постійними для всіх точок обох тіл. Умови дотику. $K_{ВЗ} \ll 1$	Штоки, плунжери, циліндричні поступальні напрямні ковзання, золотникові пари в гідророзподільниках, лінійні підшипники ковзання
6	Поступальний або зворотно-поступальний рух в нижчих кінематичних парах. Умови зношування не зберігаються постійними для всіх точок обох тіл. Умови самоустановки. $K_{ВЗ} \ll 1$	Поступальні напрямні ковзання з плоскими початковими поверхнями, куліси-камені, пластини-корпуси і пластини-ротори в пластинчастих насосах і гідромоторах, пази напівмуфт і виступи проміжного диска хрестових муфт, пружинно-кулачкові запобіжні муфти
7	Обертальний, поступальний або зворотно-поступальний рух у вищих кінематичних парах. Умови зношування не зберігаються постійними для всіх точок обох тіл. Умови дотику, $K_{ВЗ} \ll 1$	Зубчасті зачеплення, кулачки-штовхачі, шестерінчасті насоси (зуби шестерень)
8	Обертальний, поступальний або зворотно-поступальний рух у вищих кінематичних парах. Умови зношування не зберігаються постійними для всіх точок обох тіл. Умови самовстановлення, $K_{ВЗ} \ll 1$	Колеса-рейки, підшипники і напрямні кочення, обгінні фрикційні роликові муфти, фрикційні катки, кулькові гвинтові механізми
9	Обертальний рух в умовах контакту зі всебічним стисненням. Умови дотику або самовстановлення	Сальникові ущільнення з м'якою набивкою, манжетні ущільнення, еластичні втулки, кільця і пробки, сальникові ланцюги
10	Зворотно-поступальний рух в умовах контакту зі всебічним стисненням. Умови дотику або самовстановлення	Сальникові ущільнення з м'якою набивкою валів, манжетні ущільнення, еластичні втулки, кільця і пробки, поршневі кільця та гільзи циліндра, плунжери з ущільненнями, герметизатори устя штангового свердловинного насоса
11	Рухомі з'єднання деталей, що контактують через тверде середовище	Штампи холодної листової витяжки, гнуття, пресування труб, ротаційної витяжки листового металу, тонко-листової прокатки
12	З'єднання деталей з гарантованим натягом (пошкодження внаслідок фретинг-корозії). Нерухомі роз'ємні з'єднання. Малорухомі з'єднання деталей	Посадки підшипників на вал або в корпус; з'єднання бронзового вінця черв'ячного колеса зі сталевією маточиною; поршневі пальці; з'єднання поверхонь валів з маточинами лопаток турбін, бандажів залізничних коліс; імперелерів з валом в хімічному реакторі; клинові, заклепочні, шпифтові та ін. з'єднання; шліцьові, шпонкові з'єднання; плаваючі опори
13	Деталі, що працюють в умовах ударного зношування	Робочі органи шоккових, валкових і конусних дробарок, кульові млини, породоруйнуючі інструменти, штампові інструменти при холодній деформації
14	Електричні контакти (розривні, ковзаючі й нерухомі). Одночасна дія механічних, теплових і електричних чинників призводить до істотної зміни властивостей контактуючих матеріалів та їх фрикційно-зносостійких характеристик	Ковзаючі струмознімальні пристрої, контакти електричних машин (електрощітки, кільця та ін.); роз'ємні контакти, електроди машин контактного зварювання, формотворчі інструменти-електроди.
15	Поверхні контакту деталей, одна з яких – еластичний матеріал	Ремінні і фрикційні передачі, запірні пристрої, полімерні і металополімерні опори ковзання
16	Запірні і регулюючі пристрої, що працюють в режимі замикання і розмикання та призначені для перекриття потоків середовища	Крани (кульові і конусні), у яких запірний або регулюючий елемент, що має форму тіла обертання або його частини, повертається навколо власної осі, довільно розташованої по відношенню до напрямку потоку робочого середовища. Клапани (вентилі), у яких запірні елементи (тарілчасті, золотникові або конічні) переміщуються паралельно осі потоку робочого середовища. Засувки, у яких запірний або регулюючий елемент переміщується перпендикулярно осі потоку робочого середовища. Клинові засувки з дводисковим або пружним клином. Дискові затвори, у яких запірний або регулюючий елемент має форму диска, що повертається навколо осі, перпендикулярної або розташованої під кутом до напрямку потоку робочого середовища

Приклади типових деталей машин з різними умовами зношування наведені в таблиці 1.

Для з'єднань 1- і 2-ї груп характерні однакові умови зношування для точок поверхонь, розташованих на одній траєкторії. Інтенсивність, тривалість зношування та знос на окружності певного радіуса кожної з поверхонь будуть однаковими. Однак при наявності додаткових факторів, пов'язаних з конструктивними особливостями (організація тепловідводу подачі мастила, видалення частинок зносу із зони тертя та ін.), режимами експлуатації, зовнішніми впливами тощо, умови зношування можуть змінюватися і це потребує класифікації за ознаками нижніх рівнів. Методи інженерії поверхні дозволяють створювати на поверхнях тертя зміцнені шари зі змінними властивостями і товщиною [7]. Тому цілком доцільне створення методів розрахунку не на знос, а рекомендацій, що сприяють конструюванню деталей і вибору технологій зміцнення поверхонь для більш рівномірного зносу поверхонь тертя.

До групи 1 можуть бути віднесені: осьові підшипники ковзання; шестерінчасті насоси (торцеві поверхні шестерень і бічні стінки корпусу насоса); конічні гальма і фрикційні муфти; торцеві ущільнення та ін.

Прикладом з'єднань групи 2 є: запірні прецизійні пояски деталей запірної арматури; кульові крани; диски фрикційних муфт; торцеві ущільнення; конусні крани та ін.

На рис. 2, а показана схема зміни зносу I за радіусом кругової площі контакту з'єднаних деталей групи 1. Конструкція таких вузлів забезпечує зближення деталей при зносі по осі обертання і сумарна величина зносу деталей 1 та 2 однакова при будь-яких значеннях радіуса $I = I_1 + I_2$. Однак через відмінності зносостійкості матеріалів з'єднуваних деталей, умов тепловідведення та ін. значення $I_1 \neq I_2$. Підбором більш раціонального варіанту поєднання матеріалів і технологій зміцнення деталей можна зменшити величину зносу окремих деталей I_1 та I_2 , а також сумарний знос I (криві $1'$ і $2'$). Вкрай нерівномірний розподіл зносу за круговими траєкторіями контакту можливий у деталей групи 2, а також при наявності великих зазорів в додаткових напрямних з'єднань групи 1.

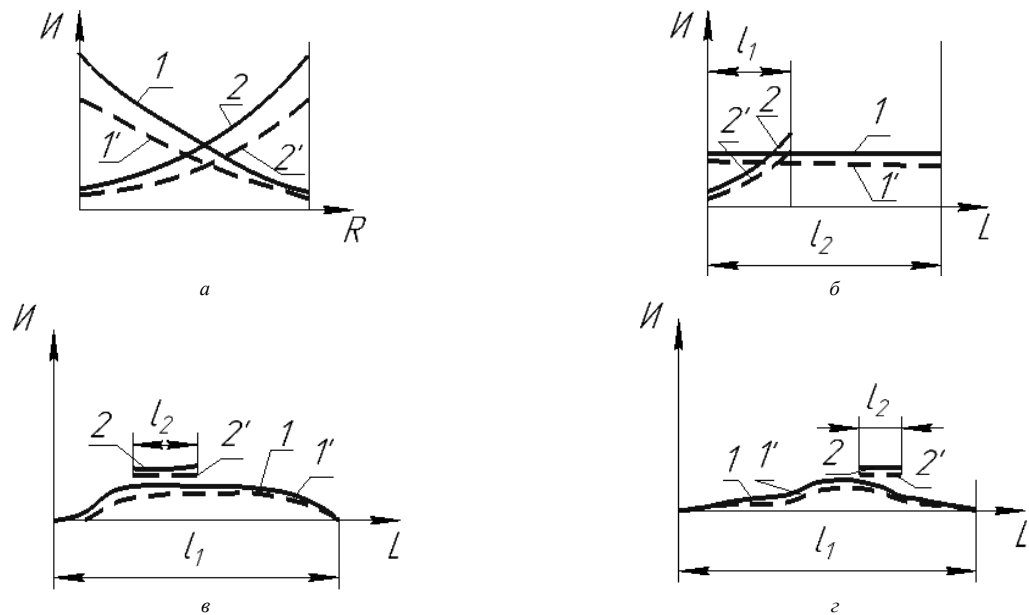


Рис. 2. Схема розподілу зносів поверхонь тертя для з'єднаних деталей:
а) групи 1; б) групи 3; в) групи 4; г) групи 5

У з'єднань 3- і 4-ї груп умови зношування зберігаються тільки для однієї деталі. До з'єднань типу 3 можна віднести: колодкові гальма з жорстким закріпленням колодки; ходові гвинти-гайки; шестерінчасті насоси (контакт головок зубів і корпусу насоса) та ін. Рівномірний знос проявляється у одній із з'єднаних деталей, а для іншої він нерівномірний або навіть має локальний характер. Прикладами з'єднань типу 4 є: вали-підшипники ковзання; осьові опори ковзання з самовстановлюваними несучими поверхнями (колодками); колодкові гальма з самовстановленням колодок; кругові напрямні ковзання при ексцентричному навантаженні; відцентрові колодкові муфти; гальмівні диски; дискові гальма тощо. На рис. 2, б показана схема зміни зносу вздовж поверхонь контакту деталей групи 3. Знос рівномірний уздовж поверхні контакту тільки у деталі 1. Більш оптимальний вибір матеріалів і технологій зміцнення дозволяє знизити знос деталей (криві $1'$ і $2'$).

Змінні умови зношування для всіх точок контакту обох деталей характерні для з'єднань деталей з нижчими кінематичними парами (5-та група). Інтенсивність зношування на поверхнях тертя розподілена нерівномірно. До з'єднань групи 5 відносяться: золотникові пари в гідророзподільниках; поршневі кільця-гільзи циліндра; лінійні підшипники ковзання та ін. Прикладами з'єднань 6-ї групи є: пластинчасті насоси; поступальні напрямні ковзання; куліси-камені; пластини-корпуси і пластини-ротори в пластинчастих насосах і гідромоторах; пази напівмуфт і виступи проміжного диска хрестових муфт; пружинно-кулачкові запобіжні муфти та ін.

На рис. 2, з показана схема зміни зносу поверхонь контакту деталей групи 5 у напрямку відносного руху. Найбільш нерівномірний знос спостерігається у більш протяжній поверхні контакту у деталі 1. Нерівномірність зносу менше у спряженій деталі 2. У групі 6 нерівномірність зносу таких деталей різко збільшується. Підбором більш раціонального поєднання матеріалів і технологій зміцнення можна домогтися підвищення зносостійкості деталей цієї групи.

З'єднання деталей 7- і 8-ї груп (на відміну від 5- і 6-ї) є вищими кінематичними парами, в яких ідеальний контакт поверхонь тертя має місце при дотику по лінії або в точці. В цьому випадку також має місце висока ймовірність нерівномірного зносу поверхонь. Прикладами з'єднань групи 7 є: зубчасті зачеплення; кулачки-штовхачі; шестерінчасті насоси (зуби шестерень) та ін. До з'єднань групи 8 відносяться: колеса-рейки; підшипники і напрямні кочення; обгінні фрикційні роликові муфти; фрикційні катки; кулькові гвинти та ін.

З'єднання 9- і 10-ї груп відносяться до контактних ущільнень обертових деталей і штоків, плунжерів та інших деталей з поступальним або поступально-обертальним рухом. Їх дія ґрунтується на їх безпосередньому контакті з ущільнюваними поверхнями.

9-та група відповідає відносному обертальному руху деталей, що сполучаються в умовах контакту з всебічним радіальним підтисканням як в умовах дотику, так і самовстановлення. Для з'єднань 9-ї групи характерні однакові умови зношування для точок поверхонь, розташованих на одній траєкторії. Інтенсивність і тривалість зношування, а також знос на окружностях кожної з поверхонь будуть однаковими. До них відносяться сальникові ущільнювачі з м'якою набивкою, манжетні ущільнювачі, гумові кільця типу «О», фетрові кільця, еластичні втулки, кільця і пробки, жорсткі кільця [3]. Для більшості цих ущільнювачів щільність їх прилягання до ущільнюваної поверхні забезпечується за рахунок пружності матеріалу ущільнювача, а жорсткі кільця зазвичай вимагають додаткового притискання. Гумові кільця можуть бути використані при повільному обертанні. Найбільшого поширення для ущільнення валів отримали манжети. Манжета складається із сталевого каркасного кільця, що надає їй необхідну радіальну жорсткість і дозволяє щільно встановлювати манжету в корпус, та ущільнюючого коміра, що притискається до валу кільцевою пружиною. Перевага ущільнень з жорсткими кільцями – велика довговічність завдяки компенсації зносу розтисканням або переміщенням сегментів кільця. Кільця зазвичай складаються з сегментів, що стискаються кільцевою пружиною. Деталі жорстких ущільнювачів можуть бути виготовлені з матеріалів, що застосовуються для виготовлення підшипників ковзання.

Для правильної роботи контактного ущільнення необхідна відповідна підготовка вала. Низька шорсткість поверхні ($Ra = 0,04...0,16$ мкм) не сприяє утриманню змащувальної речовини в нерівностях і ускладнює створення мікроеластогідродинамічної плівки, а висока шорсткість поверхні ($Ra > 1,25$ мкм) викликає збільшення зносу та коефіцієнта тертя. У зв'язку з цим існує деяка оптимальна шорсткість ($Ra = 0,16...0,63$ мкм). Іншим важливим для довговічності та ефективності ущільнення фактором є радіальне биття ущільнюваної поверхні. Для піддатливих манжетних ущільнень воно не повинно перевищувати 25 мкм. Неспіввісність установки манжети щодо вала не повинна перевищувати 0,25 мкм.

Сальникові ущільнення з м'яким набиванням широко застосовуються в якості ущільнювальних вузлів [8]. Твердість матеріалу ущільнюючого елемента (набивання) значно менша, ніж твердість контртіла. Як набивання застосовують або дискретні матеріали (порошки, гранули) або волокна. Протікання однакові як при обертанні деталей, так і при їх нерухомому стані. Ресурс роботи сальникового ущільнення залежить від багатьох факторів: чистоти обробки поверхні рухомої ущільнюваної деталі і точності виконання її циліндричної форми (відсутність овальності вала і конусності штока); матеріалу набивки; значення її коефіцієнта бокового тиску; швидкості руху ущільнюваної деталі; висоти набивання та інших умов. Наявність на поверхні рухомої ущільнюваної деталі рисок, подряпин та інших недоліків є причиною підвищеного зносу. Поверхні ущільнюваних деталей повинні бути оброблені з шорсткістю Ra не більше 0,2...0,4 мкм. Зношування набивання може бути втомним і абразивним. Втомний знос обумовлений дискретністю контакту волокон сальникової набивки з ущільнюваною деталлю. При зовнішньому терті відбувається багаторазове деформування волокон набивання, яке призводить до руйнування і відділення окремих волокон матеріалу. Ступінь і частота деформування залежать від мікрогеометрії поверхні, яка треться, швидкості руху, питомого навантаження і температури.

10-та група з'єднань відноситься до зворотного-поступального руху деталей в умовах контакту зі всебічним стисненням, в умовах дотику або самовстановлення. Тут умови зношування зберігаються тільки для однієї деталі. До цієї групи з'єднань відносяться сальникові ущільнення з м'якою набивкою для штоків та ін., манжетні ущільнення, еластичні втулки, кільця і пробки, поршневі кільця-гільзи циліндра, плунжери з ущільненнями, золотникові клапани свердловинних штангових насосних установок тощо. При використанні кривошипно-шатунного механізму при обертанні кривошипа шток рухається зі змінною швидкістю: від нуля в крайніх (мертвих) положеннях до максимального значення V_{max} при положенні кривошипа під кутом, близьким до 90° . При розрахунку потужності, що втрачається на тертя в сальниковому набиванні, приймають середню швидкість руху штока $V_{cp} = 0,5V_{max}$. Потужність, що втрачається на тертя штока об сальникове набивання:

$$N = q_z K_r L \pi d_0 f V_{cp}, \quad (1)$$

де q_z – питоме навантаження за поточним значенням по осі z ; K_r – коефіцієнт бокового тиску набивання; L – загальна (сумарна) довжина (висота) набивання; d_0 – початковий внутрішній діаметр; f – коефіцієнт тертя.

Шток рухається зворотно-поступально, тому при такому русі шар набивання, що контактує зі штоком, працює на втому. Протікання ущільнюючого середовища змінне і його величина залежить від напрямку руху штока: при русі в сторону натискної втулки (при зовнішньому її розміщенні) величина протікання буде більшою, ніж при русі в зворотному напрямку.

Шпинделі арматури мають і прямолінійний зворотно-поступальний, і обертальний, змінний за напрямком руху. Якщо переміщення шпинделя забезпечується обертанням аксіально нерухомої гайки, то шпиндель переміщується прямолінійно вгору або вниз залежно від напрямку обертання гайки. Якщо шпиндель обертається в нерухомій гайці, то його ущільнювана поверхня має складний рух: вертикальний прямолінійний і обертальний.

До 11-ї групи включені рухомі з'єднання деталей, що контактують через тверде середовище. Як приклади можна привести взаємодію інструментів з оброблюваними матеріалами при прокатці, штампуванні, притиранні (притир – абразивне середовище – деталь); конусні дробарки; цоккові дробарки; валкові дробарки тощо. Поверхні тертя також зношуються нерівномірно, навіть у елементів трибологічних систем, що працюють в парі.

У 12-ту групу входять з'єднання деталей з гарантованим натягом, нерухомі роз'ємні з'єднання і малорухомі з'єднання деталей, поверхні яких піддаються фретинг-корозії. Таке зношування відбувається при малих взаємноколивальних рухах в межах пружних деформацій мікронерівностей поверхонь контакту. Як приклади таких з'єднань можна привести: посадки підшипників на вал або в корпус; з'єднання бронзового вінця черв'ячного колеса зі сталевією маточиною; поршневі пальці; з'єднання поверхонь валів з маточинами лопаток турбін, компресорів бандажів залізничних коліс; імперерів з валами в хімічних реакторах і т.д.; клинові, заклепочні, штифтові та ін. з'єднання тощо.

До 13-ї групи віднесені деталі, що працюють в умовах ударного зношування при періодичному зіткненні. Вивчення зношування при ударі як самостійного виду розпочато порівняно недавно [9]. Проблема підвищення зносостійкості обладнання і робочих органів, що працюють в умовах удару? існує в різних галузях промисловості:

– нафтова і гірська (роторне, турбінне, ударне, ударно-обертальне і ударно-канатне буріння шпурів свердловин, забивання і витягання обсадних труби анкерного кріплення, ударний і віброударний спосіб подрібнення порід і корисних копалин, очищення транспортних засобів, збагачення руд, вібронавантаження тощо);

– машинобудування (клепка, штампування, запресовування і випресовування, обрубка, насічка та ін.; віброударне очищення деталей та вібротранспортування, випробування на удар і вібрацію);

– будівництво (руйнування бетону і цегляної кладки, насічка бетону, віброударне ущільнення бетону і сипучих матеріалів, розтин асфальтобетонних покриттів, розпушування мерзлого ґрунту, пробивання борозен, ніш, отворів, а також обробіток ґрунтів, обробка каменю в дорожньо-будівельних та інших роботах).

У 14-ну групу включені електричні контакти, які можуть бути розривними, легкими і нерухомими. Одночасна дія механічних, теплових і електричних чинників призводить до істотної зміни властивостей контактуючих матеріалів та їх фрикційно-зносостійких характеристик. Електрокорозійне зношування відбувається при проходженні через контакт поверхонь тертя електричного струму. Особливу складність представляє робота ковзаючих контактів. Одночасна дія механічних, теплових і електричних чинників призводить до істотної зміни властивостей контактуючих матеріалів та їх фрикційно-зносостійких характеристик.

До 15-ї групи віднесені рухомі і нерухомі з'єднання деталей, що контактують через еластичне середовище. У разі якщо одним з контактуючих тіл є еластомір, що володіє здатністю до еластичної деформації, додається додатковий (гістерезисний) компонент, який вносить вклад в процеси взаємодії поверхонь тіл, що труться. Для пар тертя, в яких одним із контактуючих тіл є еластомір, характерне еластогідродинамічне або в'язкопружне тертя. Як приклад можна привести герметизуючі, а також різні запірні пристрої. Наприклад, важливим завданням є забезпечення високого ступеня герметичності і надійності манжетних ущільнень валів при тиску рідин вище 1...5 МПа і швидкості ковзання більше 10 м/с, а для торцевих ущільнень – при питомому тиску більше 20 МПа і швидкості ковзання більше 40 м/с.

У 16-у групу входять запірні і регулюючі пристрої, що працюють в режимі замикання і розмикання та призначені для перекриття потоків середовища.

Висновки

Проектування ефективних типових і оригінальних вузлів тертя вимагає врахування комплексу специфічних вимог трибології і триботехніки, що враховують конструктивні особливості машин і механізмів, різноманітні режими роботи та умови їх експлуатації, параметри робочих середовищ, вимоги до надійності, технологічності конструкцій та ін.

Запропонована класифікація з'єднань третьових деталей за умовами зношування забезпечує можливість системного підходу до узагальнення досвіду створення ефективних вузлів тертя, стимулює

проведення досліджень і розробок більш раціональних конструкцій вузлів тертя, розширює можливості трансферу інноваційних конструкцій і технологій. Забезпечується також можливість обміну досвідом створення та застосування перспективних конструкцій деталей і вузлів тертя та способів їх зміцнення і відновлення з урахуванням подібних умов зношування між різними галузями машинобудування.

Література

1. Восстановление деталей машин : справочник / [Ф. И. Пантелеенко, В. П. Лялякин, В. П. Петров и др.]. – М. : Машиностроение, 2003. – 673 с.
2. Золотарев А. В. Научно-методическая база технологического обеспечения эксплуатационных свойств роликов установок непрерывной разливки стали при их ремонте / А. В. Золотарев // Справочник. Инженерный журнал с приложением. – 2014. – № 12. – С. 39–45.
3. Основы трибологии (трение, износ, смазка) / [Э. Д. Браун, Н. А. Буше, И. А. Буяновский и др.] / под ред. А.В. Чичинадзе. – М. : Центр «Наука и техника», 1995. – 778 с.
4. Браун Э. Д. Моделирование трения и изнашивания в машинах / Браун Э. Д., Евдокимов Ю. А., Чичинадзе А. В. – М. : Машиностроение 1982. – 191 с.
5. Инженерия поверхности деталей / [под ред. А. Г. Сулова]. – М. : Машиностроение. 2008. – 320 с.
6. Хейфец М. Л. Технологическое управление наследованием эксплуатационных параметров качества деталей машин / М. Л. Хейфец, А. С. Васильев, А. И. Кондаков, Л. Танович // Известия НАН Беларуси. Серия физико-технических наук. – 2015. – № 3. – С. 10–22.
7. Лещинский Л. К. Слоистые наплавленные и упрочненные композиции / Лещинский Л. К., Самотугин С. С. – Мариуполь : Новый мир, 2005. – 392 с.
8. Продан В. Д. Сальниковые уплотнения с мягкой набивкой : учебное пособие / В. Д. Продан, Г. В. Божко. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – 124 с.
9. Виноградов В. Н. Изнашивание при ударе / В. Н. Виноградов, Г. М. Сорокин, А. Ю. Албагачиев. – М. : Машиностроение, 1982. – 192 с.

References

1. Vosstanovlenie detalej mashin : spravochnik / [F. I. Panteleenko, V. P. Lyalyakin, V. P. Petrov i dr.]. – M. : Mashinostroenie, 2003. – 673 s.
2. Zolotarev A. V. Nauchno-metodicheskaya baza tehnologicheskogo obespecheniya ekspluatacionnyh svoystv rolikov ustanovok nepreryvnoj razlivki stali pri ih remonte / A. V. Zolotarev // Spravochnik. Inzhenemyj zhurnal s prilozheniem. – 2014. – № 12. – S. 39–45.
3. Osnovy tribologii (trenie, iznos, smazka) / [E. D. Braun, N. A. Bushe, I. A. Buyanovskij i dr.] / pod red. A.V. Chichinadze. – M. : Centr «Nauka i tehnika», 1995. – 778 s.
4. Braun E. D. Modelirovanie treniya i iznashivaniya v mashinah / Braun E. D., Evdokimov Yu. A., Chichinadze A. V. – M. : Mashinostroenie 1982. – 191 s.
5. Inzheneriya poverhnosti detalej / [pod red. A. G. Suslova]. – M. : Mashinostroenie. 2008. – 320 s.
6. Hejfec M. L. Tehnologicheskoe upravlenie nasledovaniem ekspluatacionnyh parametrov kachestva detalej mashin / M. L. Hejfec, A. S. Vasilev, A. I. Kondakov, L. Tanovich // Izvestiya NAN Belarusi. Seriya fiziko-tehnicheskikh nauk. – 2015. – № 3. – S. 10–22.
7. Leshinskij L. K. Sloistye naplavlennye i uprochnennye kompozicii / Leshinskij L. K., Samotugin S. S. – Mariupol : Novyj mir, 2005. – 392 s.
8. Prodan V. D. Sahnikovyje uplotneniya s myagkoj nabivkoj : uchebnoe posobie / V. D. Prodan, G. V. Bozhko. – Tambov : Izd-vo FGBOU VO «TGTU», 2016. – 124 s.
9. Vinogradov V. N. Iznashivanie pri udare / V. N. Vinogradov, G. M. Sorokin, A. Yu. Albagachiev. – M. : Mashinostroenie, 1982. – 192 s.

Рецензія/Peer review : 22.09.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.10.2021 р.

ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕНЕРГЕТИКА

DOI 10.31891/2307-5732-2021-301-5-87-91

УДК 621.316

ГОНЧАРЕНКО Ю. П., КОНОВАЛОВ О. В., ПОЛЕЩУК І. І., ПРЯДКО В. А.

Поліський національний університет

ГУНЬКО І. О.

Вінницький національний технічний університет

ORCID ID: 0000-0002-2660-182X

e-mail: iryna_hunko@ukr.net

**ОДИН ІЗ АСПЕКТІВ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ
В СІЛЬСЬКИХ МЕРЕЖАХ 0,4 КВ**

У статті розглядаються умови забезпечення необхідних значень коефіцієнта потужності в режимі компенсації реактивної потужності системи електропостачання малопотужних переробних підприємств сільськогосподарської продукції. Визначена аналітична залежність потужності компенсаційного пристрою, необхідного для забезпечення бажаного значення коефіцієнта потужності. Розроблений алгоритм розрахунку гармонічних складових струму конденсаторної батареї в мережі з джерелами вищих гармонік. При розрахунках враховані залежності гармонік струму від величини навантаження споживачів мережі 0,4 кВ. Проведений аналіз виникнення можливих резонансних явищ в мережі 10(6) кВ. Визначена величина струму батареї конденсаторів у випадку коли джерелом вищих гармонік являється сама система живлення або споживачі електричної енергії в мережі 0,4 кВ.

Ключові слова: коефіцієнт потужності, гармонійні складові струму, батареї конденсаторів.

HONCHARENKO YURI P., KONOVALOV OLEKSANDR V.,

POLESHCHUK IVAN I., PRIADKO VOLODYMYR A.

Poliskyi National University

HUNKO IRYNA O.

Vinnitsya National Technical University

ONE ASPECT OF REACTIVE POWER COMPENSATION IN 0.4 KV RURAL NETWORKS

A sign of today is the development of powerful agro-industrial enterprises and sources of dispersed generation in rural areas. The issues of uninterrupted power supply and improvement of electricity quality indicators in such distribution networks are relevant. In rural electrical networks of alternating current, the total transmitted power S contains active P and reactive Q power of inductive nature, which is due to active – inductive load and therefore, respectively, the current in the power supply system has active and inductive components. The load consumption of active and reactive power characterizes the coefficient of active power $\cos\varphi$, which is defined as the ratio of active power to total. Quite often in energy the reactive power factor $\tan\varphi$ is used as the ratio of reactive power to active power. In our opinion, this more clearly reflects the ratio of the amount of energy consumed.

The article considers the conditions for providing the necessary values of the power factor in the mode of compensation of reactive power of the power supply system of low-power processing enterprises of agricultural products. The analytical dependence of the power of the compensation device required to ensure the desired value of the power factor is determined. An algorithm for calculating the harmonic components of the capacitor bank current in the network with sources of higher harmonics has been developed. The calculations take into account the dependences of current harmonics on the load of 0.4 kV network consumers. Conducted analysis of the occurrence of possible resonant phenomena in the 10 (6) kV network. The value of the capacitor bank current is determined in the case when the source of the higher harmonics is the power supply system itself for the consumers of electricity in the 0.4 kV network.

Key words: power factor, harmonic current components, capacitor banks.

Постановка проблеми

У сільських електричних мережах змінного струму повна передана потужність S містить активну P і реактивну Q потужність індуктивного характеру, що обумовлено активно – індуктивним навантаженням і тому відповідно струм в системі електропостачання має активну та індуктивну складові. Споживання навантаженням активної і реактивної потужності характеризує коефіцієнт активної потужності $\cos\varphi$, який визначається як відношення активної потужності до повної. Досить часто в енергетиці використовується коефіцієнт реактивної потужності $\tan\varphi$, як відношення реактивної потужності до активного. На нашу думку, це більш чітко відображає співвідношення кількості енергії, яка споживається.

У системах електропостачання (СЕП) використовуються компенсуючі пристрої. Використання установок компенсації реактивної потужності дозволяє [1]:

- знизити втрати активної потужності і електричної енергії;
- збільшити напругу на виходах електричних приймачів;
- зменшити завантаження елементів СЕП (силових трансформаторів, ліній передачі електричної енергії, розподільних пристроїв і т.п.);
- підвищити якості електроенергії;
- підключати додаткове активне навантаження без збільшення потужності силових трансформаторів і перетину проводів ліній електропередачі;
- значно збільшити термін служби електрообладнання тощо [2].

Сьогодні споживання реактивної потужності в країні регламентується певними нормативними документами [3, 4]. Відповідно до них максимальне значення коефіцієнта реактивної потужності нормується в залежності від годин великих добових навантажень мережі. Так для мереж 0,4 кВ відповідно $\cos\varphi = 0,95$, а $\text{tg}\varphi = 0,35$. Крім того встановлені нормативні значення коефіцієнта потужності для підприємств виробників та юридичних осіб відповідно до [4] величиною $\text{tg}\varphi_n = 0,8$.

Природний коефіцієнт потужності (коефіцієнт потужності без використання компенсуючих пристроїв) виробничих підприємств як правило відрізняється від нормативного в ту чи іншу сторону. Відповідно до цього виникає необхідність в регулюванні $\cos\varphi$ шляхом компенсації реактивної потужності з використанням синхронних двигунів і компенсаторів, а також конденсаторних батарей.

Фактичний коефіцієнт потужності активного і реактивного навантаження визначається [4]:

$$\text{tg}\varphi_n = \frac{WQ_c}{WP_c},$$

де WQ_c і WP_c – фактичний об’єм споживання активної (кВт·год) і реактивної (кВар·год) потужності за розрахунковий період.

З іншого боку коефіцієнт потужності навантажувального вузла розраховується по формулі:

$$\cos\varphi_n = \frac{P_{\text{нав}}}{\sqrt{P_{\text{нав}}^2 + Q_{\text{нав}}^2}},$$

де $Q_{\text{нав}}$ і $P_{\text{нав}}$ – реактивна і активна потужність споживана електроприймачами.

Бажання одержати максимальне значення коефіцієнта потужності $\cos\varphi_{\text{баж}}$ потребує використання пристроїв компенсації реактивної потужності (ПКРП). Відповідно до цього:

$$\cos\varphi_{\text{баж}} = \frac{P_{\text{нав}}}{\sqrt{P_{\text{нав}}^2 + (Q_{\text{нав}} - Q_{\text{ПКРП}})^2}}, \quad (1)$$

де $Q_{\text{ПКРП}}$ – потужність яка генерується ПКРП.

Запишемо вираз (2) в наступному вигляді:

$$\sqrt{P_{\text{нав}}^2 + (Q_{\text{нав}} - Q_{\text{ПКРП}})^2} = \frac{P_{\text{нав}}}{\cos\varphi_{\text{баж}}}. \quad (2)$$

Піднесемо (2) в квадрат, розкриємо дужки та перенесемо всі члени в ліву частину і одержимо вираз:

$$P_{\text{нав}}^2 + Q_{\text{нав}}^2 - 2Q_{\text{нав}}Q_{\text{ПКРП}} + Q_{\text{ПКРП}}^2 - \frac{P_{\text{нав}}^2}{\cos^2\varphi_{\text{баж}}} = 0. \quad (3)$$

З врахуванням, що $Q_{\text{нав}} = P_{\text{нав}} \cdot \cos\varphi_{\text{нав}}$ одержимо

$$P_{\text{нав}}^2 + P_{\text{нав}}^2 \cdot \cos^2\varphi_{\text{нав}} - 2P_{\text{нав}} \cdot \cos\varphi_{\text{нав}} \cdot Q_{\text{ПКРП}} + Q_{\text{ПКРП}}^2 - \frac{P_{\text{нав}}^2}{\cos^2\varphi_{\text{баж}}} = 0. \quad (4)$$

Вираз (4) представимо в наступному виді:

$$Q_{\text{ПКРП}}^2 - 2P_{\text{нав}} \cdot \cos\varphi_{\text{нав}} \cdot Q_{\text{ПКРП}} + P_{\text{нав}}^2 + P_{\text{нав}}^2 \cdot \cos^2\varphi_{\text{нав}} - \frac{P_{\text{нав}}^2}{\cos^2\varphi_{\text{баж}}} = 0. \quad (5)$$

Розглянемо окремо останні три члени рівняння (5) $P_{\text{нав}}^2 + P_{\text{нав}}^2 \cdot \cos^2\varphi_{\text{нав}} - \frac{P_{\text{нав}}^2}{\cos^2\varphi_{\text{баж}}}$, зробивши

алгебраїчні перетворення та підставимо їх назад у вираз (5) одержимо:

$$Q_{\text{ПКРП}}^2 - 2P_{\text{нав}} \cdot \cos\varphi_{\text{нав}} \cdot Q_{\text{ПКРП}} + P_{\text{нав}}^2 (\text{tg}^2\varphi_{\text{нав}} - \text{tg}^2\varphi_{\text{баж}}) = 0. \quad (6)$$

З точки зору максимально ефективного використання потужності СЕП повинна виконуватись умова:

$$\lim_{Q_{\text{ПКРП}} \rightarrow 0} (\text{tg}^2\varphi_{\text{нав}} - \text{tg}^2\varphi_{\text{баж}}) = 0. \quad (7)$$

Враховуючи (7) із виразу (6) маємо, що:

$$Q_{\text{ПКРП}} = 2P_{\text{нав}} \cdot \cos\varphi_{\text{нав}} = 2Q_{\text{нав}}. \quad (8)$$

Співвідношення (8) свідчить про те, що для оптимального режиму компенсації з врахуванням всіх можливих впливів при перетіканні реактивної потужності ПКРП, для досягнення бажаного значення $\cos\varphi_{\text{баж}}$, повинен забезпечувати компенсацію реактивної потужності як в індуктивному так і в активно-ємнісному режимі.

Дане ствердження являється актуальним на сьогодні, так як в склад електричних навантажень більшості як виробничих підприємств так і побутових споживачів входять частотно-регульовані електроприводи (ЧРП). Їх сумарна встановлена потужність в залежності від частки рухового навантаження може досягати 20–25% від сумарної потужності підприємства [2]. Відомо, що установка ЧРП є характерним джерелом вищих гармонік (ДВГ). Крім того, випрямлячі напруги електроприводів потужністю до 100 кВт,

як правило, виконується за шестифазною напівперіодною схемою. Тому дані електроустановки генерують гармоніки з номерами 5, 7, 11, 13 і т.п. [2]. Ці ж гармоніки генеруються зварювальними випрямлячами. Зауважимо, що в мережі живлення (в системі) найбільш поширеними типами ДВГ також є шестифазні перетворювачі та зварювальні випрямлячі.

На рис. 1, а показана спрощена схема розрахунку мережі виробничого підприємства в звичайному режимі роботи. Схема складається з чотирьох характерних гілок:

- мережі (понижувальний трансформатор та джерело живлення) з кабельною лінією (КЛ) до РП-6 (10) кВ;
- асинхронних електродвигунів 6 (10) кВ;
- понижувального трансформатора 6 (10)/0,4 кВ з підключеним до нього навантаженням;
- косинусної батареї конденсаторів (КБ) для компенсації реактивної потужності.

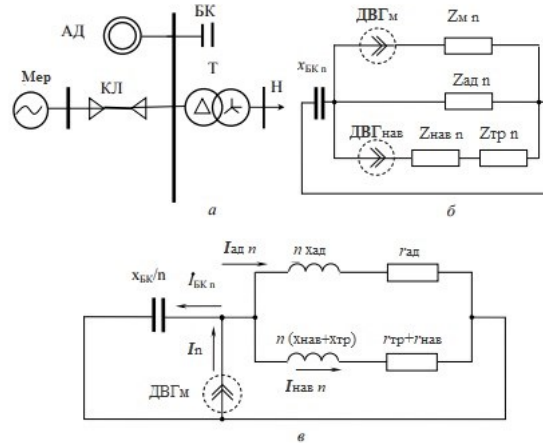


Рис. 1. Спрощена розрахункова схема мережі в нормальному робочому режимі (а); схема заміщення мережі для можливих варіантів розташування ДВГ (б); схема заміщення для розрахунку вищих гармонік (ДВГ знаходиться в мережі) (в)

Як правило, всі опори схеми мають активно – індуктивний характер. Виняток є опір КБ, який має ємнісний характер. У такій схемі в певних режимах роботи мережі можливі резонансні. Відомо, що резонанс струмів виникає при вищій частоті, ніж частота промислової мережі (50 Гц) [2].

Резонансні явища на вищих гармоніках є причиною більших спотворень струму і напруги у розподільній мережі. Вони викликають підвищені струми КБ, внаслідок чого відбувається їх перевантаження, і вони виходять з ладу. Значення струму на виходах ДВГ не залежить від опору мережі та визначаються розрахунковою потужністю ДВГ [2]. Відповідно до цього схема заміщення ДВГ представлена як джерело струму (рис. 1, б). При цьому ДВГ може знаходитись як в складі живильної мережі так і в складі навантаження споживачів 0,4 кВ.

На рис. 1, в приведена схема заміщення мережі для n -ї гармоніки в режимі коли ДВГ знаходиться в мережі живлення. В даній схемі гілка асинхронного двигуна (АД) і навантаження (Н) з'єднані паралельно і утворюють еквівалентний R-L ланцюг. В свою чергу дані два паралельні ланцюги відносно виводів ДВГ з'єднані паралельно з гілкою БК, яка має ємнісний характер навантаження. В даному випадку схема при певних величинах опорів навантаження може мати резонанс струмів.

1. Результати досліджень. Для дослідження резонансних процесів був розроблений алгоритм розрахунку резонансних струмів БК для різних номерів гармонік. В ньому передбачений вплив величини навантаження споживачів мережі 0,4 кВ, еквівалентного АД 6(10) кВ та розрахунок величини ДВГ. На базі алгоритму розроблена комп'ютерна програма, яка дозволяє визначити резонансну частоту мережі та опір схеми відносно ДВГ, а також розрахувати струми ДВГ та БК з урахуванням вищих гармонік та величини навантаження.

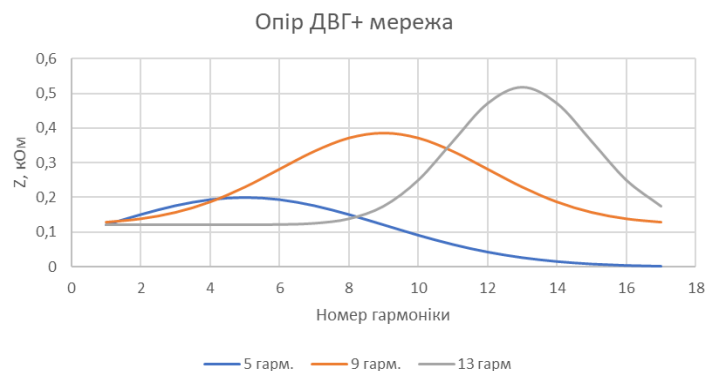


Рис. 2. Залежність опору мережі відносно виводів ДВГ від частоти

Розрахунки гармонійного складу струму для КБ були проведені на приватному сільсько-господарському підприємстві по переробці зерна для загальної потужності активного навантаження $P_{наб} = 50-380$ кВт, живлення відбувається від ТП з трансформатором ТМ 320/6, $U_K\% = 5,5\%$, $\Delta P_{кз} = 6,1$ кВт, $R_{лр} = 2,36$ Ом, $X_{лр} = 6,1$ Ом; по кабельній лінії довжиною $L_{лр} = 52$ м з $F = 35$ мм² ($R_{вит} = 0,89$ Ом/км, $X_{вит} = 0,087$ Ом/км).

На рис. 2 наведені графі зміни опору мережі відносно виводів ДВГ в залежності від частоти номера гармоніки струму.

Розрахунки показують, що нерезонансні частоти 5, 7 та 13 гармонік відповідають максимальному опору мережі. Відповідно до графіка рис.2, наприклад резонансна частота 5-ої гармоніки складає 260 Гц.

2. Пропозиції до схемних рішень. З метою забезпечення оптимальної компенсації реактивної потужності залежно від величини та типу навантаження споживачів пропонується компенсаційна установка з слідкуючим антирезонансним фільтром.

На рис. 3 показана існуюча схема і еквівалентна схеми з'єднання фільтруючого антирезонансного дроселя з конденсаторною батареєю недоліком якою є знищення струмів однієї вищої гармоніки частот [6]. Ця схема не ефективно діє при інших вищих паразитичних частотах (гармоніки з 3-ї по 7-му). Для усунення даного недоліка пропонується схема, яка відслідковує і визначає тип гармоніки та підключає необхідний антирезонансний фільтр.

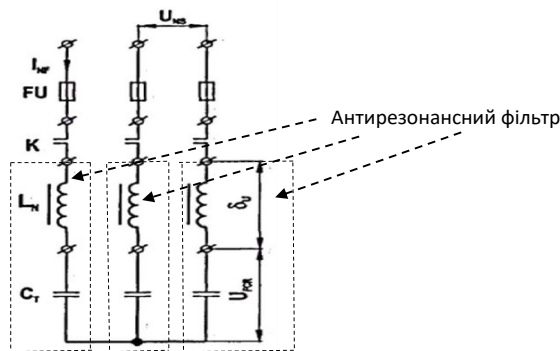


Рис. 3. Схема і еквівалентна схеми з'єднання фільтруючого антирезонансного дроселя з конденсаторною батареєю

На рис. 4 показана схема слідкуючого антирезонансного фільтра на тиристорах. Управління тиристорів проходить завдяки схемі управління, яка складається з пристрою аналізатора спектру, пристрою визначення максимальної амплітуди паразитної гармоніки.

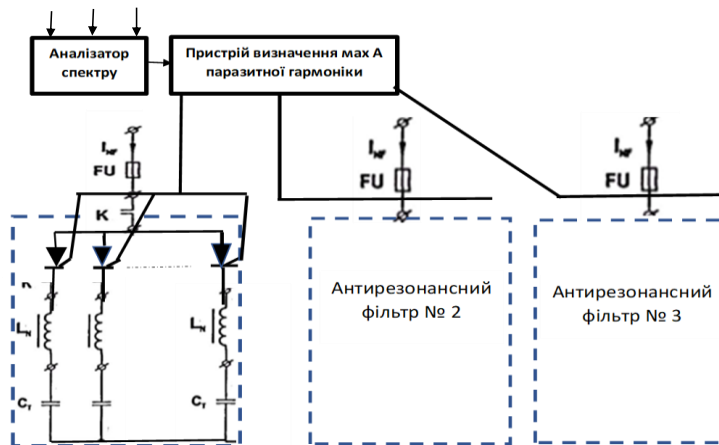


Рис. 4. Схема слідкуючого антирезонансного фільтра.

Аналізатор спектру проводить спектральний аналіз напруги, які мають різні частотні характеристики, визначає амплітуду кожної з них, результати вимірів подається на пристрій визначення максимальної амплітуди паразитної гармоніки. Даний пристрій формує управляючий сигнал, який завдяки вибраного тиристора підключає той, чи інший елемент антирезонансного фільтра, який компенсує паразитний тип гармоніки.

Використовуючи різні розв'язуючі елементи (частотні фільтри) схема може компенсувати декілька паразитних гармонік. Аналізатор спектру та пристрій визначення максимальної амплітуди паразитної гармоніки реалізуються на програмованих пристроях.

Висновки

Запропоновано алгоритм і на його основі реалізована комп'ютерна програма для розрахунку гармонійних складових струму батарей конденсаторів в електричній мережі виробничого

сільськогосподарського підприємства з приладами компенсації реактивної потужності, що містить джерело вищих гармонік. Струм батареї конденсаторів розрахований в залежності від параметрів навантаження 0,4 кВ та еквівалентного електродвигуна 6 (10) кВ. Показано, що зі зменшенням потужності конденсаторної батареї збільшує ймовірність виникнення резонансу струмів. Знайдено залежність зміни струму конденсаторної батареї від величини потужності джерела вищих гармонік.

Література

1. Железко Ю.С. Вибір заходів щодо зниження втрат електроенергії в електричних мережах. М.: Вища школа, 1989. 176с.
2. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2000. 331 с.
3. Про Методичні рекомендації визначення технологічних витрат електричної енергії в трансформаторах і лініях електропередавання. Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. наказ ВІД 21.06.2013 № 399
4. Про затвердження Методики обчислення плати за перетікання реактивної електроенергії. Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. Наказ 06.02.2018 № 87
5. Папаика Ю.А., Пивняк Г.Г., Жежеленко И.В. Резонансные процессы в системах электроснабжения угольных шахт с мощными нелинейными нагрузками. Матеріали VII Всеросійської науково-технічної конференції з міжнародною участю «Енергетика: управління, якість та ефективність використання енергоресурсів» (Росія, м. Благовещенськ, 4-6 червня, 2013 р.). С. 132-138.
6. Красник В.В. Автоматичні пристрої по компенсації реактивної потужності в електромережах підприємств. М.: Вища школа, 1983. 136с.

References

1. Zhelezko Yu.S. Vybir zakhodiv shchodo znyzhennia vtrat elektroenerhii v elektrychnykh mrezhakh. M.: Vyshcha shkola, 1989. 176 s.
2. Zhezhelenko Y.V. Vysshye harmonyky v systemakh elektrosnabzheniya prompredpriyatiy. yzd., pererab. y dop. M.: Enerhoatomyzdat, 2000. 331 s.
3. Pro Metodychni rekomendatsii vyznachennia tekhnolohichnykh vytrat elektrychnoi enerhii v transformatorakh i liniakh elektroperedavannia. Ministerstvo enerhetyky ta vuhilnoi promyslovosti Ukrainy. Nakaz vid 21.06.2013 № 399
4. Pro zatverdzhennia Metodyky obchyslennia platy za peretikannia reaktivnoi elektroenerhii. Ministerstvo enerhetyky ta vuhilnoi promyslovosti Ukrainy. Nakaz 06.02.2018 № 87
5. 5.Papayka Yu.A., Pivniak H.H., Zhezhelenko Y.V. Rezonansnye protsessy v systemakh elektrosnabzheniya uholnikh shakht s moshchnimy nelyneinimy nahruzkami. Materialy VII Vserosiiskoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii z mizhnarodnoiu uchastiu «Enerhetyka: upravlinnia, yakist ta efektyvnist vykorystannia enerhoresursiv»(Rosii, m. Blahoveshchensk, 4-6 chervnia, 2013 r.). S. 132-138.
6. Krasnyk V.B. Avtomatychni prystroi no kompensatsii reaktivnoi potuzhnosti v elektromerezhakh pidpriemstv. M.: Vyshcha shkola, 1983. 136s.

Рецензія/Peer review : 26.09.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.10.2021 р.

БЕЗВЕСІЛЬНА О. М.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: 0000-0002-6951-1242
e-mail: o.bezvesilna@gmail.com

ОМЕЛЬЧУК І. А.

Державний університет «Житомирська Політехніка»
e-mail: belife235@ukr.net

НЕЧАЙ С. О.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: 0000-0002-0056-6341
e-mail: prilad@ukr.net

ВИКОРИСТАННЯ ЗВОРОТНОГО ЗВ'ЯЗКУ ПРИ СТИМУЛЯЦІЇ М'ЯЗІВ ОПОРНО-РУХОВОГО АПАРАТУ В СИСТЕМІ АВТОМАТИЧНОГО ВИМІРЮВАННЯ МЕХАНІЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ М'ЯЗОВОГО ВОЛОКНА

У роботі розглянуто схематехнічні рішення, що дозволяють формувати в м'язовій тканині пацієнта стимулюючі сигнали з заданою амплітудою, струмом та формою, вимірюючи при цьому стан збудження м'язового волокна та його деформацію для забезпечення найкращого результату. Показано схематехнічні рішення, математичну модель та можливість застосування даних рішень в клінічній практиці у комплексі профілактично-оздоровчих заходів та реабілітаційного і фізіотерапевтичного лікування. У роботі розроблено новий спосіб збору даних про стан збудження м'язових тканин на основі використання зворотного зв'язку та розрахунку параметрів збуджуючих сигналів при стимуляції; запропоновано методику розрахунку параметрів сигналів, що використовуються для стимуляції; розроблено пристрій для отримання сигналів, що характеризують стан збудження м'язової тканини та одночасної подачі стимулюючих сигналів; на основі розробленої системи суттєво вдосконалено існуючий метод стимуляції м'язів опорно-рухового апарату та контролю їх фізіологічного стану.

Ключові слова: м'язи опорно-рухового апарату, стимуляція, деформація м'язового волокна.

BEZVESILNA O. M.

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

OMELCHUK I. A.

Zhytomyr National Agroecological University

NECHAY S. O.

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

USE OF FEEDBACK IN STIMULATION OF MUSCLES OF THE MUSCULOSKELETAL SYSTEM IN THE SYSTEM OF AUTOMATIC MEASUREMENT OF MECHANICAL MECHANICS OF MUSCLE FIBER

This paper considers the scheme of technical solutions that allow to form in the patient's muscle tissue stimulating signals with a given amplitude, current and shape, while measuring the state of excitation of the muscle fiber and its deformation to ensure the best result. Schematic technical solutions, mathematical model, and possibility of application of these solutions in clinical practice in a complex of preventive and improving measures and rehabilitation and physiotherapeutic treatment are shown. The paper develops a new method of collecting data on the state of excitation of muscle tissues and calculating the parameters of excitatory signals during stimulation; the method of calculation of parameters of the signals used for stimulation is offered; developed a device for obtaining signals that characterize the state of excitation of muscle tissue and the simultaneous supply of stimulating signals; on the basis of the developed system the existing method of stimulation of muscles of the musculoskeletal system and control of their physiological condition is significantly improved. Using this method, it is possible to synthesize a system for automatically measuring the mechanical deformation of a muscle fiber, which would be fully described mathematically and modelled. Also, using the methods of analysis of automatic control systems, you can calculate the following parameters of the voltage of the stimulation signals: amplitude, frequency and phase; which will lead to the establishment of muscle tissue in a specific state of arousal or relaxation, which is calculated in advance, predicted and clearly controlled. And this is relevant when conducting a variety of physiotherapy activities in the sessions of therapeutic, preventive and rehabilitation medicine.

Key words: muscles of the musculoskeletal system, stimulation, deformation of the muscle fiber.

Постановка проблеми

Проблема реабілітації хворих з порушенням рухової функції знаходиться у центрі уваги багатьох медичних закладів. У клініці як для лікувальних, так і в профілактичних цілях, поруч з медикаментозним лікуванням, масажем, гімнастикою широко використовують методи електростимуляції нервово-м'язових волокон, які є ефективним методом відновлювальної терапії.

Аналіз останніх джерел

Авторами робіт [1–14] встановлено, що існуючі методи електростимуляції не завжди задовольняють клініцистів. Практично література, присвячена дослідженню питань стимуляції м'язів, відсутня. Тобто пошук нових шляхів та методів є актуальним. Тому *актуальною є проблема*: запропонувати нову автоматизовану систему автоматичного вимірювання механічної деформації м'язового волокна з використанням зворотного зв'язку (САВМ), більш адаптовану для пацієнтів з різним станом м'язових тканин. Це надзвичайно актуально у зв'язку з наявністю великої кількості конфліктних зон в Україні і в світі [15, 16].

Мета роботи – запропонувати нову систему автоматичного вимірювання механічної деформації м'язового волокна з використанням зворотного зв'язку (САВМ), більш адаптовану для пацієнтів з різним станом м'язових тканин.

Виклад основного матеріалу

Електростимуляція як свідомий, цілеспрямований, заснований на точних принципах за стосування електрики метод, що використовується для одержання визначених реакцій органів і тканин, існує близько 200 років. У даний час під електростимуляцією розуміється застосування електричного збудження для зміни функціонального стану клітин, органів і тканин.

Характерною рисою живої тканини є безупинний обмін речовин, що підлягає біохімічним і біофізичним закономірностям. Він супроводжується утворенням іонів і наступною їх рекомбінацією. Це дало підставу вважати, що жива тканина має іонну провідність і розглядати живий організм як елемент особливого типу з великою кількістю різних мембран. Однак, такий підхід однобічний, тому що перенос енергії у живій тканині відбувається і на електронному рівні. В останні роки намагаються пояснити біофізичні проблеми з позицій теорії твердого тіла і «рідких» кристалів. Відомо, що комплексний опір живих тканин (імпеданс) має активну і ємнісну складові. Явищ, що указують на наявність індуктивностей у тканинах, не виявлено. При проходженні слабких струмів нервово-м'язові структури поведуться аналогічно ланцюгу, що складається з пасивних елементів. У загальному ж випадку живі структури варто розглядати як активні ланцюги з внутрішніми електрорушійними силами. Вплив струму на живі тканини можна оцінити за допомогою еквівалентної схеми об'єкта, однак її необхідно складати для кожного експерименту окремо.

Швидкий розвиток науки і новітніх технологій, поруч зі створенням більш сучасних засобів обміну та оцінки інформації, зробив можливим використання енергії м'язової активності в якості інформативного елемента при стимуляції.

Іншою особливістю живих тканин є їх збудливість, тобто здатність відповідати визначеною реакцією на зовнішні (механічні, хімічні, теплові, магнітні, електричні) чи внутрішні (сигнали, що генеруються нервовими клітинами) подразнення. Збудливість м'яза виявляється специфічною реакцією – скороченням у відповідь на подразнення (імпульс).

При використанні методу електростимуляції електричний струм протікає по ділянці тіла між електродами. При цьому виникає збудження м'язових волокон, яке викликає скорочення. Але для контролю зміни стану необхідно мати зворотній зв'язок, що характеризує стан збудження м'язових тканин та ступінь їх стискання, тобто інформацію про ступінь збудження при подачі кожного наступного імпульсу до м'язів. Лише у цьому випадку стимуляція проходить контрольовано і не викликає у пацієнта стану дискомфорту. Саме при наявності зворотного зв'язку можливо контролювати стан скорочення м'язів.

Для більш ефективного процесу стимуляції необхідно впливати на нервово-м'язові тканини у певні визначені моменти часу. Визначення цих моментів безпосередньо під час стимуляції є важливою задачею, вирішення якої дозволить проводити сеанс стимуляції сигналами, амплітуда, форма та частота яких є найбільш адаптованими до конкретних груп м'язів, що стимулюються. Таким чином, є можливість отримати найбільш ефективний процес стимуляції, який дозволить приводити м'язову тканину до певного конкретного, заздалегідь визначеного та контрольованого стану, що є вирішальним при роботі з пацієнтами, стан яких можна визначити як тяжкий або сильно збуджений.

Метою дослідження є покращення процесу стимуляції м'язових тканин з автоматичною адаптацією до конкретних груп м'язів та їх функціонального стану з метою контрольованого приведення останніх до певного визначеного стану збудження чи розслаблення та стану скорочення. Такий підхід до стимуляції дозволяє впливати на м'язові тканини плавно, не приводячи їх в дисбаланс з судинною системою, що дозволяє досягти кращих результатів стимуляції не тільки для окремої групи м'язів, але є більш ефективним з точки зору функціонального стану всього організму в цілому.

Одним із основоположних питань при розробці даного методу є забезпечення контролю стану м'язової тканини безпосередньо під час впливу на неї у точці подразнення та контроль скорочення м'язу. Також важливим є зменшення до мінімуму кількості електродів, що накладаються на тіло пацієнта.

У запропонованій системі використано лише два електроди, які є одночасно стимулюючими та вимірювальними.

Сутність методу, що пропонується, полягає у тому, що система по певному заданому подразненню визначає швидкість поляризації та реполяризації м'язових волокон, а також час початку поляризації після подачі стимулюючого імпульсу (рис. 1). Тобто визначається інерційність, амплітудні та частотні параметри системи. Таким чином, маючи дані про перехідні процеси у м'язовій тканині можна підібрати такі моменти часу, при яких вплив на неї буде носити або гальмівний, або збуджуючий характер, і амплітуда впливального сигналу буде найбільш оптимальною для приведення м'язу у заданий стан.

Пристрій, що реалізує даний метод, побудовано за принципом вимірювання реографічних показників повного опору м'язової тканини, шляхом подачі в неї короткого скануючого імпульсу, та вимірювання імпедансу м'язового волокна. Реографічні характеристики вимірюються шляхом використання схеми, яка дозволить одночасно змінювати напругу та струм на м'язовій тканині.

При накладанні електродів на шкіру пацієнта, між електродами утворюється певний комплексний опір Z_p , що має нелінійний характер. При цьому у вимірювальній діагоналі моста виникає струм, який можна розрахувати за законами Кірхгофа.

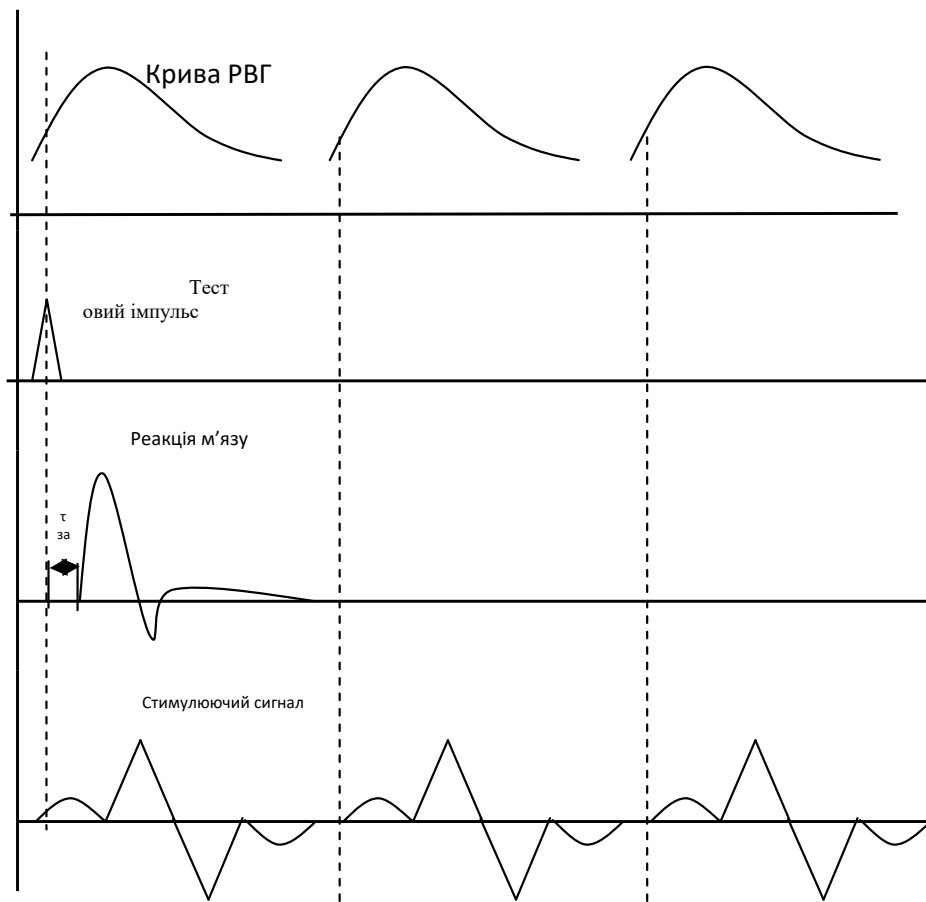


Рис. 1. Послідовність сигналів при стимуляції м'язової тканини

Схема моста наведена на рис. 2. Міст живиться від джерела постійного струму (в діагоналі живлення знаходиться джерело живлення, яке може змінювати напрямок та величину напруги живлення). У вимірювальній діагоналі ввімкнено вимірювальний пристрій (ІР).

Для цього у схемі прийнято наступні напрямки струмів I_2, I_3, I_4, I_5 та опори Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5 (рис. 3).

Такий міст має чотири опори: Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 (ac – діагональ живлення, bd – вимірювальна діагональ). В коло вимірювальної діагоналі вмикається вимірювальний пристрій ІР, внутрішній опір якого Z_5 .

Міст вважається зрівноваженим, коли струм I_5 у вимірювальній діагоналі відсутній ($I_5 = 0$). Отже, у зрівноваженій схемі потенціали точок в і d однакові (точки в і d еквіпотенціальні). Однакові і падіння напруги на першому і четвертому плечах, оскільки точка «а» є для них загальною:

$$I_1 \cdot Z_1 = I_4 \cdot Z_4 \tag{1}$$

Те саме справедливе і для напруги на другому і третьому плечах моста:

$$I_2 \cdot Z_2 = I_3 \cdot Z_3 \tag{2}$$

У зрівноваженому мостовому колі $I_5 = 0$, отже,

$$I_1 = I_2 \tag{3}$$

$$I_3 = I_4 \tag{4}$$

Виходячи з рівнянь (1) та (2), одержано умову рівноваги моста:

$$Z_1 \cdot Z_3 = Z_2 \cdot Z_4 \tag{5}$$

Враховуючи, що напруга живлення вихідного блоку стимулятора є напругою постійного струму, а постійному струмі опори мостової схеми є чисто активними, тоді:

$$Z_1 = R_1, Z_2 = R_2, Z_3 = R_3, Z_4 = R_4. \tag{6}$$

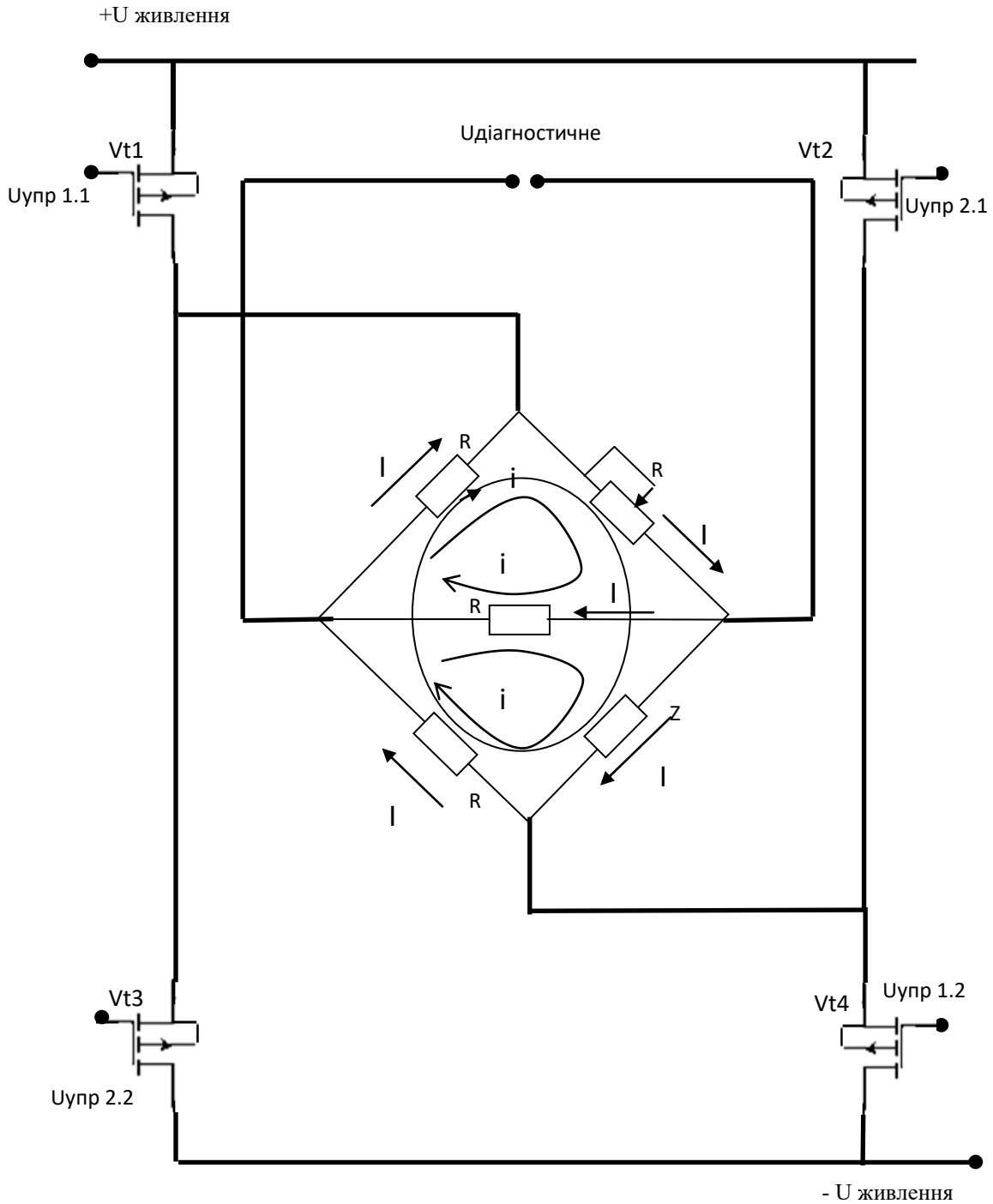


Рис. 2. Схема вихідного блоку електростимулятора

Тому мостова схема на постійному струмі буде зрівноваженою, коли виконується умова рівноваги

$$R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4 \tag{7}$$

Схема моста наведена на рис. 2. Міст живиться від джерела постійного струму (в діагоналі живлення знаходиться джерело живлення, яке може змінювати напрямок та величину напруги живлення). У вимірювальній діагоналі ввімкнено вимірювальний пристрій (ІР).

Процес вимірювання за допомогою мостової схеми полягає в тому, що в одне з плечей (на схемі, R4) вмикають вимірюваний опір R_x (на схемі рис. 2 R_x позначено як Z_п). Тоді на основі наведених викладок можна записати умову рівноваги:

$$Z_{п} \cdot R_1 = R_2 \cdot R_3. \tag{8}$$

З (8) знайдено рівняння розрахунку Z_п:

$$Z_{п} = R_3 \cdot R_2 / R_1, \tag{9}$$

де R₂, R₄ – плечі відношення, R₃ – плече порівняння.

Це рівняння дозволяє обрахувати опір м'язової тканини пацієнта.

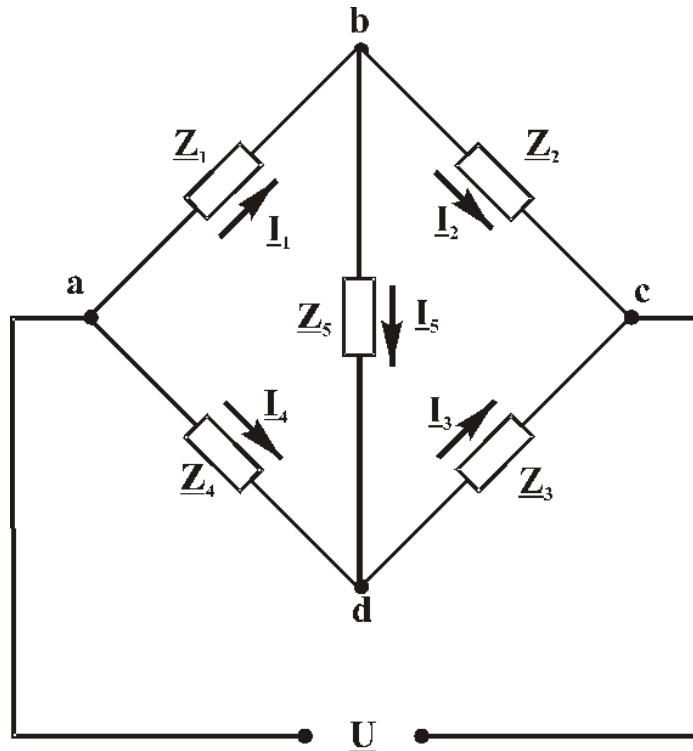


Рис. 3. Схема, представлена для спрощення розрахунку

Для стимуляції запропоновано двополярний періодичний сигнал (рис. 4), який обумовлено кривою поляризації мембрани клітин, який сприяє більш м'яким та природнім режимам скорочення м'язових тканин, що не викликає стану стресу тканини, а отже, не призводить до її передчасної втоми та дисбалансу всього організму у цілому. Змінюючи крутизну фронту сигналу та його амплітуду, можна змінювати швидкість та величину поляризації клітин тканини, змінюючи таким чином ступінь збудження м'язів.

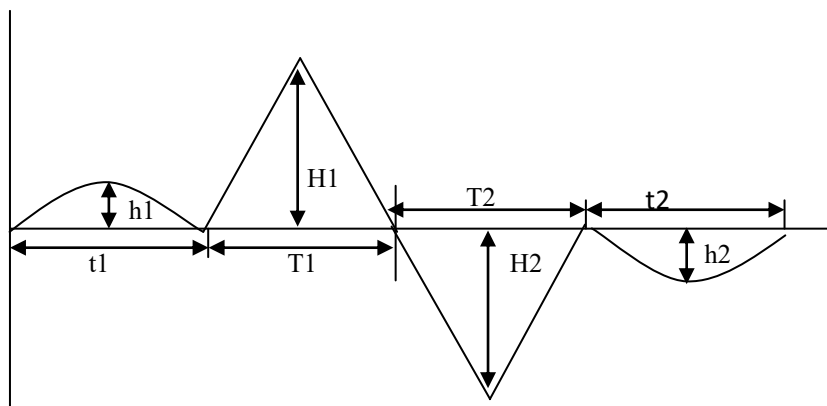


Рис. 4. Форма сигналу, що використовується для електростимуляції

При варіації амплітуди позитивної або негативної напівхвилі можна стимулювати або процеси поляризації клітин, тим самим збуджуючи м'яз, або процеси реполяризації, тим самим розслаблюючи м'язову тканину.

Двополярна форма імпульсів сприяє природній скорочувальній функції м'язів і процес електростимуляції проходить найбільш оптимально, оскільки стимулюючий вплив не викликає реакції подразнення нервової системи пацієнта.

Дана схема включення дозволяє за допомогою напруги $U_{упр 1.1}$; $U_{упр 1.2}$; $U_{упр 2.1}$; $U_{упр 2.2}$ створювати напругу у діагоналі живлення моста із заданим знаком та амплітудою.

Відкриваючи попарно транзистори VT1-VT4, та VT2-VT3, можна змінювати напрямок струму між точками a1-b1, а варіюючи напруги $U_{упр 1.1}$; $U_{упр 1.2}$; $U_{упр 2.1}$; $U_{упр 2.2}$ – амплітуду стимулюючого сигналу.

За такого підходу є можливість розглядати ділянку тканини між електродами, як певний нелінійний об'єкт управління, який знаходиться у коливальному режимі роботи, та синтезувати таку систему

автоматичного управління, яка б привела даний об'єкт до певного заданого стану збудження чи розслаблення. Також, в схему стимулятора ввімкнено канал вимірювання скорочення м'язової тканини, на основі тензометричного перетворювача (рис. 5). Схема вимірювання опору тензометричного перетворювача також є мостовою і розраховується за рівняннями, наведеними вище.

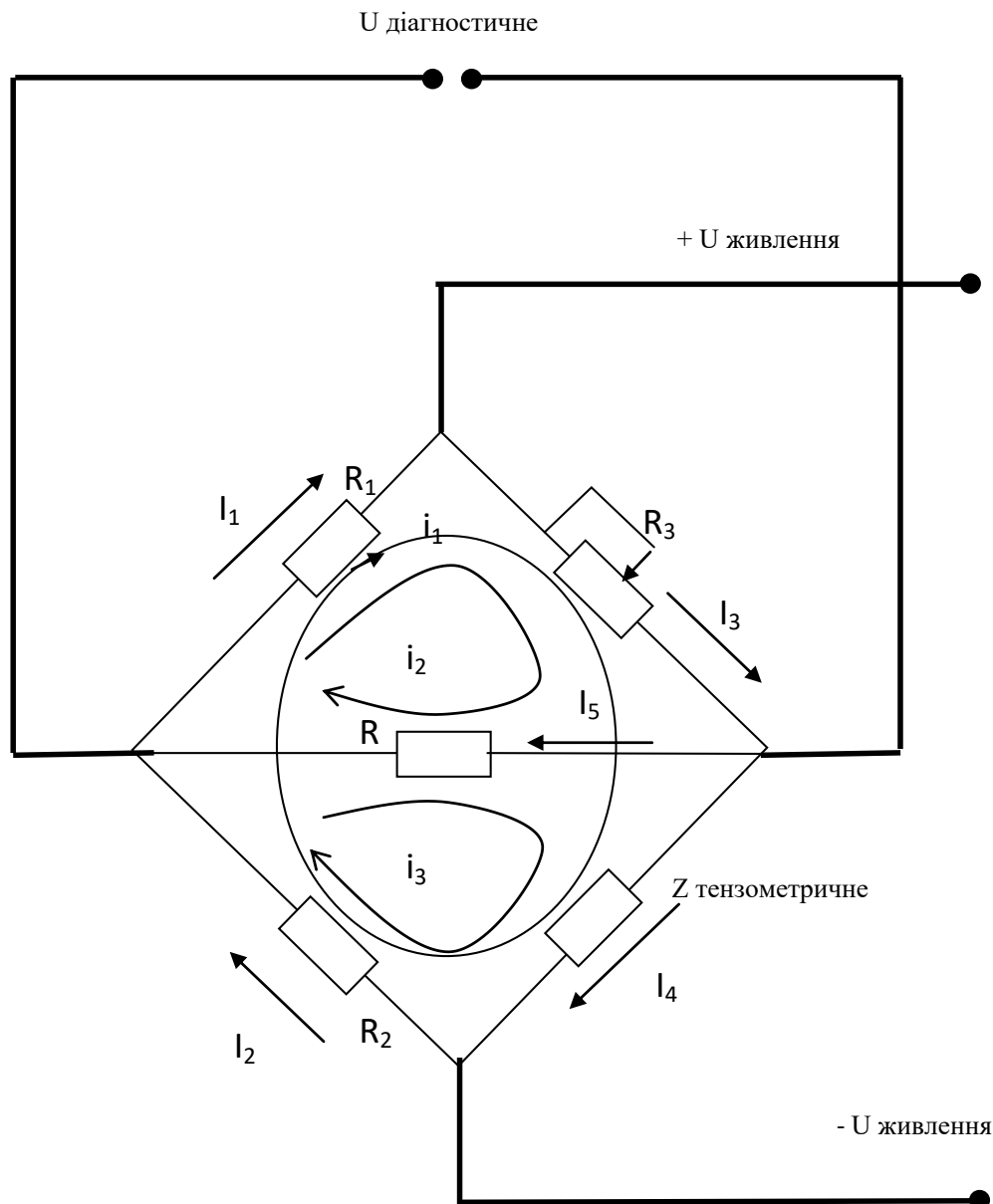


Рис. 5. Вимірювальний канал тензометричного давача

Таким чином, використавши даний метод, можна синтезувати таку систему автоматичного вимірювання механічної деформації м'язового волокна, яка була б повністю описана математично та промодельована. Також, використовуючи методи аналізу систем автоматичного управління, можна вирахувати такі параметри напруги сигналів стимуляції: амплітуду, частоту та фазу; які призведуть до встановлення м'язової тканини у певний конкретно визначений стан збудження чи розслаблення, який завчасно розрахований, прогнозований та чітко контрольований. А це є актуальним при проведенні різноманітних фізіотерапевтичних заходів у сеансах лікувальної, профілактичної та реабілітаційної медицини.

Висновки

1. Розроблено новий спосіб збору даних про стан збудження м'язових тканин з використанням зворотного зв'язку та розрахунку параметрів збуджуючих сигналів при стимуляції.
2. Запропоновано методику розрахунку параметрів сигналів, що використовуються для стимуляції.
3. Розроблено пристрій для отримання сигналів, що характеризують стан збудження м'язової тканини та одночасної подачі стимулюючих сигналів.
4. На основі розробленої системи вдосконалено попередній метод стимуляції м'язів опорно-рухового апарату та контролю їх фізіологічного стану.

Література

1. Бенесон М. Е. Опір тіла людини і тварин постійному струму. / Бенесон М. Е. // Питання загальної і часткової фізіокурротерапії – Л., 1963. – Вип. 3. – С. 417–449.
2. Ситько С.П. Апаратурне забезпечення сучасних технологій квантової медицини / Ситько С.П., Скрипник Ю.А., Яненко А.Ф. – К., 1999. – 198 с.
3. Гемба В.Н. Дослідження первинних механізмів взаємодії електромагнітних полів на біологічні об'єкти / В.М. Гемба, М.М. Будник, П.П. Лошицький, В.М. Сосницький, П.І. Сутковий // Електроніка і зв'язок. – 1998. – № 5. – С. 41–45.
4. Самосюк І.З. Нетрадиційні методи діагностики та терапії / Самосюк І.З., Лисенюк В.П., Ліманський Ю.П. – К.: Здоров'я, 1994. – 240 с.
5. Русецький І.І. Покриви тіла і внутрішні органи / І.І. Русецький // Клин. мед. – 1959. – № 10. – С. 25–31.
6. Зибцов В.М. Вплив електромагнітних полів украї низької інтенсивності на вищі рослини / В.М. Зибцов, П.П. Лошицький, М. Аль Синжлави, П.З. Шеренговий // Електроніка і зв'язок. – К., 1998. – № 4. – С. 141–143.
7. Лошицький П.П. Вплив СВЧ-випромінювань украї низьких інтенсивносте на біологічні об'єкти. СВЧ техніка і супутниковий прийом. Том 5 / Лошицький П.П. – Севастополь, 1993. – С. 176–179.
8. Сташин В.В. Проектування цифрових пристроїв на однокристальних мікроконтролерах / Сташин В.В., Урусов В.У., Мологонцева О.Ф. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 224 с.
9. Радіотехніка: [енциклопедичний навчальний посібник / під ред. Мазора Ю.Л., Мачуського Є.А. Правди В.І.]. – ДО: Вища школа, 1999. – 838 с.
10. Ionescu-Tirgoviste S., Bayenaru O. Electric diagnosis in acupuncture. Amer. J. Acupuncture, 1984, vol. 12, № 3, p. 229–238.
11. Bossy J. Bases neurobiologiques des reflexotherapies. Paris, Masson, 1975.
12. Niboyet J. E. N. Essai sur l'acupuncture chinoise pratique. Paris, D. Wapler, 1951.
13. Срібло Є.І. Особливості іннервації м'язів узвишся великого пальця руки в зв'язку з анатомічним обґрунтуванням чжень- і цзю-терапії / Є.І. Срібло // Вопр. морфології, Фрунзе. – 1962. – Вип. 3. – С. 62–70.
14. Никифоров В. Г. Деякі гіпотези про структуру БАТК / В. Г. Никифоров, П. А. Змістів // Електропунктура і проблеми інформаційно-енергетичної регуляції діяльності людини. – М., 1976. – С. 215–219.
15. Pow-ell, Joanna; David Pandyan; Malcolm Granat; Margart Cameron; David Stott (1999). "Electrical Stimulation of Wrist Extensors in Poststroke Hemiplegia". Stroke: Journal of the American Heart Association 30 (7): 1384–1389. Retrieved 11 May 2011.
16. Kern H., Carraro U., Adami N., Biral D., Hofer C., Forstner C., Mödlin M., Vogelauer M., Pond A., Boncompagni S., Paolini C., Mayr W., Protasi F., Zampieri S. (2010). "Home-based functional electrical stimulation rescues permanently denervated muscles in paraplegic patients with complete lower motor neuron lesion". Neurorehabil Neural Repair 24 (8): 709–721.

References

1. Beneson M. E. Opir tila ljudyny i tvaryn postinomu strumu. / Beneson M. E. // Pytannia zahalnoi i chastkovoї fiziokurrototerapii – L., 1963. – Vyp. 3. – S. 417–449.
2. Sytko S.P. Aparaturne zabezpechennia suchasnykh tekhnolohii kvantovoї medytsyny / Sytko S.P., Skrypnyk Yu.A., Yanyenko A.F. – K., 1999. – 198 s.
3. Hembra V.N. Doslidzhennia pervynnykh mekhanizmiv vzaiemodii elektromahnitnykh poliv na biolohichni obiekty / V.M. Hembra, M.M. Budnyk, P.P. Loshytskyi, V.M. Sosnytskyi, P.I. Sutkovoi // Elektronika i zviazok. – 1998. – № 5. – S. 41–45.
4. Samosiuk I.Z. Netradytsiini metodi diahnostryky ta terapii / Samosiuk I.Z., Lyseniuk V.P., Limanskyi Yu.P. – K.: Zdorovia, 1994. – 240 s.
5. Rusetskyi I.I. Pokryvy tila i vnutrishni orhany / I.I. Rusetskyi // Klyn. med. – 1959. – № 10. – S. 25–31.
6. Zytsov V.M. Vplyv elektromahnitnykh poliv ukrai nyzkoi intensyvnosti na vyshchi roslyny / V.M. Zytsov, P.P. Loshchyskyi, M. Al Synzhlavyy, P.Z. Sherenhovyy // Elektronika i zviazok. – K., 1998. – № 4. – S. 141–143.
7. Loshytskyi P.P. Vplyv SVCh-vyprominiuvan ukrai nyzkykh intensyvnoste na biolohichni obiekty. SVCh tekhnika i suputnykovyi pryiom. Tom 5 / Loshytskyi P.P. – Sevastopol, 1993. – S. 176–179.
8. Stashyn V.V. Proektuvannia tsyfrovyykh prystroiv na odnokrystalnykh mikrokontrolerakh / Stashyn V.V., Urusov V.U., Molohontseva O.F. – M.: Enerhoatomizdat, 1990. – 224 s.
9. Radiotekhnika: [entsyklopedychnyi navchalnyi posibnyk / pid red. Mazora Yu.L., Machuskoho Ye.A. Pravdy V.I.]. – DO: Vyshcha shkola, 1999. – 838 s.
10. Ionescu-Tirgoviste S., Bayenaru O. Electric diagnosis in acupuncture. Amer. J. Acupuncture, 1984, vol. 12, № 3, p. 229–238.
11. Bossy J. Bases neurobiologiques des reflexotherapies. Paris, Masson, 1975.
12. Niboyet J. E. N. Essai sur l'acupuncture chinoise pratique. Paris, D. Wapler, 1951.
13. Sriblo Ye.I. Osoblyvosti innervatsii miaziv uzvyshsia velykoho paltsia ruky v zviazku z anatomichnym obgruntuvanniam chzhen- i tsiu-terapii / Ye.I. Sriblo // Vopr. morfologii, Frunze. – 1962. – Vyp. 3. – S. 62–70.
14. Nikiforov V. H. Deiaki hipotezy pro strukturu BATK / V. H. Nykyforov, P. A. Zmistiv // Elektropunktura i problemy informatsiino-energetichnoirehuliatcii diialnosti ljudyny. – M., 1976. – S. 215–219.
15. Pow-ell, Joanna; David Pandyan; Malcolm Granat; Margart Cameron; David Stott (1999). "Electrical Stimulation of Wrist Extensors in Poststroke Hemiplegia". Stroke: Journal of the American Heart Association 30 (7): 1384–1389. Retrieved 11 May 2011.
16. Kern H., Carraro U., Adami N., Biral D., Hofer C., Forstner C., Mödlin M., Vogelauer M., Pond A., Boncompagni S., Paolini C., Mayr W., Protasi F., Zampieri S. (2010). "Home-based functional electrical stimulation rescues permanently denervated muscles in paraplegic patients with complete lower motor neuron lesion". Neurorehabil Neural Repair 24 (8): 709–721.

ВОЗНЯК О. М.

Вінницький національний аграрний університет
e-mail: alex.voz1966@gmail.com

ШТУЦЬ А. А.

Вінницький національний аграрний університет
e-mail: shtuts1989@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-4242-2100

КОЛІСНИК М. А.

Вінницький національний аграрний університет
e-mail: kolisnik30@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЛІНІЙНОГО АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ВІБРОЦЕНТРОБІЖНОГО СЕПАРАТОРА ЗЕРНА

Розвиток сільського господарства залежить від умов забезпечення якості та збереження вирощеної і виробленої продукції. Для вирішення цих завдань, зокрема, зернопереробні підприємства повинні мати добре оснащення, технічну базу, здатну забезпечити якісне сепарування зерна, що надходить без втрат протягом короткого терміну. Сепарація зернових має ключове місце не тільки в процесі переробки, а є одним з основних шляхів, що сприяють підвищенню врожайності зернових культур, так як процес сепарування сприяє відбору найбільш високоякісного (фізіологічно дозрілого) посівного матеріалу. Робота з зерном базується на основних принципах, які включають в себе прогресивну технологію, потокові методи обробки та автоматизацію процесу виробництва. Переважна більшість використовуваних на сьогоднішній день в сільському господарстві машин для сепарації мають досить низьку продуктивність, тому що переважно для очищення зернових сумішей використовують гравітаційні сили. Щорічно вимоги виробництва зростають і вимагають нових, найбільш енергетично і технологічно ефективних способів сепарування, а також створення або модернізації існуючих сепаруючих машин з більш високими показниками продуктивності, якості та ефективності розділення зернових сумішей.

Основною проблемою при розгляді питань вдосконалення з тимчасових зернових вібродієтрових сепараторів є відсутність основи конструктивної схеми вібраційного приводу, яка дасть можливість здійснення заданого закону коливань з необхідною точністю і можливістю плавно регулювати амплітуду і частоту коливань робочого органа у вертикальній площині. Цікаві і широкі перспективи розвитку електроприводу пов'язані із застосуванням так званих лінійних двигунів. Лінійні двигуни можуть бути асинхронними, синхронними і постійного струму, повторюючи за принципом своєї дії відповідні двигуни обертального руху. Вібросепаратор і його електропривод дозволить значно поліпшити якість технологічного процесу, підвищити ефективність розподілу зернових сумішей і термін експлуатації машин [11]. Для повного розуміння стану питання розглянемо конструкції зерноочисних сепараторів, найбільш поширених на сільськогосподарських підприємствах нашої країни.

Ключові слова: система управління, лінійний асинхронний електродвигун, вібродієтробіжний сепаратор, технологічні процеси, розробка, дослідження, удосконалення, зерно.

WOZNIAK A. M., SHTUTS A. A., KOLISNYK M. M.
Vinnytsia National Agrarian University

JUSTIFICATION OF PARAMETERS AND DEVELOPMENT OF A LINEAR ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE OF A VIBROCENTER GRAIN SEPARATOR

The development of agriculture depends on the conditions of quality assurance and preservation of grown and produced products. To solve these problems, in particular, grain processing enterprises must have a well-equipped technical base capable of ensuring high-quality separation of grain, which arrives without losses in the short term. Separation of cereals is a key place not only in the processing process, but also is one of the main ways to increase the yield of cereals, as the separation process contributes to the selection of the highest quality (physiologically mature) seed. Work with grain is based on basic principles, which include advanced technology, flow processing methods and automation of the production process. Post-harvest processing of grain must ensure the timely organization and timely execution of all its stages while ensuring the minimum possible values of energy and complexity of the process. The vast majority of separation machines used today in agriculture have a fairly low productivity, as most of them use gravitational forces to clean grain mixtures. Every year, production requirements are growing, and require new, most energy and technologically efficient methods of separation, as well as the creation or modernization of existing separating machines with higher productivity, quality and efficiency of separation of grain mixtures. Without theoretical and practical research, grain cleaning machines are impossible to further improve and create new, high-tech and energy-efficient structures. The main difficulty in considering improvements in temporary grain vibratory centrifugal separators is the lack of a basic design scheme of the vibrating drive, which will allow the implementation of a given law of oscillations with the required accuracy and ability to smoothly adjust the amplitude and frequency of oscillations in the vertical plane. Interesting and broad prospects for the development of electric drive are associated with the use of so-called linear motors. A large number of production mechanisms and devices have translational or reciprocating motion of the working bodies (lifting and transport machines, feed mechanisms of various machines, presses, hammers, etc.). As the drive of these mechanisms and devices, conventional electric motors were used in combination with special types of mechanical transmissions (crank mechanism, screw-nut transmission), transformed the rotational motion of the working body. Linear motors can be asynchronous, synchronous and direct current, repeating the principle of their operation of the corresponding motors of rotational motion.

Key words: Control system, asynchronous electric motor, vibration center separator, technological processes, development, research, improvement, grain.

Постановка проблеми

Як відомо, процес сепарування зернових сумішей, тобто поділ їх на фракції, що відрізняються властивостями частинок, є однією з ключових технологічних операцій у процесах приймання, зберігання і переробки зерна.

На підприємствах зберігання та переробки зерна найбільш широкого спектру отримало сепарування [1]. Під час сепарування поряд з основними ознаками поділу, такими як розміри і форма частинок, на процес впливають (сприяють або ускладнюють) щільність, коефіцієнт тертя поверхні. Однією з основних проблем для подальшого вдосконалення й підвищення ефективності сепарування плоскими решетами є використання сил гравітації при розділенні зернових сумішей.

Найбільш перспективними серед плоскорешітчастих машин є віброцентробіжні зернові сепаратори (ВЦС), які для інтенсивного сепарування оброблюваної зернової суміші використовують сили інерції обертання і вібрації.

Таким чином, застосування вібрації при сепаруванні зернових сумішей викликає досить великий інтерес. Для подальшого, більш широкого використання зернових сепараторів на основі вібрації на сільськогосподарських підприємствах необхідне подальше дослідження технології вібропідготовки, конструкції.

Результати досліджень

Розглянуто питання сепарування сипучих зернових сумішей за допомогою лінійного асинхронного електроприводу віброцентробіжного сепаратора зерна. Розглянуто існуючі конструкції коливальних приводів віброцентробіжних зернових сепараторів, наведено їх порівняльні характеристики.

Дослідження процесів сепарування зернових сумішей в зернових сепараторах проведені багатьма вченими. Серед них можна відзначити роботи П.С. Берника, Л.В. Ярошенка, О.В. Солоної, О.В. Цуркана, Я.І. Лейкіна, І.І. Блехмана, І.Е. Кожуховського та інш.

Метою дослідження є обґрунтування параметрів і розробка лінійного асинхронного електроприводу віброцентробіжного сепаратора зерна.

Широке поширення у фермерських господарствах отримали плоскорешітчасті зерноочисні сепаратори. На рис. 1 представлений очищувач вороху ОВС-25С. Даний агрегат призначений для попередньої та первинної очистки зернових круп'яних, зернобобових культур, кукурудзи, соняшника, насіння ріпаку від різних бур'янів та домішок.



Рис. 1. Очищувач вороху ОВС-25С

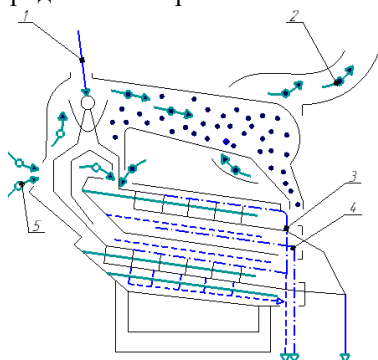


Рис. 2. Технологічна схема роботи ОВС-25С:
1 - основний потік; 2 - чисте повітря; 3 - великі домішки; 4 - дрібні домішки; 5 - відпрацьоване повітря

Зернова суміш, яка пройшла попередню очистку повітрям, попадає на верхній і нижній стани. Процес очищення на верхньому і нижньому станах абсолютно аналогічний. Очищене зерно потрапляє на задній приймач. Після приймача очищене зерно за допомогою шнека подається у нижню частину транспортера.

Однак невисока ефективність поділу існуючих плоскорешітчастих сепараторів не відповідає щорічно зростаючим вимогам промисловості, а подальше підвищення якості сепарування зернової суміші в сепараторах даного типу обмежена силами гравітації.

Відцентрові сепаратори. У пошуку найбільш ефективних і продуктивних способів очищення зернових мас багатьма дослідниками було відмічено відцентрове сепарування.

За результатами роботи численних дослідників виникла велика кількість різних конструкцій відцентрових сепараторів, які дають змогу створювати інерційне поле із зусиллям, що в кілька разів перевищує шум зусилля поля сил тяжіння. Відцентрове сепарування характеризується фактором поділу, званим числом Фруда.

$$F = \frac{R_{\sigma} \cdot \Omega_{\sigma}^2}{g}$$

Де R_{σ} – радіус решета, м; Ω_{σ} – кутова обертання швидкості робочого органа, рад/с.



Рис. 3. Віброцентробіжний зерновий сепаратор «Промінь»

На рис. 3 представлений віброцентробіжний зерновий сепаратор «Промінь», робочими органами якого є циліндричні похилі решета, призначені для очищення зернових культур від великих, дрібних і легких домішок на елеваторах, заводах, механізованих токах та інших об'єктах переробки зерна.

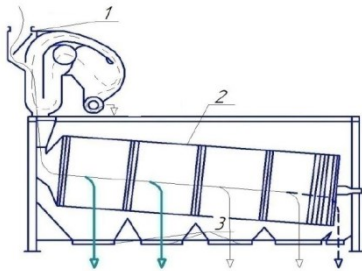


Рис. 4. Технологічна схема віброцентрового зернового сепаратора «Промінь»:
1 – приймальний патрубок,
2 – ситовий барабан, 3 – випускні патрубки

Віброцентробіжний зерновий сепаратор, представлений на рис. 4, із складається ситового і повітряного сепараторів. Вихідна зернова суміш, яка надходить у машину через приймальний патрубок 1, очищається від легких бур'янистих домішок за допомогою продувки зустрічним потоком повітря. Після цього зерно надходить в ситовий барабан 2, де очищається від домішок, що відрізняються від зерна основної культури розмірами. Отримані при роботі сепаратора фракції окремо виводяться з машини через випускні патрубки 3. Очищення сит від застряглих зерен здійснюється за допомогою блоків рухомих щіток ковзання.

Ситовий сепаратор (ситовий барабан) дає можливість виконувати попереднє очищення, первинне очищення, вторинну очистку (сортування, калібрування).

Підвищення частоти обертання ситового барабана сприяє збільшенню відцентрових сил, які притискають зернову масу до поверхні барабана. Отже, збільшується сила тертя шарів зернової суміші з поверхнею сит і між собою, що різко зменшує швидкість пошарового руху зерна і продуктивність, підвищує травмування зернових частинок, але при цьому зростає ефективність поділу. Для цього застосовують різні способи, наприклад, використовують додатковий обдув за допомогою потоку повітря, надають ситовому барабану осьові або обертальні коливання.

Зазначені способи використані в зернових вібраційно-відцентрових сепараторах.

Вібровідцентрові зернові сепаратори. Порівняно з поділом зернових сумішей із застосуванням сил гравітації (в плоскорешітчастих машинах) надання робочим органам сепаратора коливальних рухів уздовж осі обертання дає можливість значною мірою збільшити продуктивність і ефективність процесу сепарування. Віброцентробіжні зерноочисні машини, в порівнянні з плоскорешітчастими, мають суттєві переваги з огляду на те, що:

- вібрація робочих органів дає змогу знизити сили тертя і зчеплення між зерновими частинками. Це збільшує їх рухливість (зернова маса починає вести себе як рідина) і дозволяє підвищити ступінь просівання зернових частинок через отвори решета;
- вібрація сприяє більш якісному процесу перерозподілу зернової суміші в шарі і по поверхні решета, що значно збільшує ефективність сепарування;
- коливання робочого органа з певними значеннями амплітуди і частоти спільно з обертальним рухом сприяє підвищенню ефективності сепарування, що є актуальним при сепаруванні важкорозподільних сумішей.

Лінійний асинхронний двигун дає можливість відмовитися від перетворення виду руху, при перетворенні електричної енергії в поступальний рух другорядного елемента. Серед технічної різноманітності лінійних електродвигунів особливий інтерес викликає плоский лінійний асинхронний трифазний двигун, представлений на рис. 5.

Лінійний асинхронний двигун (ЛАД) має досить просту конструкцію, дешевий у виготовленні і володіє широким розмаїттям конструктивних рішень. ЛАД значно дешевший за електродвигуни постійного струму й при цьому його надійність більша в три рази. В якості ротора (другорядного елемента) використано ЛАД робочого органа технологічної машини, при цьому його форма може мати різні варіації. При цьому тягове зусилля, індуктором, становить для малих ЛАД в межах $0,3 \text{ Н/см}^2$, для середніх, і великих ЛАД до $0,6 \text{ Н/см}^2$ [1; 3].

Отримання поступального руху робочого органа технологічного обладнання призводить до необхідності застосування в схемах лінійного електроприводу режиму противмикання, що веде до великих втрат і є енергетично доцільним, якщо технологічний процес вимагає додаткового нагріву робочого органа.

Отже, для більшої енергетичної ефективності приводу коливального руху на базі лінійного електродвигуна його потрібно спростити. Найбільш енергетично і економічно ефективним способом спрощення, є застосування накопичувачів енергії. Таке технічне рішення дає можливість виробляти повернення робочого органу машини в початковий стан за допомогою збереженої енергії пружних елементів і дозволяє знизити споживання енергії з мережі [3].

Найбільш ефективними накопичувачами є різного роду пружні елементи, з яких переважно циліндричні гвинтові пружини. Вони дешеві у використанні прості у виготовленні, в налаштуванні і в установці, мають високі експлуатаційні характеристики [6].

Також, вибираючи в якості приводу вібраційного руху плоский ЛАД, варто враховувати, що двигун має великий немагнітний зазор, що позитивно позначається на роботі двигуна, підвищуючи його надійність при роботі в режимі частих пусків, знижуючи пусковий струм [1].

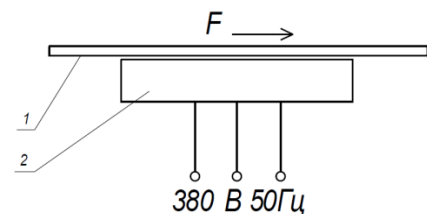


Рис. 5. Плоский односторонній ЛАД:
1 – другорядний елемент (ротор);
2 – індуктор (статор)

З урахуванням сказаного, можна зробити висновок, що перспективним напрямком вдосконалення і підвищення техніко-економічних показників ЛАД вібраційного приводу є застосування ЛАД. Це дасть можливість забезпечити конструктивно-технологічну простоту приводу, дозволить збільшення довговічності машини і значно скоротити експлуатаційні витрати. Дасть можливість легко здійснювати пуск також під навантаженням плавно регулювати амплітуду коливання робочого органа шляхом імпульсного управління.

Дослідження приводних характеристик вібровідцентрового сепаратора з лінійним асинхронним електроприводом. Проектування коливальних приводів робочого органа вібровідцентрового сепаратора (ВЦС) у вертикальній площині на базі плоского ЛАДу повинне бути функціональним і раціональним, тобто має забезпечити певний закон коливань для виконання технологічного процесу і збереження якості сепарування зернової суміші, повинна мати високу енергетичну ефективність, мінімальні витрати та монтаж, витрати на технічне обслуговування і капітальний ремонт [6].

Вибір раціонального електроприводу здійснюється за основними приводними характеристиками робочої машини: технологічної, кінематичної, механічної, амплітудно-частотної, навантажувальної та енергетичної [12].

Аналіз дослідження приводних характеристик ВЦС на базі плоского ЛАД здійснювали за допомогою математичної моделі, описаної в [12], при наданих параметрах схеми заміщення плоского ЛАД: $R_1 = 4,08 \text{ Ом}$, $X_1 = 0,145 \text{ Ом}$, $X_2 = 0,9 \text{ Ом}$, $X/m = 4,7 \text{ Ом}$, $R_2 = 5,0 \text{ Ом}$, полюсне ділення $\tau = 0,036 \text{ м}$, $V_0 = 3,6 \text{ м/с}$. Модель [6] була розвинена і доповнена з урахуванням нового технічного рішення [8].

Першочергово, при математичному дослідженні ВЦС з плоским ЛАД головне значення мали приводні характеристики, при моделюванні було прийнято допущення і розглянута спрощена модель руху зернової суміші.

Механічні характеристики. Основою коливального приводу є лінійний асинхронний електродвигун, механічна характеристика якого залежить від тягового зусилля та швидкості робочої машини. Дана характеристика необхідна для аналізу перехідних процесів і дозволяє визначити можливості пуску електроприводу і його стійкої роботи, а також для подальшої побудови навантажувальної діаграми приводу [6].

Переймаючись різними значеннями фазної напруги U_ϕ шляхом математичного моделювання з використанням графічного побудовувача ХУ Graph [10], була отримана механічна характеристика ЛАД, яка представлена на рис. 6.

Як видно з рис. 6 при зниженні напруги швидкість ідеального холостого ходу залишається постійною, а максимальне тягове зусилля двигуна зменшується приблизно пропорційно квадрата зниження напруги.

Навантажувальна характеристика (діаграма) коливального приводу ВЦС, визначається технологічною характеристикою, яка була розглянута в [6]. Характеристика дає можливість визначити режим роботи електродвигуна в коливальному приводі і являє собою залежність зусилля робочої машини від часу [6].

Як видно з навантажувальної діаграми, представленої на рис. 7–9, навантаження на двигун змінне, з миттєвим наростанням сил та опорів. Вище наведена залежність при математичному моделюванні отримана при частоті коливань робочого органу рівного 10 Гц, для спрощених моделей руху зернової суміші, тобто для насінневого зерна розглянута одношарова модель, для зернового кагату двошарова, для зернового кагату тришарова [10].

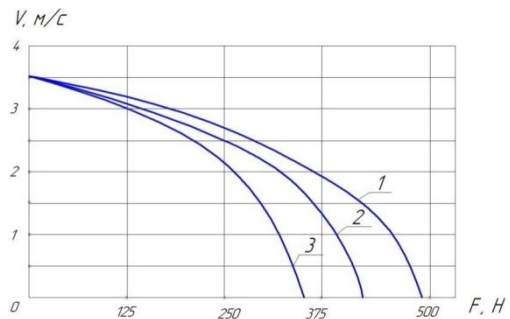


Рис. 6. Механічна характеристика плоского ЛАД при різних значеннях фазної напруги: 1 – $U_\phi = 220 \text{ В}$, 2 – $U_\phi = 210 \text{ В}$, 3 – $U_\phi = 190 \text{ В}$

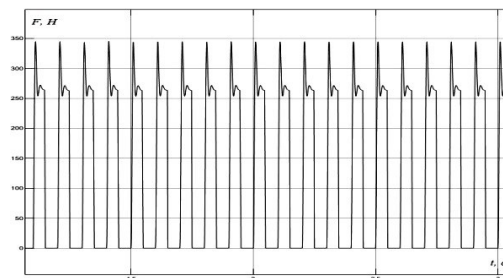


Рис. 7. Залежність сили розвивається плоским ЛАД від часу при обробці насінневого зерна

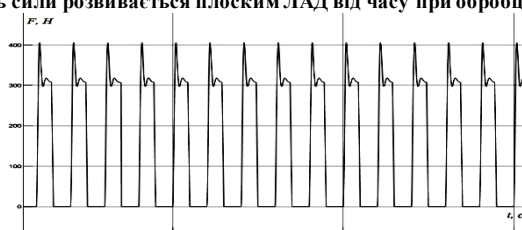


Рис. 8. Залежність сили розвивається плоским ЛАД від часу при обробці продовольчого зерна

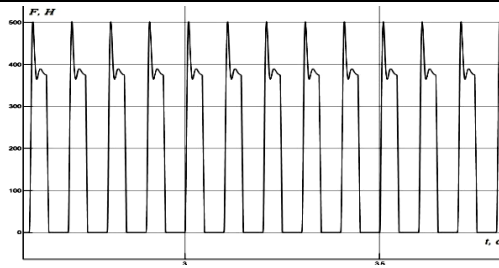


Рис. 9. Залежність сили розвивається плоским ЛАД від часу при обробці зернової крупи

На підставі отриманих характеристик робимо висновок, що плоский ЛАД у коливальному приводі працює в режимі S1, зі змінним навантаженням.

Аналіз впливу конструктивних і режимних параметрів коливального приводу на амплітудно-частотні характеристики. Оптимальний кінематичний режим сепарації насіння конкретної зернової культури має своє певне поєднання узгоджених один з одним значень частоти і амплітуди коливань робочого органа [3]. Визначення амплітудно-частотних характеристик залежно від конструктивних і режимних параметрів приводу є важливим дослідницьким завданням, так як отримані залежності можуть бути використані при проектуванні конкретних конструкцій.

Дослідження амплітудно-частотних характеристик та математичної моделі [6] отримано при наступних параметрах: жорсткість пружних елементів $z = 4000 \dots 6000$ Н/м; маса робочого органа $m_1 = 15$ кг; маса зернової суміші $m_2 = 1,5 \dots 8,0$ кг.

Для якісного поділу насіння при зміні виду сільськогосподарської культури і її параметрів потрібно регулювати амплітуду коливань $\omega_{\text{кол}}$ робочого органа ВЦС. Ефективним способом регулювання цих параметрів є зміна жорсткості пружних елементів, частоти і тривалості включення плоского ЛАД до джерела живлення [6].

Частота коливань робочого органа $\omega_{\text{кол}}$ дорівнює частоті включення індукторів плоского ЛАД $\omega_{\text{вкл}}$, амплітуда визначається частотою і тривалістю включення плоского ЛАД, з урахуванням жорсткості з пружних елементів і маси коливальної системи $M = m_1 + m_2$.

На рис. 10, а представлена залежність амплітуди коливань робочого органа від тривалості увімкнення плоского ЛАД до мережі. Як видно з рис. 10, а в проміжку тривалості увімкнення плоского ЛАД від 10 до 50 % амплітуда коливань робочого органа зростає, та досягає свого максимального значення, потім починає спадати. Робота ВЦС в режимі вимушених коливань дозволяє залежно від параметрів оброблюваної зернової суміші, регулювання параметрів коливань робочого органа в потрібних межах.

Однак варто враховувати, що енергоефективний режим роботи коливального приводу при імпульсному управлінні буде здійснюватися при тривалості увімкнення ЛАД не більше 50 % від періоду коливань (рис. 10, б). Це пов'язано з тим, що при збільшенні тривалості увімкнення понад 50 %, робочий орган не буде повертатися в початковий стан, і електродвигун в приводі буде працювати в режимі противмикання.

На рис. 11 представлені розрахункові амплітудно-частотні характеристики ВЦС з плоским ЛАД при різних жорсткості пружних елементів. Тривалість увімкнення плоского ЛАД становить 50 % від часу коливань, частота увімкнення 10 Гц.

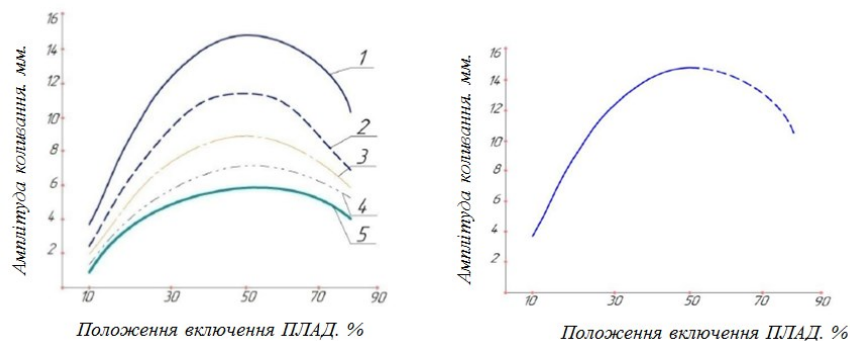


Рис. 10. Залежність амплітуди коливань

Робочі органи від тривалості увімкнення плоского ЛАД:

1 – при $\omega_{\text{кол}} = 7$ Гц, 2 – при $\omega_{\text{кол}} = 8$ Гц, 3 – при $\omega_{\text{кол}} = 9$ Гц, 4 – при $\omega_{\text{кол}} = 10$ Гц, 5 – при $\omega_{\text{кол}} = 11$ Гц

Як видно з рис. 10 та 11 зміна жорсткості пружних елементів спільно з імпульсним керуванням плоским ЛАД дають можливість за рахунок частоти і тривалості включення ЛАД регулювати параметри коливання робочого органа в потрібних межах для забезпечення якості сепарації зерна [9].

Параметри коливань робочого органа а, отже, електроприводу, в свою чергу залежать від маси коливальної системи [10]. На рис. 12 представлені графіки амплітудно-частотних характеристик ВЦС при зміні маси зернової суміші на решетах.

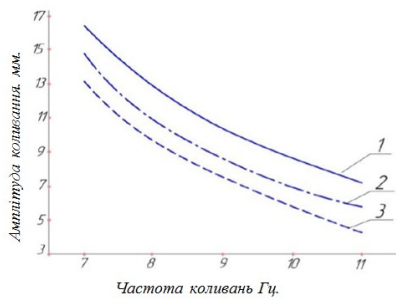


Рис. 11. Амплітудно-частотні характеристики ВЦС залежно від жорсткості пружного елемента:
 1 – при $z = 6000$ Н/м,
 2 – при $c = 5000$ Н/м, 3 – при $c = 4000$ Н/м

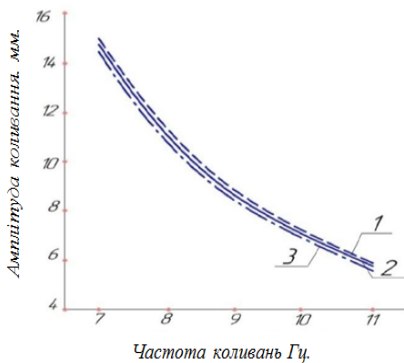


Рис. 12. Амплітудно-частотні характеристики ВЦС залежно від маси коливної системи:
 1 – $m = 19$ кг, 2 – $m = 20$ кг, 3 – $m = 21$ кг

Маса робочого органа складає $m_1 = 15$ кг, маса зернової суміші m_2 коливається від 4 до 6 кг.

Як видно з рис. 12, збільшення або зменшення маси коливної системи на 10 % не має значного впливу на амплітудно-частотну характеристику ВЦС. Це дає можливість зробити висновок про те, що змінюється навантаження при роботі приводу в режимі вимушених коливань, що не призводить до порушення закону коливань робочого органа і забезпечить якість технологічного процесу. Так як коливальний привід працює в режимі вимушених коливань, тобто частота коливань задається за допомогою блоку управління [3], особливий інтерес викликає тривалість перехідних процесів, тобто час від пуску установки до усталеного режиму роботи. За допомогою математичної моделі, задавшись наступними параметрами: $c = 5000$ Н/м, частота коливань робочого органа – 10 Гц, тривалість увімкнення плоского ЛАД – 50 %, маса коливної системи 20 кг, вийшла наступна залежність, що дозволяє оцінити час перехідних процесів (рис. 13).

Як видно з рисунка, час перехідного процесу складає 2 с. З огляду на той факт, що при експериментальному дослідженні режим роботи установки вважали сталим через 20 с після початку її роботи, можна вважати, що перехідні процеси не будуть впливати на якість сепарування.

Одним з вирішальних впливів на рух зернового матеріалу по поверхні решіт є максимальне прискорення коливального руху робочого органа [4], яке визначає швидкість, режими і характер руху зернового матеріалу. Якщо шар зернової суміші на решеті невеликий, незначна товщина відокремлюваних часток, то для їх надійного просіювання досить змусити решето пришвидшитися, що не перевищуватиме 25 м/с².

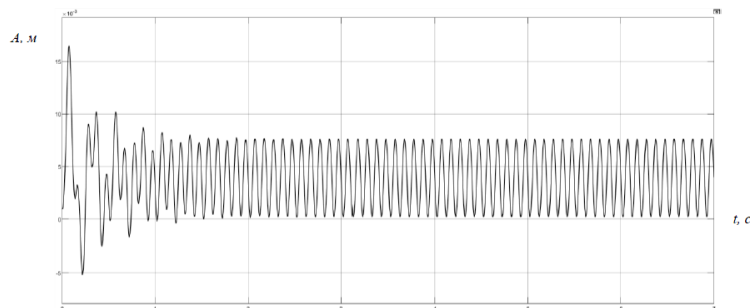


Рис. 13. Залежність амплітудно-частотної характеристики від часу

Однак при значній товщині шару необхідно змусувати решето пришвидшуватися до 30 м/с², щоб дрібні частинки проникли через шар і досягли отворів решета. При перевищенні значення прискорення понад 30 м/с² відбувається процес «віброкипіння» зернової суміші, що призводить до порушення виробничого процесу, зниження ймовірності западання частинок зернової суміші в отвори решіт і значного зниження ефективності поділу.

На рис. 14 представлена залежність прискорення робочого органа ВЦС від амплітуди коливань робочого органа при його русі робочого органу вниз і вгору. Маса коливань системи при моделюванні становила $M = 20$ кг, жорсткість пружного елемента $z = 6000$ Н/м, тривалість увімкнення плоского ЛАД – 50 % від періоду коливань.

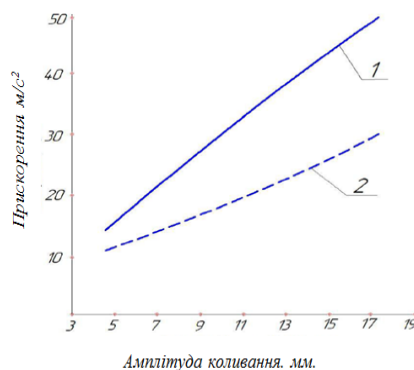


Рис. 14. Залежність прискорення робочого органа ВЦС від амплітуди коливань при русі робочого органа: 1 – вниз, 2 – вгору

Як видно з графіка, при збільшенні амплітуди коливань робочого органа збільшується його прискорення. Причому, значення прискорення робочого органа при русі вгору значно вище, ніж при русі вниз. Це обумовлено застосуванням у підвісці вібраційного приводу пружних елементів, які, у свою чергу, забезпечують плавний рух зернової суміші вниз по обертанні робочого органа.

Енергетичні характеристики і продуктивність. Аналіз енергетичної характеристики дає можливість оцінки загальної та питомої витрати електричної енергії, споживаної коливальним приводом для забезпечення технологічного процесу [8].

Частота ввімкнення ЛАД у коливальному приводі ВЦС знаходиться в інтервалі 5–11 Гц, тому з'являється можливість проаналізувати один з енергетичних параметрів, наприклад, струм індуктора ЛАД і простежити його взаємозв'язок з технологічними параметрами машини. В якості технологічного параметра можна розглянути амплітудно-частотну характеристику. У сталому режимі, при змодельованому імпульсному управлінні плоским ЛАД із середнім значенням немагнітного зазору, що дорівнює 3 міліметрам, струм індуктора представлений на рис. 15.

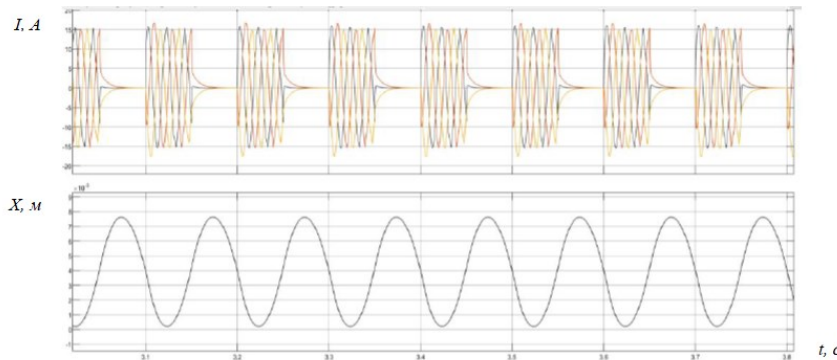


Рис. 15. Тимчасові залежності фазного струму індуктора ЛАД і траєкторії переміщення робочого органа в процесі роботи

Як видно з рисунка, зміна фазного струму в імпульсному режимі в момент пуску не перевищує 12 % від сталого значення, при цьому тривалість протікання струму становить 0,1 с.

Важливим в сепарації зерна є якість поділу зернової суміші, для забезпечення якого необхідно обґрунтувати параметри електроприводу, і визначити продуктивність установки. На рис. 14 представлено розподілення зернової суміші на решеті. Зернова суміш подається розкидачами на внутрішню поверхню приймальної ділянки решета у верхній його частині, утворюючи кільцевий шар (рис. 16, а), і під дією сили тяжіння F_m і коливань суміш рухається зверху вниз. Вільна поверхня шару суміші утворює циліндричну поверхню радіусом R_0 [9].

Для визначення продуктивності Q ВЦС зерна [11] був використаний спрощений варіант моделі, в якій кільцевий шар змінної в'язкості розділяється на два однорідних кільцевих шари (рис. 16, б) з різними коефіцієнтами динамічної в'язкості μ .

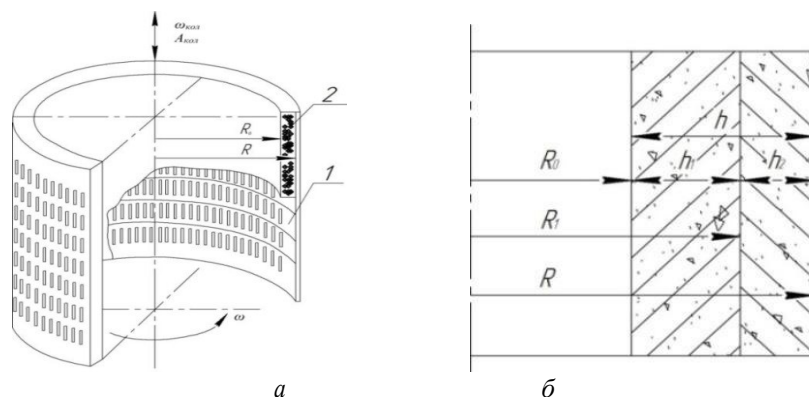


Рис. 16. Розподіл зернової суміші на решеті:

а – схема циліндричного решета; б – розподіл зернової суміші на поверхні циліндричного решета: 1 – решето, 2 – шар зерна

На рис. 17 представлена залежність сили, яка розвивається плоским ЛАД від продуктивності ВЦС при різних товщинах зернового шару на решетах. Товщина зернового шару визначається видом зернової суміші. При отриманні розрахункової залежності прийняті за базові величини: щільність зернової суміші – 730 кг/м³ (параметри зерна пшениці з вологістю 16 %); номінальна кутова швидкість робочого органа складає $\omega = 11,5$ рад/с (110 об/хв); жорсткість пружних елементів $c = 5000$ Н/м; тривалість увімкнення ЛАД становить 50 %, частота коливань робочого органа – 10 Гц, модель руху зернової суміші спрощена, тобто для насінневого зерна розглянута одношарова модель, для продовольчого двошарова, для зернового порошку тришарова [12].

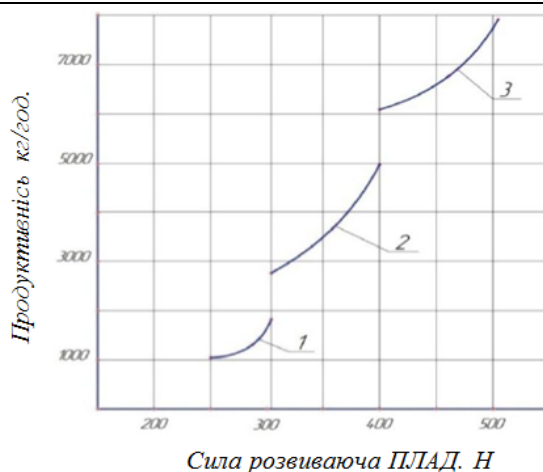


Рис. 16. Залежність продуктивності ВЦС від сили ЛАД:
1 – насіннєве зерно, 2 – продовольче зерно, 3 – попереднє очищення (зернового кагату)

Для оцінки енергетичних показників коливального електроприводу ВЦС отримана розрахункова залежність продуктивності ВЦС від потужності плоского ЛАД (рис. 17).

Залежність отримана при тривалості ввімкнення плоского ЛАД – 50 % від часу коливань. Як видно з графіка, потужність ЛАД для продуктивності 6000 кг/год становить 2,8 кВт/год, що на 28 % менше, ніж по споживанню існуючої установки ВЦС при тій же продуктивності, додаткові 22 % витрачаються на здійснення стиснення пружних елементів.

Таким чином, аналіз математичної моделі дозволяє на етапі проектування ВЦС плоским ЛАД вибрати найбільш раціональні конструктивні і режимні параметри роботи коливального приводу.

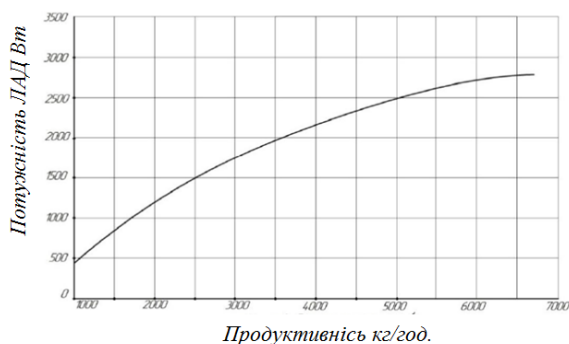


Рис. 17. Розрахункова залежність продуктивності ВЦС від потужності ЛАД

Висновки

1. Проведено аналіз основних зерноочисних машин, які застосовуються на підприємствах, здійснюють переробку зернових сумішей (плоскорешетні, відцентрові і віброцентробіжні зерноочисні сепаратори). Виявлено, що віброцентробіжні сепаратори за своїми технологічними показниками є найбільш ефективними для очищення зернових сумішей.

2. Зроблено аналіз можливих приводів коливального руху для зерноочисних установок, з якого видно, що перспективним напрямом розвитку електроприводу коливального руху є створення електротромеханічних систем на базі лінійних асинхронних двигунів, відмінними особливостями яких є використання в якості ротора робочого органу машини. В даному випадку ККД електродвигуна приводу, є таким, що не виконується в інших приводах.

Разом з тим коливальний рух робочого органу у вертикальній площині на базі ЛАД з визначенням приводних характеристик і технологічних параметрів приводу недостатньо досліджені, що стримує подальший розвиток даного напрямку. У зв'язку з цим, дослідження основних характеристик з визначенням параметрів приводу робочого органу у вертикальній площині на базі плоского ЛАД є актуальним для підвищення ефективності ВЦС.

3. Проведено аналіз приводних характеристик ВЦС з лінійним електроприводом за допомогою математичної моделі середовищі об'єктно-візуального моделювання Matlab (Simulink).

Література

1. Калетнік Г. М., Олійнічук С. Т., Скорук О. П. Альтернативна енергетика України. Особливості функціонування і перспективи розвиток. Вінниця : «Едельвейс», 2012. 256 с.

2. Возняк О.М., Штуць А.А., Колісник М.А. Сучасні системи електроприводів. Теорія та практика частина 1 : навч. посіб. Вінниця : ТОВ «ТВОРИ», 2021. 280 с.
3. Семенов В.А. Процесс сепарирования в центробежном сепараторе с пульсирующим изменением скорости : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.18.12. Краснодар, 2012. 24 с.
4. Халилов Б.Р. Виброцентробежная зерноочистительная машина с линейным электроприводом. Инновации в агрохимии, ветеринарии, сельском хозяйстве и экологии : сб. материалов Междунар. конкурса науч. работ студентов, аспирантов и молодых ученых. 2016. С. 74.
5. Видмиш А.А., Ярошенко Л.В. Основы электропривода. Теорія та практика. Частина 1 : навч. посіб. Вінниця : ТОВ «ТВОРИ», 2020, 390 с.
6. Матвійчук В.А., Стаднік М.І., Рубаненко О.О. Электропривод виробничих машин і механізмів : навчальний посібник з виконання курсової роботи для спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Вінниця : ВНАУ, 2016. 92 с.
7. Стаднік М.І., Видмиш А.А., Штуць А.А., Колісник М.А. Інтелектуальні системи в електроенергетиці. Теорія та практика : навч. посіб. Вінниця : ТОВ "ТВОРИ", 2020. 332 с.
8. Возняк О.М., Штуць А.А., Замрій М.А. Розробка мікропроцесорного контролера для вимірювання лінійного переміщення рухомих органів виконавчих механізмів вібраційних машин. Вібрації в техніці та технологіях. 2020. № 2(101). С. 71–84.
9. Возняк О.М., Штуць А.А. Дослідження системи контролю температури природного газу. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2020. № 3 (110). С. 34–50.
10. пат. 123617 Україна Вибросито для очищення бурового розчину з регульованими параметрами коливань : МПК E21B 21/06, B65G 27/02, B65G 27/32, B06B 1/16, B01D 21/28. № а 2019 11373 / Ярошенко Л.В., Штуць А.А., Колісник М.А. – заяв. 22.19.2019 ; опубл. 25.05.2020, Бюл. № 17.
11. Возняк О.М., Штуць А.А., Замрій М.А. Система управління колекторним двигуном Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2021. № 1(112). С. 100–112.
12. Видмиш А.А., Штуць А.А. Поліпшення характеристик перетворювача електропривода в перехідних режимах. Вісник Львівського національного аграрного університету. Агроінженерні дослідження. 2019. № 23. С. 61–69.
13. Солоня О.В. Статика взаємодії абсолютно твердих тіл із сипучим середовищем. Вібрації у техніці та технологіях. 2018. № 3 (90). С. 105–116.
14. Спірін А.В., Цуркан О.В. Оцінка на конкурентоздатність вібраційного змішувача. Вібрації в техніці та технологіях. 2004. № 2(34). С. 70–72.
15. Цуркан О.В. Розробка та дослідження енергоощадного вібраційного змішувача для внесення преміксів в комбікорми. Харків. 2004. С. 192–205.
16. Видмиш А.А. Синхронізовані асинхронні двигуни з фазним ротором для енергозберігаючих технологій в агропромисловому комплексі. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2019. № 1 (104). С. 84–88.
17. Видмиш А.А., Штуць А.А., Колісник М.А. Багатофункціональне використання асинхронних двигунів з фазним ротором. Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. 2021. № 1 (293). С. 104–113.
18. Видмиш А.А., Штуць А.А. Дослідження динамічних характеристик замкненої системи електропривода гравітаційного бетонозмішувача шляхом комп'ютерного моделювання. Вісник ХНУ. Серія: Технічні науки. 2021. № 1 (293). С. 113–125.

References

1. Kaletnik H. M., Oliinichuk S. T., Skoruk O. P. Alternatyvna enerhetyka Ukrainy. Osoblyvosti funktsionuvannia i perspektyvy rozvytok. Vinnytsia : "Edelveis", 2012. 256 s.
2. Vozniak O.M., Shtuts A.A., Kolisnyk M.A. Suchasni systemy elektropryvodiv. Teoriia ta praktyka chastyna 1 : navch. posib. Vinnytsia : TOV "TVORY", 2021. 280 s.
3. Semenov V.A. Process separirovaniya v centrobeznom separatore s pulsiruyushim izmeneniem skorosti : avtoref. dis. kand. tehn. nauk : 05.18.12. Krasnodar, 2012. 24 s.
4. Halilov B.R. Vibrocentrobezhnaya zemoochistitelnaya mashina s linejnym elektroprivodom. Innovacii v agrohimii, veterinarii, selskom hozyajstve i ekologii : sbomik materialov Mezhdunarodnogo konkursa nauchnyh rabot studentov, aspirantov i molodyh uchennyh. 2016. S. 74.
5. Vydmysh A.A., Yaroshenko L.V. Osnovy elektropryvoda. Teoriia ta praktyka. Chastyna 1 : navch. posib. Vinnytsia : TOV "TVORY", 2020, 390 s.
6. Matviichuk V.A., Stadnik M.I., Rubanenko O.O. Elektropryvod vyrobnychkh mashyn i mekhanizmv : navchalnyi posibnyk z vykonannya kursovoi roboty dlia spetsialnosti 141 «Elektroenerhetyka, elektrotekhnika ta elektromekhanika». Vinnytsia : VNAU, 2016. 92 s.
7. Stadnik M.I., Vydmysh A.A., Shtuts A.A., Kolisnyk M.A. Intelektualni systemy v elektroenerhetytsi. Teoriia ta praktyka : navch. posib. Vinnytsia : TOV "TVORY", 2020. 332 s.
8. Vozniak O.M., Shtuts A.A., Zamrii M.A. Rozrobka mikroprotsesomoho kontrolera dlia vymiriuvannia liniinoho peremishchennia rukhomykh organiv vykonavchyykh mekhanizmv vibratsiinykh mashyn. Vibratsii ta tekhnolohiakh. 2020. № 2(101). S. 71–84.
9. Vozniak O.M., Shtuts A.A. Doslidzhennia systemy kontroliu temperatury pryrodnoho hazu. Tekhnika, enerhetyka, transport APK. 2020. № 3 (110). S. 34–50.
10. pat. 123617 Ukraina Vibrosyto dlia ochyshchennia burovoho rozchynu z reholovany my pa rametramy kolyvan : MPK E21B 21/06, B65G 27/02, B65G 27/32, B06B 1/16, B01D 21/28. № а 2019 11373 / Yaroshenko L.V., Shtuts A.A., Kolisnyk M.A. – zaiav. 22.19.2019 ; opubl. 25.05.2020, Biul. № 17.
11. Vozniak O.M., Shtuts A.A., Zamrii M.A. Systema upravlinnia kolektornym dvyhunom Tekhnika, enerhetyka, transport APK. 2021. № 1(112). S. 100–112.

12. Vydmysh A.A., Shtuts A.A. Polipshchennia kharakterystyk peretvoriuvacha elektropryvoda v perekhidnykh rezhymakh. Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahromoho universytetu. Ahroinzhenereni doslidzhennia. 2019. № 23. S. 61–69.
13. Solona O.V. Statyka vzaiemodii absolutno tverdykh til iz sypuchym seredovyschem. Vibratsii u tekhnitsi ta tekhnolohiiakh. 2018. № 3 (90). S. 105–116.
14. Spirin A.V., Tsurkan O.V. Otsinka na konkurentozdatnist vibratsiinoho zmishuvacha. Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh. 2004. № 2(34). S. 70–72.
15. Tsurkan O.V. Rozrobka ta doslidzhennia enerhooschadnoho vibratsiinoho zmishuvacha dlia vnesennia premiksiv v kombikorny. Kharkiv. 2004. S. 192–205.
16. Vydmysh A.A. Synkronizovani asynkhronni dvyhuny z faznym rotorom dlia enerhozberihaiuchykh tekhnolohii v ahropromyslovomu kompleksi. Tekhnika, enerhetyka, transport APK. 2019. № 1 (104). С. 84–88.
17. Vydmysh A.A., Shtuts A.A., Kolisnyk M.A. (30%)Bahatofunktsionalne vykorystannia asynkhronnykh dvyhuniv z faznym rotorom Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Seria: Tekhnichni nauky. 2021. № 1 (293). S. 104–113.
18. Vydmysh A.A., Shtuts A.A. Doslidzhennia dynamichnykh kharakterystyk zamknoyi systemy elektropryvoda hnavitatsiinoho betonozmishuvacha shliakhom kompiuternoho modeliuвання. Visnyk KhNU. Seria: Tekhnichni nauky. 2021. № 1 (293). S. 113–125.

Рецензія/Peer review : 18.09.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.10.2021 р.

ЛІЩИНА Н. М.

Луцький національний університет
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5200-536X>
e-mail: lischyna@gmail.com

ЛІЩИНА В. О.

Луцький національний університет
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2371-3850>
e-mail: lvaleriy@gmail.com

ЯЩУК А. А.

Луцький національний університет
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4872-7949>
e-mail: xxxxxandyxxxx@gmail.com

СІВАКОВСЬКА (СУРИНОВИЧ) О. М.

Луцький національний університет
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9300-0039>
e-mail: sivom@ukr.net

СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ РОЗУМНИМ БУДИНКОМ

Здійснено огляд алгоритмів взаємозв'язку терміналу та модулів для реалізації системи «Розумний дім» з використанням операційної системи Android та розробка термінальної частини системи управління розумним будинком. Система складається з планшета з операційною системою Android, де встановлено власну розробку, а саме програму – термінал, та з різних модулів та датчиків, які базуються на використанні мікроконтролера ESP8266-01. Використання модульної системи в терміналі значно спрощує взаємодію з системою та значно збільшує швидкість виконання певних функцій та додавання функціоналу для нового модуля.

Ключові слова: «Розумний будинок», термінал, мікроконтролер ESP8266, Android.

LISHCHYNA N., LISHCHYNA V., YASHCHUK A., SIVAKOVSKA (SURYNOVYCH) O.
Lutsk National Technical University

SMART HOME MANAGEMENT SYSTEM

The purpose of this work is to review the algorithms of the relationship between the terminal and the modules for the implementation of the system "Smart Home" on the Android operating system. And the development of its own system "Smart Home". The system consists of a tablet with the Android operating system, which has its own developed program - the terminal, and various modules and sensors based on the microcontroller ESP8266-01. The main object in the development was to write universal, open and well-thought-out code, which allows you to implement any universal platform for a smart home, and at the same time wrote the minimum code for your modules. The use of a modular system in the terminal greatly simplifies the interaction with the system and significantly increases the speed of performing certain functions and adding functionality for a new module. This means that in the future it will be quite easy to add any new independent module. All elements of this system are controlled, both from the head device - the terminal, and the client (any smartphone where the special software will be installed). The use of more universal objects for embedded modules, the use of one main window for most of the implemented functionality, new functions for forming commands, the use of new libraries for any functionality in this project, such as sending broadcast messages, searching for devices on the network, internal methods for microcontroller management were considered. The results of this work can be used for deployment systems with control of climatic parameters and energy consumption, in ordinary house, and in specialized rooms with more rigid requirements for the microclimate of the environment. In the future, it is planned to add a power consumption sensor to the system and improve sharing.

Key words: "Smart home", terminal, ESP8266 microcontroller, Android.

Постановка проблеми

Система «Розумний будинок» забезпечує нашу безпеку, комфорт та ресурсозбереження для усіх користувачів. Даними системами є можливість керувати централізовано – із пульта-дисплею, автоматично, заданими алгоритмами, або із кишенькових гаджетів. Завдяки регулярному зростанню тарифів на різні ресурси, що необхідні для комфортного проживання у оселі, проблемам електробезпеки побутових приладів, оптимізація енергоспоживання на даний момент – є однією з основних цілей «Смарт будинку».

Головним негативним фактором новітніх систем розумних будинків є відсутність універсального стандарту, який міг би відповідати усім розумним пристроям на міжнародному ринку. При розробці «розумного будинку», на теперішній час, ви зможете наповнити його «смарт речами» від різних виробників наприклад: «Smart Things» від Google, Apple, Xiaomi. Проте більшість компаній не вважають за потрібне зробити сумісність власних пристроїв із продуктами різних компаній, і при цьому кожна компанія випускає власний додаток для контролю модулів в «розумному будинку». Деякі з них звісно роблять відкрите API для розробників, але більшість все ж робить їх не доступними, що ускладнює розвиток технологій і їхню сумісність.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз літературних джерел показав існування великої кількості протоколів бездротової передачі даних для «Розумного будинку». Найбільш поширеними являються наступні бездротові протоколи: Wi-Fi, ZigBee та MiWi, X10, ZWave, BluetoothLowEnergy (BLE).

Зростання попиту на системи «Розумний будинок», на теперішній час, реалізує вихід із таких актуальних проблем: недостатньо високий рівень сумісності та стандартизації різних протоколів; надійність даних систем; захист систем від стороннього доступу; висока ціна та складність реалізації системи для недосвідченого користувача.

Метою дослідження є огляд алгоритмів взаємозв'язку терміналу та модулів, для реалізації системи «Розумний дім» з використанням операційної системи Android та розробка термінальної частини системи управління розумним будинком.

Виклад основного матеріалу

Людина має можливість керувати розумним будинком за допомогою засобів управління, котрі знаходяться у цьому самому житлі та в його оточенні, але вмонтовані в теж саме комунікаційне середовище, що й інші загальні компоненти системи. Але реалізовано багато випадків, коли буває потрібним або бажаним дистанційне керування системами розумного житла.

Концепція розумного житла надає можливості у створенні в рамках вмонтованої системи головного управління підсистеми віддаленого керування. Дана підсистема надає можливість отримувати інформацію про події та стан деяких показників та віддалено відправляти певні команди керування усією системою або її певних елементів [1].

Відкритими системами є EIB, MODbus, BACnet / LonWorks, KNX. Людина, котра зробила свій вибір на користь відкритої системи, має широкий аспект можливостей та обладнання від різних виробників, яке, має без проблем інтегруватися у загальні інженерні та програмні комплекси, котрі без жодних адаптованих модулів-шлюзів працюють бездоганно. Окрім того, ринок підприємств котрі займаються системними інтеграторами відкритих систем уже досить масивний, що дає замовнику змогу вибору реалізатора ще на етапах самого проектування, відладки та монтажу систем автоматизації.

Так як наш термінал розумного будинку буде працювати на операційній системі Android, то написання під неї програм здійснюється з використанням трьох мов: Java, Kotlin, C++. Kotlin – пропонує велику кількість переваг над Java для розробки JVM та Android і чудово співпрацює із Java у тих же самих проєктах. Це загальна, безкоштовна, відкрита, типізована мова програмування, спочатку розроблена для JVM (Java Virtual Machine) та Android, що поєднує об'єктно-орієнтовані та функціональні парадигми програмування.

Виберемо модулі для отримання інформації та відправки команд. В наш час є лише два мікроконтролера, які є доступними і можуть забезпечити повноцінну роботу з Wi-Fi мережею – це ESP32 та ESP8266.

Мікроконтролер ESP8266 добре відомий широкому колу розробників різних рівнів. Набори для розробки цього чипу Wi-Fi були досить відомими в останні роки.

Система взаємодії між пристроями в системі «Розумного будинку» створена на основі архітектури з центральним пристроєм-контролером (сервером). В основі цієї архітектури є те, що всі запити, які надходять від клієнта, в нашому випадку це термінал та мобільний додаток, надходять в стек обробки на сервері і тільки після цього перетворюються в команди і розсилаються до відповідних мікроконтролерів.

Термінал – це елемент, який є мозком всього будинку, він приймає, аналізує, обробляє дані та спілкується зі всіма елементами «смарт будинку». В нашому випадку – це буде планшет з операційною системою Android, на якому буде встановлено розроблений нами додаток-сервер, що буде містити в собі графічний інтерфейс та фонові сервіси для взаємодії як з користувачем, так і з смарт речами розумного будинку.

Вся взаємодія та спілкування між елементами «смарт будинку» буде відбуватися через Wi-Fi, використовуючи технологію WebSocket. WebSocket – це протокол зв'язку, який заснований на TCP протокол та призначений для спілкування між клієнтом та сервером в режимі реального часу.

В проєкті для Android була використана бібліотека для застосування даного протоколу під назвою «Java-WebSocket» від «TooTallNate» [2]. Дана бібліотека містить базовий сервер WebSocket і реалізацію клієнта, написану на Java. Основні класи використовують реалізацію класів java.nio, що дозволяє використовувати неблокувальну модель, керовану подіями (подібно до API WebSocket для веб-браузерів).

Для реалізації WebSocket сервера було використано абстрактний клас «org.java_websocket.server.WebSocketServer», що реалізує на стороні сервера протокол WebSocket. Використання Java-WebSocket дуже схоже на використання веб-сокетів javascript. Ви просто берете клієнтський або серверний клас і замінюєте його абстрактні методи відповідно до логіки додатку.

Є такі типи подій: onOpen, onMessage, onClose, onError, onStart (тільки для сервера). onStart – викликається, як тільки сервер запущено. onOpen – коли новий клієнт успішно підключився. onMessage – викликається коли прийшло якесь повідомлення від будь якого клієнта, або сервера. onClose – даний метод є подією для моменту коли один з клієнтів відключився у зв'язку з якоюсь причиною. onError – коли виникла якась помилка на стороні сервера, або підключення до сервера.

Оскільки, щоб клієнти могли спілкуватися між собою необхідно знати точну IP адресу сервера та порт. Оскільки за замовчуванням в локальній мережі IP адреси задає Wi-Fi роутер, то необхідно зробити так, щоб дану адресу знали всі клієнти. Є два варіанти вирішення цієї проблеми. Перший – це задати статичну IP адресу серверу, що може ускладнити подальше виготовлення системи «Розумного будинку», другий

зробити певний сервіс, який би завжди говорив на якій IP адресі знаходиться даний сервер. Ми виберемо другий варіант, так як він доволі простий в написанні та ніяк не впливає на виготовлення кінцевого виробу.

Ми назвали даний сервіс `BroadcastListenerService`, так як в його основі використовуються так звані `UDP Broadcast` повідомлення. `UDP` – один із видів протоколів в стеці `TCP/IP`. Він є одним з найлегших протоколів транспортного рівня моделі `OSI`, який обмінюється повідомленнями без авторизації та гарантії доставки. `Broadcast` повідомлення – це такий тип повідомлень, які відправляються на широкомовну IP адресу (`*.*.*.255`), дані повідомлення приймаються всіма пристроями в даній мережі. Даний сервіс прослуховує широкомовну адресу і коли надходить повідомлення з наступним вмістом: `«SMART :: get IP»`, відправляє у відповідь свою IP адресу у наступному вигляді: `«SMART :: my IP = X.X.X.X»`. Після чого пристрій при отриманні даного повідомлення парсить його та підключається вже до `WebSocket` сервера де і відбувається подальше спілкування.

Після чого сервер перевіряє тип пристрою за допомогою структури `deviceId`, так як вона є унікальною і містить в собі всі необхідні дані для того, щоб зрозуміти який вид пристрою підключається та як з ним працювати. Наприклад, `«HaT:1:20201011.150720»` – це є датчик першої версії, який вимірює температуру та створений 11.10.2020.

Після проходження даної ідентифікації сервер додає даний пристрій в список підключених пристроїв, який буде використовувати для подальшого спілкування з ними. Для спілкування використовуються заготовлені нами команди. Є два види команд: `getData` – дана команда запитує в певного пристрою про його стан, `setData` – команда встановлює певний стан для конкретного датчика. В даному випадку змінна `«query»` відповідає за тип запиту, їх є два типи перший це `«identity»`, а також `«command»` цей тип просто показує, що даний запит є командою. В свою чергу `«command»` вже відповідає за тип команди. `«deviceId»` просто вказує, до якого девайсу звертаємося.

Ця відповідь містить в собі тип відповіді, за це відповідає змінна `«responseType»`. Наступна змінна – це `«data»`, саме в цій змінній знаходяться всі необхідні дані. Змінна `«status»` показує – чи коректно виконався запит. `«message»` – показує саме повідомлення помилки, якщо вона є. `«device»` – об'єкт, який показує, з якого пристрою прийшло повідомлення, для подальшої роботи і виводу на екран терміналу даних з даного повідомлення.

Об'єкт `«value»` відповідає за стан, який необхідно встановити певному датчику, для кожного пристрою є свої значення. Наприклад, даний запит встановлює відповідні значення для кожного кольору, де `r` – червоний, `g` – зелений і `b` – синій.

Оскільки за основу терміналу було обрано `Android` планшет, то для розробки нам необхідно завантажити `Android Studio` останньої версії. Дане програмне забезпечення можна завантажити з офіційного сайту `Android`. Після його встановлення необхідно також вставити `Android SDK`, починаючи з 5-ї версії `Android`. Пристрої на базі `Android` надають платформу для розробки корисних додатків із повністю відкритим вихідним кодом [5].

Після вибору пункту меню відкривається вікно нового проекту, де потрібно ввести назву додатку (`Application name`), посилання на сайт компанії виробника (`Company domain.`, дане поле можна залишити порожнім), і назву пакету (`Package name`). Ми введемо `SmartHome`, порожньо, `com.piedream.smarthometerterminal` відповідно. Так як головне вікно буде містити різні нестандартні елементи управління, то ми вибираємо `«Empty Activity»`.

Проектна структура містить в собі два основних пункти: `App`, `Gradle Scripts`.

Почнемо з створення сервісу для пошуку сервера. В даній папці створимо `Kotlin` клас з назвою `«BroadcastListenerService»`, який буде наслідуватися від `«Service»`. В середині даного класу створимо ще один внутрішній клас під назвою – `«ServerThread»`, який буде наслідуватися від `«Runnable»`. В даному класі необхідно переписати метод `«run»`, в якому відбувається виконання всього коду в фоновому процесі. В нашому випадку ми реалізуємо сервер для приймання `datagram` пакетів. Також для реалізації даного функціоналу нам необхідно написати додаткові функції, які ми будемо використовувати в подальшому, це такі методи: `«getIpv4HostAddress»`, `«getBroadcastIp»`, `«sendUDP»`.

Почнемо з `getBroadcastIp`, даний метод буде вертати текстовий рядок з IP адресою для широкомовних повідомлень. Для того щоб сформувану дану IP адресу, ми беремо поточну IP адресу та перетворюємо останній склад в 255. Тобто, наприклад якщо є IP адреса `192.168.1.120`, то широкомовною адресою в даній підмережі буде `192.168.1.255`.

Наступною функцією буде `«getIpv4HostAddress»` – дана функція отримує поточну IP адресу пристрою. Далі напишемо функцію для відправки повідомлень на широкомовну адресу. Дану функцію використовує методи класу `DatagramSocket` та `DatagramPacket`.

Далі переписемо метод `run`. В даному методі буде перевірка чи сокет відкрито, якщо ні, то ми його відкриваємо на `6001` порті та заносимо в глобальну змінну для подальшого використання. Також в даному методі буде перевірка чи прийшло якесь повідомлення, якщо так, то ми перевіряємо його вміст і якщо воно буде схожим на `«SMART :: get IP»`, то ми викликаємо метод `«sendUDP»`, куди передаємо рядок з наступним вмістом: `«SMART :: my IP = ${getIpv4HostAddress()»`, також необхідно передати ip адресу: куди саме відправити дане повідомлення, тобто пристрою, від якого прийшов запит, для цього нам необхідно з класу `«DatagramPacket»` викликати метод `«getAddress()»`.

Після того як пристрій отримає ip адресу, він починає підключатися до сервера. Тому наступним ми створимо клас `«MainWebSocketServer»`, який буде наслідуватися від `«WebSocketServer»`, та буде обробляти

відповідні колбеки з класу «WebSocketListener», який необхідно створити. Даний клас буде просто інтерфейсом і буде містити п'ять методів.

Наступним ми створимо клас для обробки всіх повідомлень та взаємодії між всіма пристроями в мережі. Даний клас назовемо «MainServerService», він буде наслідуватися від Service та WebSocketListener. В даному класі нам необхідно створити глобальні статичні змінні з списком підключених пристроїв та параметром, який буде показувати чи сервіс запущено, наприклад «isAlive», для того щоб мати змогу спілкуватися з під'єднаними клієнтами та в разі завершення сервісу запустити його заново. Також необхідно створити глобальні змінні, такі як mBinder, port, mainSocket. Зміна mBinder буде використовуватися при під'єднання до сервіса. «port» буде відповідати номеру порта на якому буде працювати вебсокет сервер, в нашому випадку – це 6080. А »mainSocket» в свою чергу буде відповідати ініціалізованому класу «MainWebSocketServer». Також даний клас буде відправляти широкомовні повідомлення та події в середині додатку, за це буде відповідати метод «sendBroadcast», він приймає назву події, та якщо необхідно – дані, які потрібно передати з цією подією. Так як кожна кімната може містити однакові пристрої, то необхідно створити універсальний код. Найпростішим варіантом реалізації даного функціоналу буде створення своїх кастомних віджетів (рис. 1).

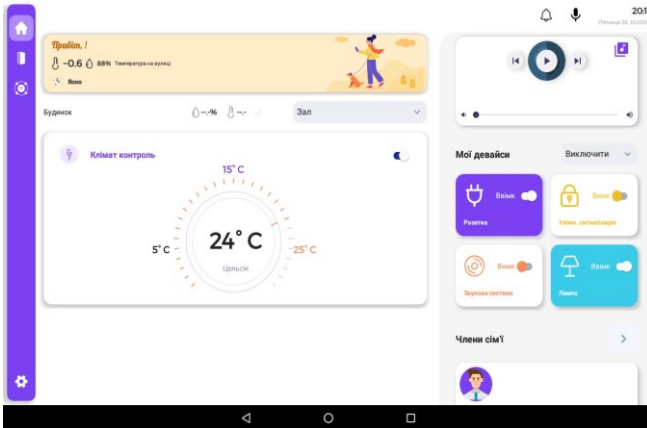


Рис. 1. Вигляд головного вікна

«onDeviceMessageReceived», так як саме в цій функції будуть зчитуватися всі здані, які прийшли від певного датчика. Так як пристроїв може бути багато, то ми розглянемо розробку лише одного пристрою – це буде датчик вимірювання температури та вологості. При розробці пристрою необхідно створити його принципову схему, та розробити відповідне програмне забезпечення. Почнемо з розробки принципіальної схеми, для цього потрібно вибрати електронні елементи, які задіяні. Для вимірювання температури та вологості ми вибрали DHT-11 так як він є дешевим, популярним та доволі простим в використанні. Також використовується модуль esp8266, але не повноцінна, а урізана версія даного модуля – esp8266-01 [3]. Наступним кроком буде написання прошивки для даного модуля. Для цього нам знадобиться Arduino IDE. Далі необхідно встановити та імпортувати додаткові бібліотеки, такі як ESP8266WiFi.h; DHT.h; WebSocketClient.h; WiFiUdp.h; ArduinoOTA.h; ArduinoJson.h [4].

«Setup» функція викликається тільки раз при запуску пристрою, тому тут просто виконуються певні настройки роботи пристрою та ініціалізуються змінні. А «loop» викликається, в свою чергу, кожен такт роботи мікроконтролера, саме тут буде відбуватися прослуховування оновлень, широкомовних повідомлень та команд від терміналу та клієнта. Також далі нам необхідно написати, за яким принципом буде працювати wifi модуль в даному мікроконтролері, в нашому випадку це WIFI_STA. Після чого оголосимо DHT змінну, куди необхідно передати, до якого піну підключено датчик та версію датчика, в нашому випадку – це 2 та DHT11 відповідно. Для успішного обміну даними, також необхідно написати код для успішного підключення до wi-fi мережі, після успішного підключення можна продовжувати виконання коду, інакше перезапустити модуль і почати виконання коду з самого початку, тобто це необхідно для переініціалізації модуля та повторної спроби перепідключитися до мережі.

Після написання коду необхідно прошити модуль даною прошивкою. Для цього в Arduino IDE є всі необхідні компоненти. Мікроконтролер можна прошити двома способами, або через спеціальну схему для прошивання, або через Arduino (рис. 2) [6].

За аналогією розроблено такі модулі, як: модуль відкривання дверей, модуль виявлення руху, модуль керування розеткою, модуль управління світильником із можливістю задання кольору.

Модуль відкривання дверей реалізований завдяки датчику, який розроблений саме для цієї

Тобто для прикладу створимо віджет для вимірювання температури і вологості. Для цього створимо папку «widgets», та клас «HumidityAndTemperatureWidget». Даний клас буде наслідуватися від LinearLayout, для того щоб можна було використовувати даний клас як віджет та MainBroadcastListener, для того щоб можна було отримувати повідомлення від MainServerService. Так як кожен девайс містить унікальний id, то можна фільтрувати повідомлення відповідно до віджету. Тобто необхідно створити функцію для встановлення id, для того щоб цей віджет відповідав за конкретний датчик, назовемо її «updateDeviceId».

Найголовнішим методом в даному класі є

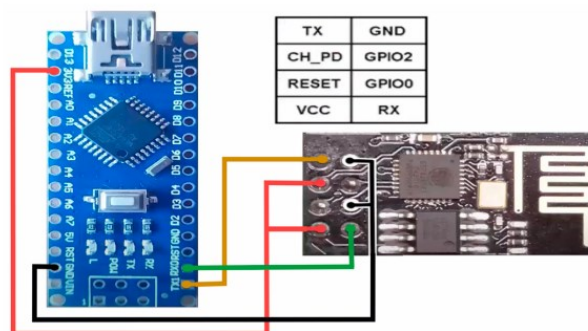


Рис. 2. Прошивка мікроконтролера

цілі. Цей датчик складається з двох частин: в першій знаходиться магніт, а в другій – геркон. Він спрацьовує при віддаленні датчика від магніту приблизно на 20–30 мм, після чого в герконі розмикаються контакти та розривається електричне коло, це фіксує мікроконтролер та відправляє сигнал на центр керування.

Модуль виявлення руху реалізований за допомогою спеціалізованого датчика. Він працює за принципом пасивного інфрачервоного сигналу. Коли у області, яка контролюється, рухається живий об'єкт, який виділяє тепло, то лінза Френеля фокусує дані зміни на різних областях чутливого напівпровідникового елемента, що також називають піроелектричним елементом.

Модуль для управління світлом складається з трьох компонентів: сам мікроконтролер, RGB світлодіод та фільтр живлення. Сам діод складається з 4 виводів, один з яких – це живлення, наступні ж відповідають за певний колір.

Висновки

Розглянуто використання більш універсальних об'єктів для вбудованих модулів, використання одного головного вікна для більшої частини реалізованого функціоналу, нові функції для формування команд, використання нових бібліотек для будь-якого функціоналу в даному проєкті, такі як надсилання ширококомовних повідомлень, пошук пристроїв в мережі, внутрішні методи для керування мікроконтролером.

Універсальний, відкритий та продуманий код дає змогу реалізувати будь-кому універсальну платформу для розумного будинку, пишучи мінімальний код для своїх модулів. Також використання модульної системи в терміналі значно спрощує взаємодію з системою та значно збільшує швидкість виконання певних функцій та додавання функціоналу для нового модуля. Сучасний підхід до графічного інтерфейсу дає змогу розібратися будь-кому з всіма можливостями розумного будинку. Нова форма для всіх команд, яка зменшує розмір самого повідомлення, що значно впливає на швидкість пересилання його.

Література

1. IoT-проект для умного дома [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу : <https://habr.com/ru/company/intel/blog/396737>
2. Маклин Д. Разработка приложений для Android : навч. посібник / Д. Маклин, С. Хашими, С. Коматинени. – Пітер, 2011. – 185 с.
3. ESP8266 WiFi library [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://arduino-esp8266.readthedocs.io/en/latest/esp8266wifi/readme.html>
4. Среда разработки Arduino [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://arduino.ru/Arduino_environment
5. Ліщина Н.М. Аналіз середовищ реалізації додатка для дистанційного керування системою «Smart House» / Н.М. Ліщина, Р.Б. Дунець, М.Б. Мальчевський // Тези доповідей VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології в освіті, науці і виробництві (ІТОНВ-2021)» (21-22 травня 2021 року). – Луцьк : Відділ іміджу та промоції Луцького НТУ, 2021. С.127-130.
6. Повстяна Ю.С. Система радіоелектронної боротьби на базі ARDUINO UNO R3 / Ю.С. Повстяна, А.А. Ящук, В.О. Ліщина, М.М. Поліщук, М.І. Потейчук // Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво : науковий журнал. – Луцьк : Видавництво ЛНТУ, 2020. – Випуск № 38. – С. 10–14.

References

1. IoT-proekt dlia umnoho doma [Elektronnyi resurs]. – 2016. – Rezhym dostupu : <https://habr.com/ru/company/intel/blog/396737>
2. Maklyn D. Razrabotka prylozheniy dlia Android : navch. posibnyk / D. Maklyn, S. Khashymy, S. Komatyneny. – Piter, 2011. – 185 s.
3. ESP8266 WiFi library [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://arduino-esp8266.readthedocs.io/en/latest/esp8266wifi/readme.html>
4. Sreda razrabotky Arduino [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : http://arduino.ru/Arduino_environment
5. Lishchyna N.M. Analiz seredovyshch realizatsii dodatka dlia dystantsiynoho keruvannia systemoiu «Smart House» / N.M. Lishchyna, R.B. Dunets, M.B. Malchevskiy // Tezy dopovidei VIII Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Informatsiini tekhnologii v osviti, nauksii i vyrobnytstvi (ITONV-2021)» (21-22 travnia 2021 roku). – Lutsk : Viddil imidzhu ta promotsii Lutskoho NTU, 2021. S.127-130.
6. Povstiana Yu.S. Systema radioelektronnoi borotby na bazi ARDUINO UNO R3 / Yu.S. Povstiana, A.A. Yashchuk, V.O. Lishchyna, M.M. Polishchuk, M.I. Poteichuk // Kompiuterno-intehrovani tekhnologii: osvita, nauka, vyrobnytstvo : naukovy zhurnal. – Lutsk : Vydavnytstvo LNTU, 2020. – Vypusk № 38. – S. 10–14.

Рецензія/Peer review : 26.09.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.10.2021 р.

МЕЛЬНИК Ю. В.

Чернятинський фаховий коледж ВНАУ
ORCID ID: 0000-0001-8763-7343
e-mail: julia.me.vn@gmail.com

МЕЛЬНИК А. Л.

Чернятинський фаховий коледж ВНАУ
ORCID ID: 0000-0003-0246-4039
e-mail: andrijm901@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ТА ЗАСОБІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ

У роботі встановлено, що паливна система повинна забезпечувати безперебійну подачу палива для роботи двигуна на будь-яких можливих режимах його експлуатації. Дизельне паливо при транспортуванні і подальшому зберіганні може забруднитися, в нього може потрапляти пил з повітря. Можливе засмічення дизельного палива і при роботі двигуна, особливо якщо заправлення паливного бака проводиться одночасно з виконанням технологічної операції.

Ключові слова: надійність, робота, дизельний двигун, паливна апаратура, діагностування, технічний стан.

MELNIK Y. V.

Chernyatin Vocational College of VNAU
ORCID ID: 0000-0001-8763-7343
e-mail: julia.me.vn@gmail.com

MELNIK A. L.

Chernyatin Vocational College of VNAU
ORCID ID: 0000-0003-0246-4039
e-mail: andrijm901@gmail.com

RESEARCH OF RELIABILITY OF WORK AND MEANS OF DIAGNOSIS OF TECHNICAL CONDITION OF FUEL EQUIPMENT

The fuel system must provide an uninterrupted supply of fuel for the engine to operate in all possible modes of operation. Diesel fuel can be contaminated during transportation and subsequent storage, it can get dust from the air. Clogging of diesel fuel is also possible during engine operation, especially if the fuel tank is refueled at the same time as the technological operation.

It is established in the article that mechanical impurities (mainly small particles of silica and alumina) harmful to the system get into diesel fuel. These particles have a very high hardness, equal to or even greater than the hardness of steels used in the manufacture of fuel equipment parts. Getting into the gap between the plunger and the sleeve of the fuel pump, such particles can get stuck in it and during the operation of the pump will erode the surface of the plunger and the sleeve. The jamming of the particles at the time of fuel supply under the action of pressure, the sleeve of the fuel pump is deformed. Larger particles can penetrate into this enlarged gap (it can be two to three times larger than the initial one, which is 2 to 3 μm). After cutting and pressure drop, the sleeve is tightened and clamps the particles that have penetrated into the gap. As a result, as the parts of the plunger pair wear, the radial gap between them increases, the leaks increase and the supply pressure decreases. For reliable operation of the engine constant and thorough cleaning of fuel is necessary therefore in fuel system for this purpose necessarily include fuel filters. Every third case of engine repair is associated with the failure of fuel equipment. Operation is often characterized by conditions when individual units, the engine as a whole work to partial disability without sufficient preventive measures.

Key words: reliability, work, diesel engine, fuel equipment, diagnostics, technical condition.

Постановка проблеми

Система подачі палива є однією з найважливіших систем двигуна, вона призначена для забезпечення нормального живлення паливом паливом при різних режимах його роботи. Від ступеня досконалості паливної системи та її технічного стану в процесі експлуатації значною мірою залежать показники робочого процесу двигуна, його надійність і довговічність, а також експлуатаційні характеристики [1].

У зв'язку з цим до паливних систем пред'являються високі вимоги, пов'язані з ефективністю їх роботи, надійністю, довговічністю, простотою обслуговування і ремонту тощо.

До паливної апаратури (ПА) двигунів ставляться такі основні вимоги:

- стабільність показників робочого процесу протягом усього періоду експлуатації;
- зручність обслуговування окремих вузлів і регулювання, можливість монтажу і демонтажу форсунок і насосів, розбирання та заміни окремих зношених деталей;
- надійна робота всіх вузлів протягом встановленого терміну служби;
- забезпечення необхідних швидкісних і навантажувальних характеристик подачі палива;
- можливість зміни кута випередження подачі залежно від режимних умов роботи;
- стійка робота двигуна на малих швидкісних і навантажувальних режимах без пропусків подачі палива окремими форсунками;
- можливість прокачування з метою видалення з них повітря і відведення парів палива з підвідної магістралі [5].

Умови роботи тягового рухомого складу значною мірою впливають на виконання перерахованих вимог до якості роботи паливної апаратури.

Аналіз останніх джерел

Аналіз результатів діагностування паливної апаратури показує, що основними несправностями паливних форсунок і насосів високого тиску є такі: малий підйом і «підклинювання» голки; закоксовування соплових наконечників; злом або «осідання» пружини форсунки; мала щільність плунжерних пар; нестабільність циклової подачі та нестабільність впорскування палива; втрата пружності пружин плунжера і нагнітального клапана; втрата герметичності нагнітального клапана по замикаючому конусу.

Основні і часто виникаючі причини несправностей паливної апаратури високого тиску двигуна можна звести до таких: несвоєчасне і невчасне технічне обслуговування; порушення режимів експлуатації; використання палива низької якості та порушення в роботі фільтрів; природний знос прецизійних пар [4].

Виклад основного матеріалу

Якщо врахувати загальновідомий факт, що великий відсоток відмов припадає на паливну апаратуру, то стає очевидним, що в загальному обсязі витрат основну частину становлять паливні втрати.

Аналіз звітних даних за період з 2015 по 2020 р. дозволив встановити процентне співвідношення несправностей основних вузлів двигунів, що виникають в процесі експлуатації [8–13].

Згідно зі звітними даними (табл. 1) загальний відсоток несправностей дизельного обладнання склав 40% від усіх відмов, у тому числі 12–13% на паливну апаратуру. Кругова діаграма розподілу несправностей за основними вузлами представлена на рис. 1.

Таблиця 1

Співвідношення несправностей за основними вузлами дизельних двигунів за період 2015–2020 рр.

Вузли двигуна	Звітний період, рік						В середньому
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
Двигун	38,6	39,41	42,32	41,08	39,02	41,07	40,25
Допоміжне та гальмівне обладнання	15,16	14,49	14,09	15,89	15,66	15,14	15,07
Електричне обладнання	33,84	32,72	32,76	30,80	31,21	31,95	32,21
Трансмісія	6,84	6,48	6,51	7,05	6,98	7,15	6,84
Інше обладнання	5,90	6,49	3,78	5,51	6,85	5,23	5,63

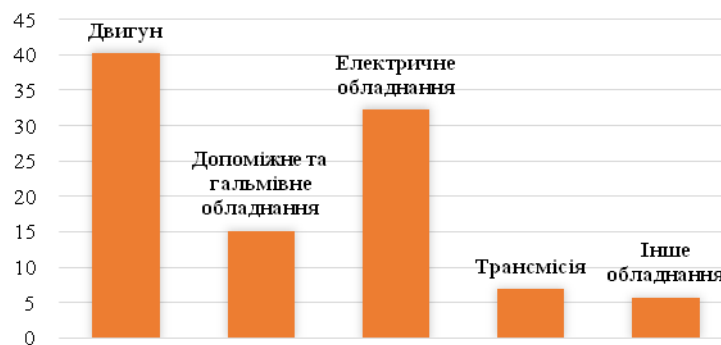


Рис. 1. Співвідношення несправностей за основними вузлами двигунів за 2020 р.

Розподіл кількості відмов за вузлами та системами дизелів за вказаний період експлуатації представлено в таблиці 2 у вигляді кругової діаграми на рис. 2.

Таблиця 2

Розподіл кількості відмов за вузлами і системами двигуна за період 2015–2020 рр.

Спрацювання і несправності	Частка в загальній кількості				
	Колінчастий вал і підшипники	Циліндро-поршнева група	Паливна апаратура	Система охолодження -	Повітро-нагнітачі
38,6	3,08	16,30	4,97	8,01	6,24
39,41	4,04	16,05	4,82	7,68	6,82
42,32	4,82	17,18	5,45	8,72	6,15
41,08	4,71	17,45	4,92	7,25	6,75
39,02	3,58	15,44	5,12	8,24	6,64
41,07	4,79	16,63	4,64	8,12	6,89

Аналіз звітних даних дозволяє зробити висновок про те, що ситуація з надійністю роботи паливної апаратури, незважаючи на широке впровадження сучасних засобів діагностування та ремонту, залишається без істотних змін. У середньому за період з 2015 по 2020 р. динаміка зміни основних несправностей паливної апаратури дизелів наведена на рис. 3.

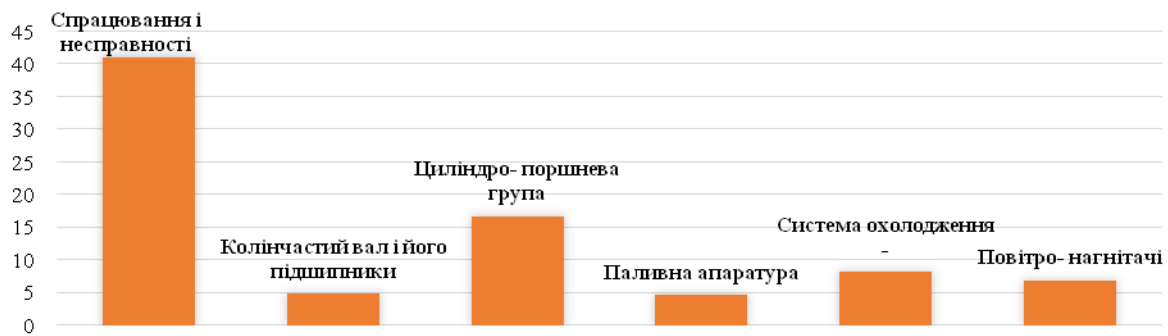


Рис. 2. Співвідношення несправностей двигуна за 2021 р.

Так, за статистичними даними в умовах експлуатації число відмов найменш надійних складових частин паливної апаратури відбувається з двох явно виражених причин:

- закоксування розпилювача форсунки, порушення рухливості її голки;
- розрегулювання паливного насоса високого тиску (ПНВТ), знос плунжерних пар і нагнітальних клапанів, зниження тиску впорскування.

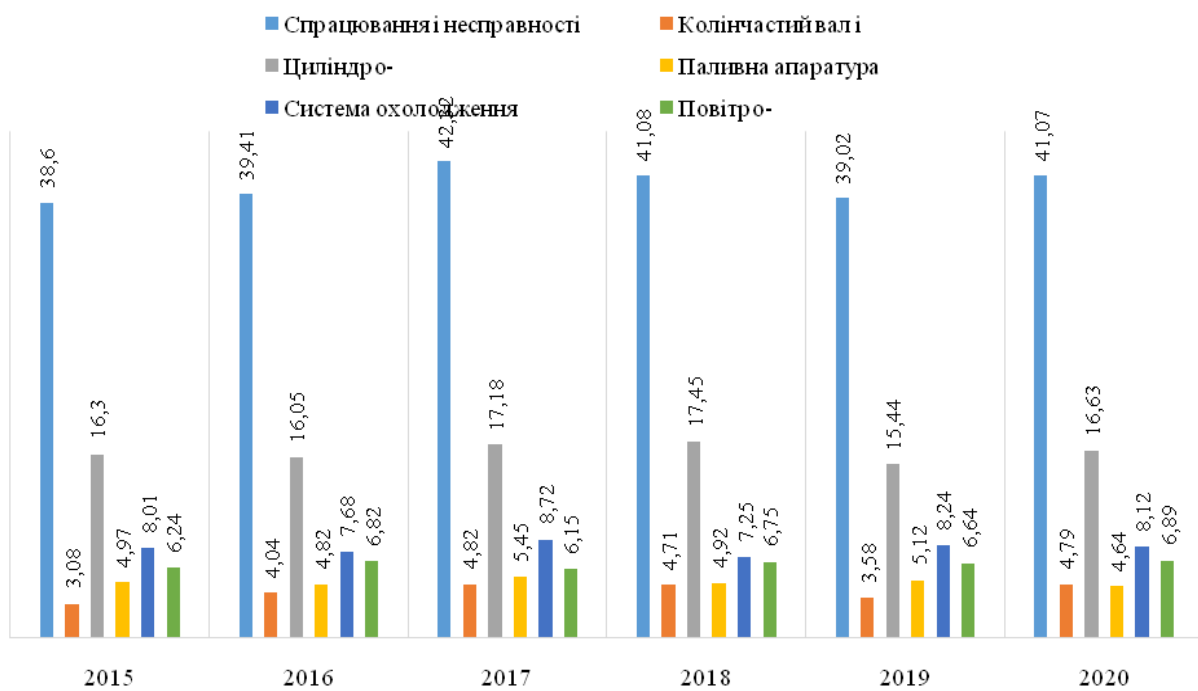


Рис. 3. Динаміка зміни основних несправностей паливної апаратури двигуна період 2015–2020 рр.

Надійна робота форсунок можлива тільки при суворому виконанні профілактичних робіт зі зміни та очищення фільтроелементів, що запобігають потраплянню бруду і води, дотримання чистоти при проведенні ремонтних операцій. Особливо важливо не допустити потрапляння в розпилювач з каналів форсунки і паливопроводів технологічного бруду (шлам від механічних і зварювальних робіт, продукти зносу під час напрацювання і складання) у початковий період експлуатації [6].

Розрахунки, (навіть за заниженими оцінками), показують, що з зазначених вище причин в сучасних умовах експлуатації перевитрати палива в середньому в рік 14–26 т та збільшені викиди в атмосферу шкідливих компонентів: CO – на 300–650 кг, CH – на 120–350 кг. При цьому відхилення енерго-економічних параметрів (потужність і паливна економічність) від номінальних значень становить 8–15 % більше. Це означає, що в умовах реальної експлуатації двигун витратить палива на 10–18% більше [1].

Відмови в експлуатації говорять про необхідність подальшого вдосконалення в рівній мірі як конструкції окремих вузлів, так і системи їх технічного обслуговування і ремонтів.

До методів контролю технічного стану паливної апаратури (ПА) з позиції діагностування пред'являються такі вимоги:

- забезпечення достатньої достовірності результатів діагностування;
- встановлення узагальнених параметрів, кількість яких має бути меншою від загальної кількості параметрів, що повністю характеризують стан об'єкта діагностування;
- визначення несправності за узагальненими параметрами;
- простота і застосовність в умовах СТО.

При експлуатації якість роботи паливної апаратури практично не оцінюється (за винятком насосів і прослуховування нехарактерних для нормальної роботи двигуна стуків). Доведена до граничного технічного стану паливна апаратура відповідно до існуючої системи планово-попереджувального ремонту потрапляє в ремонтне відділення. Однак і тут її технічні характеристики не відновлюються в повному обсязі.

Стендове обладнання паливних відділень для випробування паливної апаратури морально і технічно застаріло. У мийних відділеннях експлуатуються (та й то далеко не у всіх) мийні машини, конструкція яких розроблялася в першій половині двадцятого століття.

Для випробувань паливної апаратури розроблені різні моделі стендів (А2589, А106, А53, А760 та). Не торкаючись конструктивних переваг і недоліків даних розробок, слід визнати їх загальне «слабке місце» в організації цехового ремонту паливної апаратури – відсутність об'єктивного контролю якості виконаних на стендах робіт і «знеособлення» елементів паливної системи після зняття з двигуна. Наприклад, подачу насосів регулюють у комплекті зі зразковими (контрольними) трубопроводами високого тиску і форсунками, при цьому гідравлічні характеристики форсунок і паливних трубок, з якими реально будуть працювати дані ПНВТ, ігноруються. Випробування форсунок на існуючому стенді ведеться «наочно», перевірочні режими далекі від експлуатаційних. Тому форсунки, які проходять стендовий контроль, при постановці на двигун змінюють свої робочі характеристики [7].

Технологічний процес ремонту та налаштування паливних насосів, форсунок і трубопроводів високого тиску складається з таких основних операцій:

- розбирання, промивання та заміна несправних деталей;
- визначення розміру насоса (відстань від торця хвостовика плунжера при перекритті його головкою всмоктуючого отвору в гільзі до площини корпусу насоса);
- визначення щільності плунжерних пар паливних насосів;
- обкатка насоса на стенді і регулювання його мінімальної і максимальної подачі;
- визначення щільності розпилювача форсунки;
- перевірка розробки отворів соплових наконечників форсунки;
- налаштування та регулювання форсунки щодо тиску впорскування на стенді;
- опресовка нагнітальних трубок для виявлення тріщин та інших дефектів, встановлення конусів шляхом наплавки з подальшою механічною обробкою [1].

Перевірка розробки отворів соплових наконечників форсунок проводиться за допомогою довгоміру. Цей метод дозволяє зробити відбраковку соплових наконечників, сильно спрацьовані, або закоксовані отвори. Ділення придатних соплових наконечників на групи залежно від дійсного прохідного перерізу не проводиться.

При відновленні конусів трубопроводів змінюються прохідний переріз і форму трубопроводу, тобто змінюються його гідравлічні характеристики.

Розкид гідравлічних характеристик форсунок і нагнітальних трубопроводів існуючою технологією ремонту при підборі комплекту паливної апаратури не враховується.

Тепловізійний контроль як метод діагностування являє собою метод теплового неруйнівного контролю, заснований на використанні електронних засобів теплотаплення, на аналізі теплового зображення за допомогою термограм, на підставі якого приймається експертне рішення про стан паливного обладнання. Розподіл температури на поверхні діагностованого апарату несе інформацію не тільки про його загальний тепловий стан, але і про наявність теплопровідних неоднорідностей. Розподіл температури фіксується приладами на термограмі, яка являє собою кольорове плоске теплове зображення поверхні об'єкта, де кожному кольору відповідає певна температура поверхні [3].

Перевагами тепловізійного контролю є такі:

- дистанційність;
- висока швидкість обробки інформації;
- висока продуктивність випробувань;
- можливість контролю при одно- і двосторонньому підході до виробу;
- теоретична можливість контролю будь-яких матеріалів;
- багатопараметричний характер випробувань;
- можливість взаємодоповнюючого поєднання тепловізійного неруйнівного контролю з іншими видами неруйнівного контролю;
- поєднуваність зі стандартними системами обробки інформації;
- можливість поточного контролю та створення автоматизованих систем контролю та управління технологічними процесами;
- виявлення дефектів неруйнівним методом;
- запобігання аварій та пошкоджень обладнання;
- достовірність, об'єктивність і точність отримуваних відомостей;
- безпека при проведенні обстеження обладнання;
- не потрібно відключення і демонтаж обладнання;
- великий обсяг виконуваних робіт за одиницю часу;
- можливість визначення дефектів на ранній стадії розвитку.

Складність впровадження тепловізійного методу пов'язана з тим, що практично не розвинені діагностичні моделі (формалізований опис об'єкта, необхідний для вирішення завдань діагностування), відсутні термограми або термопрофілограми справного обладнання, їх теплові характеристики.

Висновки

На основі виконаних теоретичних досліджень встановлено:

- відсоток відмов паливної апаратури за період з 2015 по 2020 р. зберігається на високому рівні;
- вихід з ладу паливної апаратури пов'язаний не тільки з особливостями експлуатації, але з недосконалістю існуючої системи технічного обслуговування та ремонту;
- аналіз методів і технічних засобів контролю роботи паливної апаратури виявив перспективний напрямок у розвитку засобів діагностування. Досліджені можливості застосування тепловізійного методу контролю.

Література

1. Григорьев М.А. Методика оцінки ресурсу двигуна залежно від ресурсів його деталей / М.А. Григорьев, Н.Н. Пономарев, В.В. Карпенко // Автомобільна промисловість. – 1979. – № 10. – С. 4–6.
2. Анисимов В.Ф. Напрямки створення багатопаливних двигунів на базі дизельного циклу / В.Ф. Анисимов, В.І. Яцковський, А.А. П'ясецький, В.Б. Рябошапка // Промислова гідравліка і пневматика. – 2011. – № 2 (32). – С. 100–105.
3. Бурлака С.А. Методи досліджень та способи оцінки впливу палив з відновлюваних ресурсів на роботу дизельного двигуна / С.А. Бурлака, В.В. Явдик, А.П. Єленич // Вісник Хмельницького національного університету. – 2019. – № 2 (271). – С. 212–220.
4. Малаков О.І. Математичне моделювання та основи конструювання вібраційних змішувачів / О.І. Малаков, С.А. Бурлака, Ю.О. Михальова // Вісник Хмельницького національного університету. – 2019. – № 5 (277). – С. 30–33.
5. Гунько І.В. Оцінка екологічності нафтового палива та біопалива з використанням методології повного життєвого циклу / І.В. Гунько, С.А. Бурлака, А.П. Єленич // Вісник Хмельницького національного університету. – 2018. – Том 2. № 6 (267). – С. 246–249.
6. Eberhart S. A., Russel W. A. Stability parameters for comparing varieties. Crop Sci. 1966. V. 6. № 1. P. 34–40.

References

1. Hryhoriev M.A. Metodyka otsinky resursu dvyhuna zalezno vid resursiv yoho detalei / M.A. Hryhoriev, N.N. Ponomarev, V.V. Karpenko // Avtomobilna promyslovist. – 1979. – № 10. – S. 4–6.
2. Anisimov V.F. Napriamky stvorennia bahatopalyvnykh dvyhuniv na bazi dyzelnoho tsyклу / V.F. Anisimov, V.I. Yatskovskiy, A.A. Piasetskiy, V.B. Riaboshapka // Promyslova hidravlika i pnevmatyka. – 2011. – № 2 (32). – S. 100–105.
3. Burlaka S.A. Metody doslidzhen ta sposoby otsinky vplyvu palyv z vidnovliuvanykh resursiv na robotu dyzelnoho dvyhuna / S.A. Burlaka, V.V. Yavdyk, A.P. Yelenych // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. – 2019. – № 2 (271). – S. 212–220.
4. Malakov O.I. Matematychnе modeliuвання ta osnovy konstruiuvannia vibratsiinykh zmishuvachiv / O.I. Malakov, S.A. Burlaka, Yu.O. Mykhalova // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. – 2019. – № 5 (277). – S. 30–33.
5. Hunko I.V. Otsinka ekolohichnosti naftovoho palyva ta biopalyva z vykorystanniam metodolohii po vnoho zhyttievoho tsyклу / I.V. Hunko, S.A. Burlaka, A.P. Yelenych // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. – 2018. – Tom 2. № 6 (267). – S. 246–249.
6. Eberhart S. A., Russel W. A. Stability parameters for comparing varieties. Crop Sci. 1966. V. 6. № 1. R. 34–40.

Рецензія/Peer review : 26.09.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.10.2021 р.

АВТОМАТИЗАЦІЯ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ ТА РАДІОТЕХНІКА

DOI 10.31891/2307-5732-2021-301-5-119-126
УДК 621.396.6

ВАЩИЩАК С. П., БОЙЧУК А. М., СТИСЛО Т. Р.

ЗВО Університет Короля Данила
0000-0002-1753-1540, 0000-0003-3357-8274, 0000-0002-2377-7985
serhii.vaschysyak@ukd.edu.ua, andrii.m.boichuk@ukd.edu.ua, taras.styslo@ukd.edu.ua

МЕЛЬНИЧУК С. І., МАНУЛЯК І. З.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
0000-0002-6973-4235, 0000-0002-0072-1532
stepan.melnychuk@ukd.edu.ua, iryna.manuliak@ukd.edu.ua

**НАПРАВЛЕНА АНТЕНА ДЛЯ КОНТРОЛЮ БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖ
ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ ДІАПАЗОНУ 5 ГГц**

У роботі наведено результати конструювання та досліджень активної конічної рупорної антени для роботи в діапазоні 5 ГГц, яка має здатність працювати у важких польових умовах з високим коефіцієнтом підсилення та низьким рівнем власних шумів.

Ключові слова: направлена антена, конічний рупор, підсилення, бездротові мережі, діапазон, передача даних.

VAHSCHYSHCHAK S. P., BOICHUK A. M., STYSLO T. R.

HEI King Danylo University

MELNYCHUK S. I., MANULIAK. I. Z.

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

BEAM ANTENNA FOR CONTROLLING WIRELESS 5 GHz DATA TRANSMISSION NETWORKS

Recently, there has been an intensive development of wireless data networks in the 2.4 and 5 GHz ranges, or Wi-Fi. The popularity of these networks is mainly due to the transmission of multimedia information. Existing standards and data protocols for these networks ensure their smooth and high-performance operation in «ideal conditions». In fact, in cities and densely populated centers with a significant amount of such equipment as well as lack of backup channels, there is radio frequency interference. These interferences are caused by the impact of one piece of equipment on another when it is impossible to adjust by switching to backup channels. Due to the interference, the data transmission speed is reduced, and in some complex cases, the data transmission is stopped completely. This negative phenomenon especially affects the 5 GHz range, in which the signal range is less than that for the 2 GHz range. To assess the quality of wireless data transmission networks, the following characteristics are monitored: the average emission frequency and the emission bandwidth. When these characteristics go beyond the standard values, there are interferences detected by the radio frequency monitoring bodies. Monitoring is carried out monthly throughout the year by specialized measuring systems, which include spectrum analyzers and antennas. Existing antennas have the following disadvantages: instability of the amplification gain, significant noise radiation, low reliability of pushbutton switches and significant weight. To eliminate these shortcomings, the design of an active antenna with a conical horn, which has the ability to change the parameters of the antenna within the entire range of 5 GHz. The optimal parameters of the horn are calculated as well. To obtain high values of the amplification gain of the horn antenna and maintain them with high stability at temperatures from -20 to +45 °C used a signal amplification unit on a high-frequency operational amplifier SZA5044Z with a thermostat on a powerful transistor. Additional stability of the electrical characteristics of the amplifier is provided by double stabilization of the supply voltage. Electronic antenna control increases the reliability of the antenna by using electronic switching instead of push-button. Electronic control also protects the antenna amplifier from overheating, changing the polarity of the battery and electromagnetic interference. Laboratory and field studies of the directional horn antenna showed high stability of its parameters, reliability and ergonomics. Additional stability of the electrical characteristics of the amplifier is provided by double stabilization of the supply voltage. Electronic antenna control increases the reliability of the antenna by using electronic switching instead of push-button one. Electronic control also protects the antenna amplifier from overheating, change of the battery polarity and electromagnetic interference. Laboratory and field studies of the beam horn antenna showed high stability of its parameters, reliability and ergonomics.

Keywords: beam antenna, conical horn, amplification, wireless networks, range, data transmission.

Постановка проблеми

В даний час спостерігається інтенсивний розвиток систем бездротового зв'язку (Wi-Fi), які працюють за єдиним стандартом IEEE, прийнятим Інститутом інженерів електротехніки та електроніки (Institute of Electrical and Electronics Engineers) у 1997 році. Першим для бездротового зв'язку став стандарт 802.11, за яким дані передавалися на швидкостях до 2 Мбіт/с на частотах в діапазоні 2,4 ГГц. Для підвищення швидкості передачі даних і збільшення завадостійкості був доданий діапазон 5 ГГц, який зараз стрімко розвивається. Бездротові мережі передавання даних стандарту 802.11 стали популярними завдяки передаванню, в основному, мультимедійної інформації. Характеристики діючих стандартів в серії IEEE 802.11 наведено в таблиці 1 [1].

Обладнання для організації бездротових мереж передавання даних діапазонів 2,4 та 5 ГГц (радіоелектронні засоби широкосмугового радіодоступу) в Україні представлено на ринку фірмами Cisco [2], Ubiquiti [3], MikroTik [4] та іншими. В густонаселених місцевостях з високою концентрацією такого обладнання спостерігаються випадки виникнення радіочастотних завад через вплив одного обладнання на інше, що призводить до зменшення швидкості передачі даних, або і до повного її припинення [1]. Останнім часом кількість таких випадків зростає, що особливо шкодить діапазону 5 ГГц, оскільки у нього менша

дальність. А тому постійний якісний контроль характеристик мереж передавання даних в цьому діапазоні є актуальною задачею.

Таблиця 1

Характеристики стандартів бездротового зв'язку серії 802.11

Стандарт	Діапазон частот, ГГц	Швидкість передачі даних, Мбіт/с	Ширина смуги, МГц	Рознесення носійних, кГц
802.11b	2,412-2,472	5,5/11	20	-
802.11a	5,17-5,825	54	20	312,5
802.11g	2,412-2,472	54	20	312,5
802.11n	2,412-2,472/5,17-5,825	600	20/40	312,5
802.11ac	5,17-5,825	6933	20/40/80/160	312,5
802.11ax	2,412-2,472/5,17-5,825	9608	20/40/80/160	78,125

Відповідно до закону про радіочастотний ресурс України [5] з метою усунення впливу завад державними органами проводиться контроль (моніторинг) відповідності частотних характеристик працюючих Wi-Fi та WiMax – мереж (середньої частоти та ширини смуги випромінювання) заявленим стандартним значенням, за результатами якого виявляються джерела завад. Для цього застосовуються спеціалізовані мобільні вимірювальні комплекси [6], розміщені в автомобілях, з активними та пасивними антенами. Моніторинг бездротових мереж передавання даних здійснюється кожного місяця протягом всього року у важких польових умовах з постійною зміною температури та вологості. Внаслідок руху автомобілів місцевістю зі складним рельєфом обладнання вимірювальних комплексів піддається значному впливу вібрації. Також, у випадках, коли неможливо наблизитись до об'єкта моніторингу, контроль здійснюється зі значної відстані, що вимагає від антени великого коефіцієнта підсилення при мінімальному впливі власних шумів. Це ставить жорсткі вимоги до обладнання моніторингу. Самі вимірювальні комплекси є достатньо захищеними в автомобілі його системами подавлення вібрації та мікроклімату, а антени, від роботи яких напряму залежить якість контролю характеристик бездротових мереж, практично не захищені від негативних впливів. Так, внаслідок низької надійності кнопочних вимикачів антени часто вимикаються під час роботи, через доволі широкі діаграми направленості до основного сигналу в них додаються сторонні завади, внаслідок значних власних шумів чи незначного підсилення спотворюється форма сигналу, що ускладнює проведення контролю, або і робить його неможливим. Крім того, більшість антен мають значні розміри та вагу, що ускладнює роботу оператора. В такій ситуації створення вузьконаправленої малогабаритної антени з високим коефіцієнтом підсилення, надійною системою комутації та внутрішньою системою мікроклімату для забезпечення низького рівня шумів, дозволить підвищити якість та швидкість контролю параметрів бездротових мереж, виявляти джерела завад і спростити роботу операторів.

Аналіз останніх джерел

В літературі описано ряд антен які в даний час застосовуються для моніторингу бездротових мереж передавання даних в діапазоні 5 ГГц. До них відносяться R&SHE-300 [7], HF-906 [8], LPA-600, радіопідсилювальні пристрої ССТК-L діапазону 5-9 ГГц, АФС-133147М-L [6]. Основні параметри цих антен наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Основні характеристики антен діапазону 5 ГГц

Тип антени	Діапазон частот, ГГц	Коефіцієнт підсилення, дБ	Тип антени	Коефіцієнт шуму, дБ
HF-906	1–18	7	Рупорна пасивна	1,5
R&SHE-300	0,5–7,5	12	Направлена логоперіодична активна	5,3
LPA-600	2–6	20	Направлена логоперіодична активна	2,5
РПП 5-9 ГГц	5–9	40	Рупорна активна	2,5
АФС-133147М-L	0,5–6	3	Біконусна пасивна	2

Як показала тривала практична експлуатація, загальними недоліками наведених антен є нестабільність коефіцієнтів підсилення, що особливо помітно при експлуатації активних антен з транзисторними підсилювачами, та значний коефіцієнт шуму, що суттєво перевищує заявлені в документації значення. Це, перш за все, пов'язано зі зміною температури та вологості середовища в якому працюють антени. Також, на якість роботи антен впливає старіння радіоелементів та окислення роз'ємних з'єднувачів.

Метою роботи є розроблення конструкції активної направленої антени з конусним рупором з високою стабільністю коефіцієнта підсилення та підвищеною надійністю, призначеної для контролю параметрів бездротових мереж передавання даних діапазону 5 ГГц в різних кліматичних умовах.

Виклад основного матеріалу

Для досягнення поставленої мети запропоновано повністю виконати у виді конусного рупору з циліндричним хвилеводом (рис. 1). Через те, що перехід циліндричного хвилеводу в рупор повинен бути плавним, при збільшенні розмірів розкриття рупору доводиться збільшувати його довжину. Оптимальним конічним рупором вважається рупор, який для заданої довжини l_{opt} має розміри розкриття, які забезпечують найбільше значення коефіцієнту направленої дії [9].

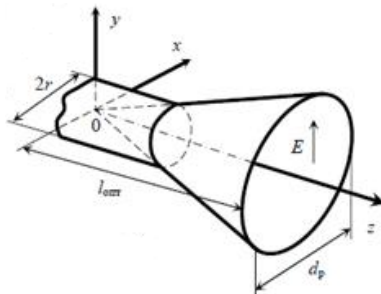


Рис. 1. Модель оптимального конічного рупору

Геометричні розміри оптимального конічного рупору пов'язані між собою таким відношенням [10]:

$$l_{opt} = \frac{d_p^2}{2,4\lambda} - 0,15\lambda, \quad (1)$$

де l_{opt} та d_p – оптимальні довжина і кут розкриття рупору, м;

λ – довжина хвилі електромагнітного сигналу, м.

Ширину діаграми направленості оптимального конічного рупору на рівні 0,5 по потужності (в градусах) можна визначити з наступних виразів [10]:
в площині H

$$20_{0,5}^H \approx \frac{70^\circ \lambda}{d_p}$$

в площині E

$$20_{0,5}^E \approx \frac{60^\circ \lambda}{d_p}$$

Значення коефіцієнту направленої дії конічного рупору в напрямку максимуму діаграми направленості розраховується згідно формули [10]:

$$D = \left(\frac{\pi d_p}{\lambda} \right)^2 \nu \approx 5 \left(\frac{d_p}{\lambda} \right)^2,$$

де ν – коефіцієнт використання поверхні антени, що для конічного рупору рівний 0,51.

Конічна рупорна антена має хороше узгодження з вільним простором, а коефіцієнт стоячої хвилі у хвилеводі має величину 1,1...1,2 [11].

За наведеними залежностями була розрахована та виготовлена антена на середину діапазону 5 ГГц (частоту 5,5 ГГц), яка має здатність плавного механічного переналаштування чутливості в межах діапазону (5,15 – 5,85 ГГц). Основні параметри антени наведено в таблиці 3. Платформа рупорної антени, виготовлене з алюмінію марки АД0, є повністю розбірним і складається з таких конструктивних елементів (рис. 2): рупора 1, резонатора 2, поршня 3, тримача поршня 4, штирів для підлаштування чутливості 5 та 6 [12]. Рупор 1 має внутрішню, а резонатор 2 – зовнішню різьби для приєднання один до одного. З іншого боку резонатора нарізана внутрішня різьба для кріплення тримача поршня 4, в який вкручується різьбовий вал поршня 3. Тримач підлаштування чутливості 5 має зовнішню різьбу (M8) для приєднання до резонатора та внутрішню (M4) для руху в ньому штиря підлаштування чутливості 6. Штир коаксіально-хвилевого переходу 5 встановлюється нерухомо у фторопластовій ізоляційній прокладці. За допомогою поршня 3 та елементів 5 і 6 встановлюється оптимальна чутливість антени у межах всього діапазону частот. Цими ж елементами можна підвищити чутливість антени у певній смузі діапазону і довести коефіцієнт підсилення до 14 дБ у смузі, шириною до 120 МГц. В загальному ж коефіцієнт підсилення полотна антени в межах діапазону 5 ГГц становив 8 – 11 дБ.

Основні параметри антени

Діаметр резонатора, мм	Довжина резонатора, мм	Кут розкриву рупора, град.	Довжина рупора, мм	Зовнішній діаметр рупора, мм	Довжина/діаметр приймального щтиря, мм	Коеф. направленої дії
38	121	60	29,7	76	22/2,5	2,5

Для забезпечення високого коефіцієнта підсилення рупорної антени та підтримання його стабільного значення при зміні кліматичних умов (від -20 до $+45$ °С) було запропоновано застосувати блок підсилення на високочастотному операційному підсилювачі SZA5044Z з підтриманням робочої температури $+45$ °С за допомогою термостату та додатковою стабілізацією напруги живлення. Підсилювач SZA5044Z має лінійну АЧХ в діапазоні 4,9 – 5,9 ГГц, максимальний коефіцієнт підсилення – до 33 дБ при напрузі живлення $+5$ В та низький рівень власних шумів. Перевагою цього підсилювача є хороше його узгодження як зі щтирем коаксіально-хвильового переходу приймальної антени, так і з навантаженням, яким, у нашому випадку, є аналізатор спектру [13].



Рис. 2. Конструктивні елементи полотна рупорної антени

Функціональна схема електронного керування рупорною антеною наведена на рис. 3. До складу антени входять: блок комутації 1, стабілізатор напруги живлення $+8$ В 2 з фільтром низьких частот 3, термостат 4, стабілізатор напруги живлення $+5$ В 5 з фільтром високих частот 6, блок керування 7, блок підсилення 8. Блок комутації 1 служить для визначення полярності зовнішньої акумуляторної батареї Б1, приєднаної через з'єднувач Х1, і складається з блока аналізу з польовим транзистором VT1 (IRF9640). При неправильній полярності приєднання акумулятора транзистор VT1 просто не ввімкнеться і загориться червоний світлодіод VD1 «Полярність». Після зміни полярності клем акумулятора світлодіод VD1 погасне, транзистор VT1 відкриється і подасть живлення на стабілізатор 2 з фільтром 3 та на термостат 4. Біполярний транзистор VT2 (TIP3055) термостату 4, відіграє роль елемента нагрівання і розміщується на радіаторі, на якому в зоні розміщення підсилювача 8 також розміщено давач температури VD2. Після подачі живлення транзистор VT2 починає нагрівати радіатор до температури $+45$ °С. Одночасно з цим подається напруга живлення на стабілізатор 5 з фільтром 6, які живлять блок керування 7 високостабільною напругою. Блок керування 7 керує подачею напруги живлення на плату підсилювача блока 8. До блока керування 7 приєднано термодавач VD2, кнопку запуску вимірювання «Вимір» S1 та світлодіод VD3 «Робота». Блок керування за допомогою термодавача VD2 слідкує за температурою радіатора і поки вона не досягла встановленого значення блокує кнопку S1 та світлодіод VD3. При досягненні в зоні розміщення підсилювача температури $+45$ °С активується кнопка S1, при натисканні якої вмикається блок захисту підсилювача та засвічується зелений світлодіод VD3. Блок захисту постійно контролює струм споживання підсилювача 8 і при різкій зміні струму вимикає його, при цьому світлодіод VD3 гасне. Вхід блоку підсилення приєднано до щтиря коаксіально-хвильового переходу 9, розміщеного в резонаторі антени 10. Підсилений сигнал з виходу блоку 8 через узгоджувальну лінію надходить на високочастотний з'єднувач Х2 типу SMA, а звідти – на аналізатор спектру.

Конструктивно схема електронного керування виконана у формі рукояті з двостороннім розміщенням елементів, прикріпленої до полотна антени за допомогою металевих хомутиків (рис. 4). На лівій стороні рукояті антени (рис. 4, а) розміщено роз'ємний з'єднувач для приєднання акумулятора 1, стабілізатори (на 8В) 2 та (на 5 В) 3 з елементами фільтрів 4, нагрівальний транзистор VT1 термостату 5, розміщений на радіаторі 6, блоки комутації та керування 7, кнопка S1 8 та світлодіод VD3 9.

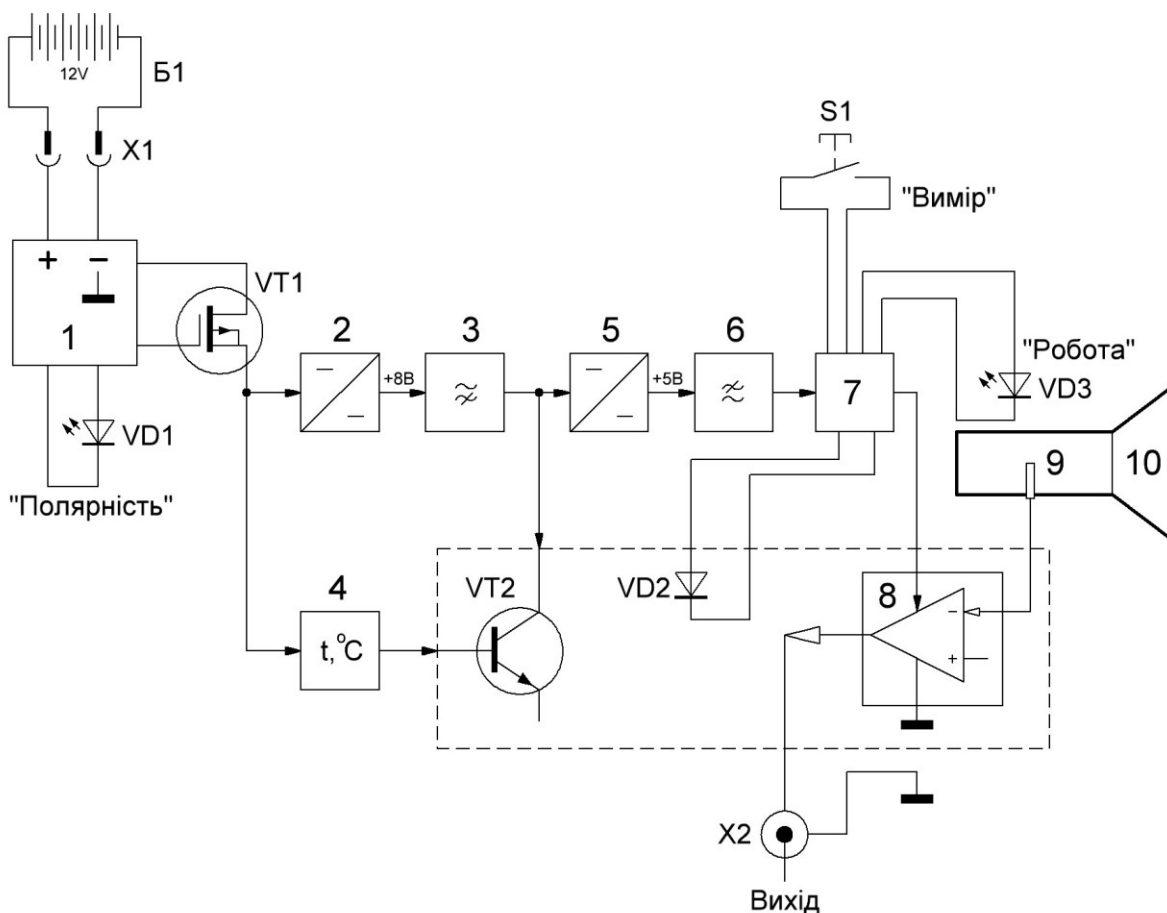
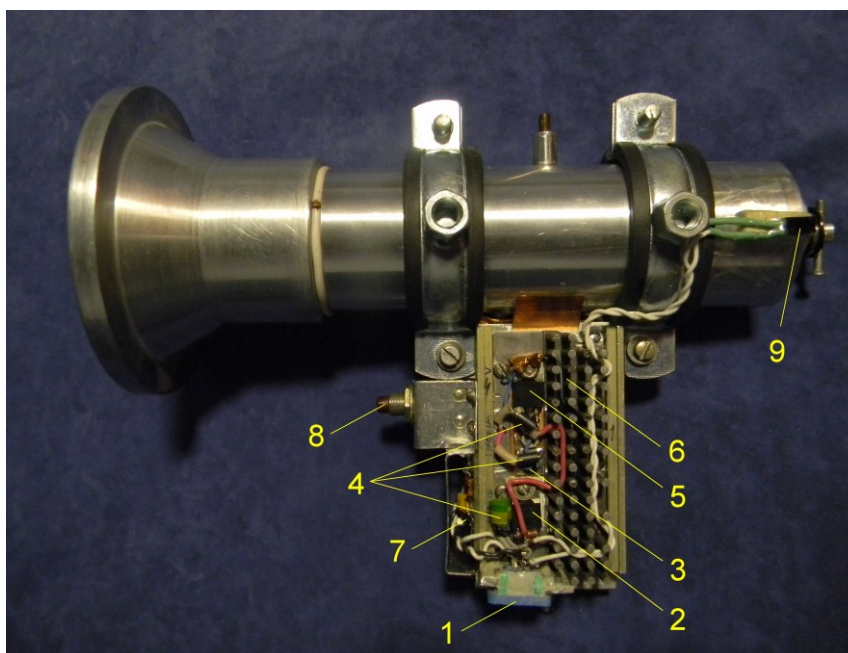


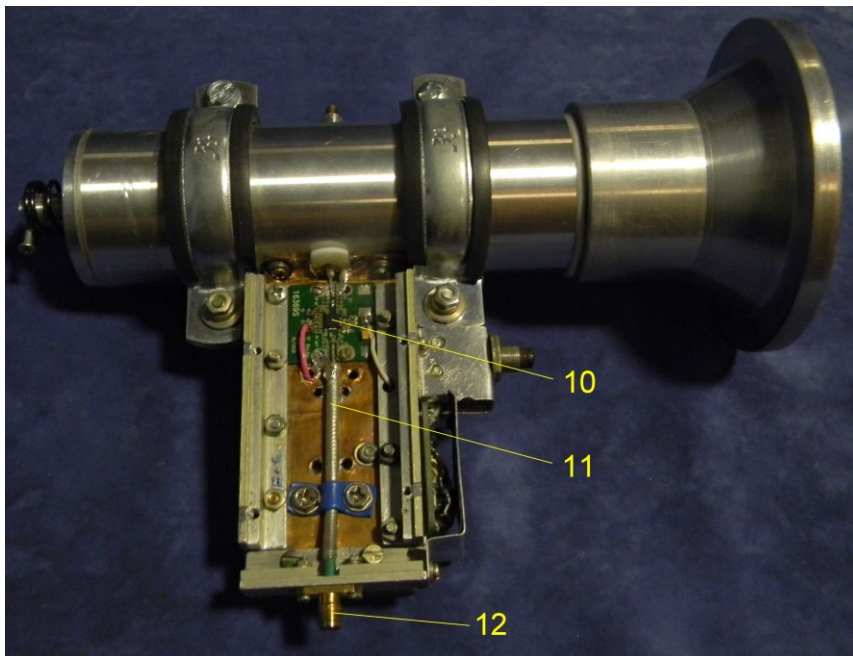
Рис. 3. Функціональна схема електронного керування рупорною антеною

На правій стороні рукояті антени (рис. 4, б) розміщено плату підсилювача SZA5044Z 10, узгоджувальну лінію 11 та вихідний роз'ємний з'єднувач 12. Всі інші блоки та елементи розміщені всередині рукояті. Рукоять антени повністю заекранована та загерметизована. Вага зібраної антени становить 0,7 кг, максимальна довжина (з повністю виведеним поршнем) – 220 мм, висота – 180 мм [14].



А

Рис. 4. Конструкція активної рупорної антени: а – вид зліва



б

Рис. 4. Конструкція активної рупорної антени: б – вид справа (продовження)

Проведені лабораторні та польові дослідження активної рупорної антени за допомогою аналізаторів спектру Advantest U3772 та Keysight N9935A показали її високі технічні характеристики та надійність. На рис. 5 наведено приклад спектрограми власного шумового сигналу антени з працюючим підсилювачем при відсутності вхідного сигналу. На рис. 6 наведено спектрограму роботи полотна антени без підсилювача при стандартному вхідному сигналі. На рис. 7 наведено спектрограму роботи антени з підсилювачем при стандартному вхідному сигналі. Коефіцієнт підсилення активної рупорної антени при зміні температури зовнішнього середовища від $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+32\text{ }^{\circ}\text{C}$ та вологості від 90 % до 50 % становив не менше 30 дБ у всьому діапазоні частот, при цьому рівень власних шумів не перевищував 3 дБ. Антена стабільно працювала при сильних вібраціях і витримала більше 2000 циклів включень без збоїв у роботі. Операторами була відмічена висока ергономічність антени у порівнянні з існуючими аналогами.

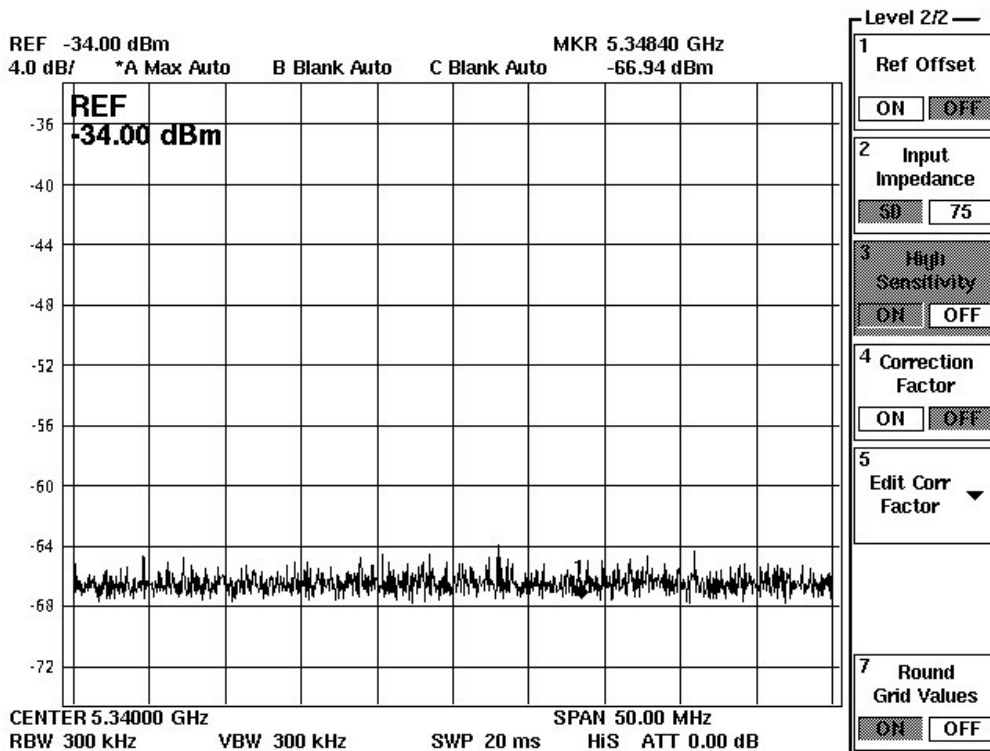


Рис. 5. Спектрограма власних шумів рупорної антени з працюючим підсилювачем при відсутності вхідного сигналу

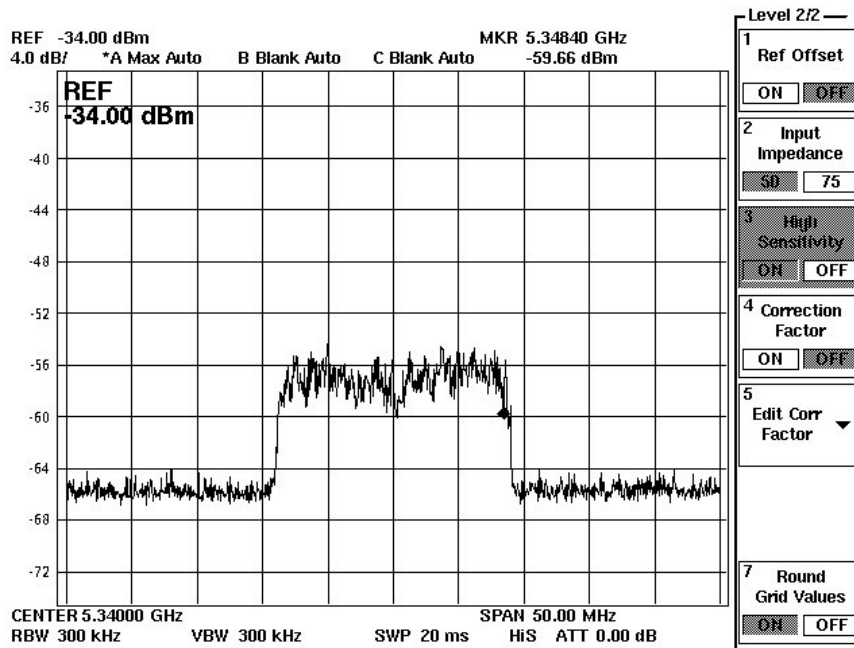


Рис. 6. Спектрограма роботи полотна антени без підсилювача

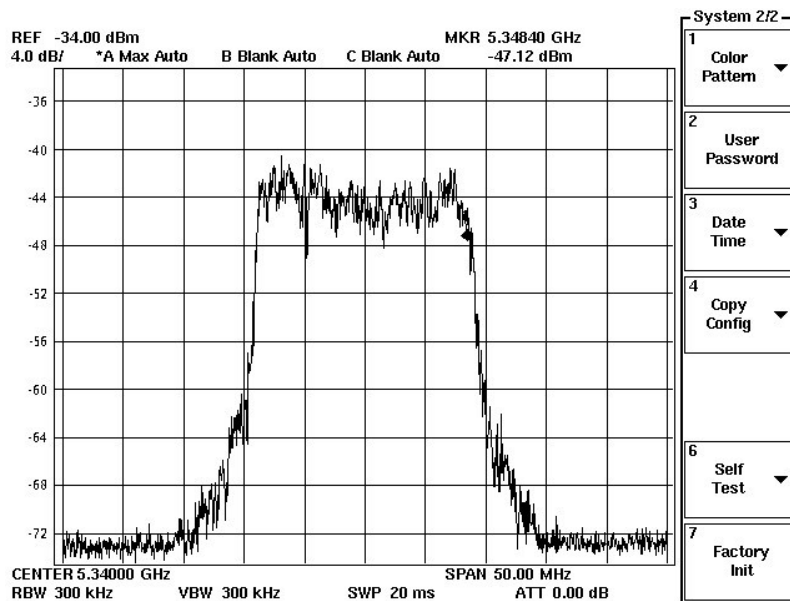


Рис. 7. Спектрограма роботи антени з підсилювачем

Висновки

Розроблено конструкцію активної направленої антени з конусним рупором для контролю характеристик бездротових мереж передавання даних діапазону 5 ГГц в різних кліматичних умовах. Розраховано оптимальні характеристики полотна антени та створена його конструкція, що має здатність плавного механічного переналаштування чутливості в межах діапазону 5 ГГц. Великих значень коефіцієнта підсилення антени та забезпечення її роботи в різних кліматичних умовах (при температурах від -20 до $+45$ °C) досягнуто завдяки застосуванню високочастотного операційного підсилювача SZA5044Z, розміщеного в термостаті. Підвищення стабільності роботи підсилювача досягнуто подвійною стабілізацією напруги живлення. Електронне керування антеною захищає її від зміни полярності акумулятора, перегрівання підсилювача, електромагнітних завад та підвищує надійність завдяки застосування електронної комутації. Проведені дослідження антени в лабораторних та польових умовах показали високу стабільність її параметрів, надійність та ергономічність.

Література

1. Ченлян Ін, Лазебний В.С. Аналіз результатів дослідження реальної пропускну здатності безпроводових мереж стандарту IEEE 802.11. / І. Ченлян, В.С. Лазебний // Проблеми інформатизації та управління. 2019. №1(61). С30 – 39.

2. Офіційний сайт Cisco [Електронний ресурс] : [вебсайт]. – Режим доступу: https://www.cisco.com/c/ru_ua/solutions/enterprise-networks/sd-wan/index.html
3. Каталог обладнання [Електронний ресурс] : [вебсайт]. – Режим доступу: <http://www.ubnt.ru/ubiquiti.htm>
4. Каталог безпроводного обладнання [Електронний ресурс] : [вебсайт]. – Режим доступу: <https://www.mikrotik.ua/catalog/bezprovidni-systemy>
5. Про радіочастотний ресурс України [Електронний ресурс] : закон України [прийнято ВР України від 07.12.2000 № 2120-III] // Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 2000. – № 36. – Ст. 298. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1770-14#Text>
6. Слободянюк П.В., Благодарний В.Г., Ступак В.С. Довідник з радіомоніторингу / Під заг. ред. П.В. Слободянюка. – Ніжин: ТОВ "Видавництво "Аспект-Поліграф", 2008. - 588 С.
7. Активна направлена антена від 9 кГц до 7,5 ГГц [Електронний ресурс] : [веб-сайт]. – Режим доступу: https://www.neweng.ru/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB%D1%8B/he300_ti_ru.pdf
8. Double-Ridged Waveguide Horn Antenna, HF 906 [Електронний ресурс] : [веб-сайт]. – Режим доступу: https://scdn.rohdeschwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/HF906_brief_e.pdf
9. Рупорні антени. Будова. Параметри. [Електронний ресурс] : [веб-сайт]. – Режим доступу: <https://intellect.icu/rupornye-antenny-postroeniya-parametry-diagramma-napravlenosti-koeffitsient-napravlenogo-dejstviya-357>
10. Хмель В. Ф. и др. Антенны и устройства СВЧ. Сборник задач: Учеб. пособие / В. Ф. Хмель, А.Ф. Чаплин, И. И. Шумлянский – 2-е изд., перераб. И доп. – К.: Выща шк., 1990. – 232 с.
11. Гошин Г.Г. Устройства СВЧ и антенны: Учеб. Пособие. В 2-х частях. / Г.Г. Гошин // – Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2003. – Часть 2: Антенны. – 130 с.
12. Ващишак С.П. Рупорна антена для розширення можливостей безпроводних мереж передавання даних. / С.П. Ващишак // матеріали IV Всеукраїнського науково-практичного симпозиуму «Концептуальні проблеми розвитку сучасної гуманітарної та прикладної науки»: м. Івано-Франківськ, 15 травня 2020 року. - С. 165-168.
13. SZA5044Z [Електронний ресурс] : [веб-сайт]. – Режим доступу: [https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/RFMD%20PDFs/SZA-5044\(Z\).pdf](https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/RFMD%20PDFs/SZA-5044(Z).pdf)
14. Ващишак С.П. Активна рупорна антена діапазону 4,9 - 5,9 ГГц для моніторингу радіорелейних засобів широкосмугового радіо доступу. / С.П. Ващишак // Матеріали II міжнар. наук.-практ. конф. «Прикладні науково-технічні дослідження», м. Івано-Франківськ: Академія технічних наук України, 3-5 квітня 2018 р. – Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2018. – с. 119.

References

1. Chenljan In', Lazebnij V.S. Analiz rezul'tativ doslidzhennja real'noï propusknoï zdatnosti bezprovodovih merezh standartu IEEE 802.11. / I. Chenljan, V.S. Lazebnij // Problemi informatizacii ta upravlinnja. 2019. №1(61). S30 – 39.
2. Oficijnij sajt Cisco [Elektronnij resurs] : [veb-sajt]. – Rezhim dostupu: https://www.cisco.com/c/ru_ua/solutions/enterprise-networks/sd-wan/index.html
3. Katalog obladnannja [Elektronnij resurs] : [veb-sajt]. – Rezhim dostupu: <http://www.ubnt.ru/ubiquiti.htm>
4. Katalog bezprovodnogo obladnannja [Elektronnij resurs] : [veb-sajt]. – Rezhim dostupu: <https://www.mikrotik.ua/catalog/bezprovidni-systemy>
5. Pro radiochastotnij resurs Ukraïni [Elektronnij resurs] : zakon Ukraïni [priijnjato VR Ukraïni vid 07.12.2000 № 2120-III] // Vidomosti Verhovnoï Radi Ukraïni (VVR). – 2000. – № 36. – St. 298. – Rezhim dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1770-14#Text>
6. Slobodjanjuk P.V., Blagodarnij V.G., Stupak V.S. Dovidnik z radiomonitoringu / Pid zag. red. P.V. Slobodjanjuka. – Nizhin: TOV "Vidavnictvo "Aspekt-Poligraf", 2008. - 588 S.
7. Aktivna napravlena antena vid 9 kGc do 7,5 GGc [Elektronnij resurs] : [veb-sajt]. – Rezhim dostupu: https://www.neweng.ru/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB%D1%8B/he300_ti_ru.pdf
8. Double-Ridged Waveguide Horn Antenna, HF 906 [Elektronnij resurs] : [veb-sajt]. – Rezhim dostupu: https://scdn.rohdeschwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/HF906_brief_e.pdf
9. Ruporni anteni. Budova. Parametri. [Elektronnij resurs] : [veb-sajt]. – Rezhim dostupu: <https://intellect.icu/rupornye-antenny-postroeniya-parametry-diagramma-napravlenosti-koeffitsient-napravlenogo-dejstviya-357>
10. Hmel' V. F. i dr. Antenny i ustrojstva SVCh. Sbornik zadach: Ucheb. posobie / V. F. Hmel', A.F. Chaplin, I. I. Shumljanskij – 2-e izd., pererab. I dop. – K.: Vyshha shk., 1990. – 232 s.
11. Goshin G.G. Ustrojstva SVCh i anteny: Ucheb. Posobie. V 2-h chastjah. / G.G. Goshin // – Tomsk: Tomskij mezvuzovskij centr distancionnogo obrazovanija, 2003. – Chast' 2: Antenny. – 130 s.
12. Vashhishak S.P. Ruporna antena dlja rozshirenija mozhlivostej bezprovodnih merezh peredavannja danih. / S.P. Vashhishak // materialy IV vseukraïnskogo naukovopraktichnogo simpoziumu «Konceptual'ni problemi rozvitku suchasnoï humanitarnoi ta prikladnoï nauki»: m. Ivano-Frankivs'k, 15 travnja 2020 roku. -S.165-168.
13. SZA5044Z [Elektronnij resurs] : [veb-sajt]. – Rezhim dostupu: [https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/RFMD%20PDFs/SZA-5044\(Z\).pdf](https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/RFMD%20PDFs/SZA-5044(Z).pdf)
14. Vashhishak S.P. Aktivna ruporna antena diapazonu 4,9 - 5,9 GGC dlja monitoringu radiorelejnih zasobiv shirokosmugovogo radio dostupu. / S.P. Vashhishak // Materialy II mizhnar. nauk.-prakt. konf. «Prikladni naukovopraktichni doslidzhennja», m. Ivano-Frankivs'k: Akademija tehnicnih nauk Ukraïni, 3-5 kvitnja 2018 r. – Ivano-Frankivs'k: Simfonia forte, 2018. – s. 119.

KRASILENKO VLADIMIR

Vinnytsia National Agrarian University

ORCID ID: 0000-0001-6528-3150

e-mail: krasvg@i.ua

LAZAREV ALEXANDER, NIKITOVICH DIANA

Vinnytsia National Technical University

ORCID ID: 0000-0003-1176-5650; 0000-0002-8907-1221

e-mail: diananikitovych@gmail.com

SIMULATION OF CELLS FOR SIGNALS INTENSITY TRANSFORMATION IN MIXED IMAGE PROCESSORS AND ACTIVATION FUNCTIONS OF NEURONS IN NEURAL NETWORKS

The paper considers results of design, simulation of continuously logical pixel cells (CLPC) based on current mirrors (CM) with functions of preliminary analogue processing for image intensity transformation and coding for construction of mixed image processors (IP) and neural networks (NN). The methodology and principles of construction of such cells are based on the use of piecewise-linear approximation of functions for nonlinear transformation of analog signals. It is shown that for the realization of generalized arbitrary functions by such gamma correctors, it is possible to apply basic step functions with controlled parameters. To implement the basic step functions, it is proposed to use nodes that perform a continuous-logical operation of a limited current difference and are quite simply implemented on current reflectors (VDS). The design and modeling of continuous-logical pixel cells (CLPC) based on VDS in different modes and for different conversion functions. Such CLC has a number of advantages: high speed and reliability, simplicity, small power consumption, high integration level for linear and matrix structures. We show design of CLC variants for photocurrents transformation and their simulations. The basic element of such cells is a scheme that implements the operation of a bounded difference of continuous logic. Using a set of circuits implemented on CMOS technology, we consider generalized methods for designing cells for nonlinear conversion of the photocurrent intensity. Selection of the appropriate parameters, which can be specified as constructive constants or as parameters for external control, allows changing type of synthesized functions. Possibilities of synthesis by such cells of functions with descending sections and different types are shown: sigmoid, lambda and others. Such CLPCs consist of several dozen CMOS transistors, have low power supply voltage (1.8–3.3V), the range of an input photocurrent is 0.1–24 μ A, the transformation time is less than 1 μ s, low power consumption (microwatts). The circuits and the simulation results of their design with OrCAD are shown. Examples of nonlinear image transformations are given.

Keywords: self-learning equivalent-convolutional neural structures, equivalent models, continuous-logical operations, 2D spatial function, neuron-equivalent, current mirror, image intensity transformation, nonlinear processing.

КРАСИЛЕНКО В. Г.

Вінницький національний аграрний університет

ЛАЗАРЄВ О. О., НІКІТОВИЧ Д. В.

Вінницький національний технічний університет

МОДЕЛЮВАННЯ КОМІРОК ДЛЯ ПЕРЕТВОРЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ СИГНАЛІВ У ГІБРИДНИХ ПРОЦЕСОРАХ ЗОБРАЖЕНЬ ТА РЕАЛІЗАЦІЇ ФУНКЦІЙ АКТИВАЦІЇ НЕЙРОНІВ У НЕЙРОННИХ МЕРЕЖАХ

У статті розглянуто результати проектування, моделювання неперервно-логічних піксельних комірок (НЛПК) на основі від-дзеркалювачів струму (ВДС) з функціями попередньої аналогової обробки та перетворення інтенсивності сигналів, що необхідні для побудови гібридних аналого-цифрових процесорів обробки зображення (ПОЗ) і нейронних мереж (НМ). Методологія та принципи побудови таких комірок базуються на використанні кусочно-лінійної апроксимації функцій для нелінійної трансформації аналогових сигналів. Показано, що для реалізації узагальнених довільних функцій такими гамма-коректорами, можна застосувати базові ступінчасті функції з керованими параметрами. Для реалізації базових ступінчастих функцій запропоновано використати вузли, що виконують неперервно-логічну операцію обмеженої різниці струмів та досить просто реалізуються на від-дзеркалювачах струму (ВДС). Виконано проектування і моделювання неперервно-логічних піксельних комірок (НЛПК) на основі ВДС в різних режимах та для різних функцій перетворення. Такі НЛПК мають ряд переваг: високу швидкість та надійність, простоту схем, мале енергоспоживання, високий рівень інтеграції для лінійних та матричних структур. Ми показуємо дизайн варіантів НЛПК для перетворення фотострумів та їх моделювання. Базовим елементом таких піксельних комірок є вузол, що реалізує операцію обмеженої різниці неперервної логіки. На основі набору таких вузлів та ВДС, реалізованих за КМОП-технологією, запропоновані та розглянуті узагальнені методи побудови комірок для нелінійного перетворення інтенсивності фотоструму. Вибір відповідних параметрів, які можуть бути задані як конструктивні константи або як сигнали керування зовні, дозволяє змінити тип функцій, що синтезуються. Показано можливості синтезу таким комірками функцій зі спадними учасками та різного типу: сигмоїдного, лямбда та інші. Такі НЛПК складаються з кількох десятків КМОП-транзисторів, мають низьку напругу живлення (1,8–3,3 В), діапазон вхідного фотоструму 0,1–24 мкА, час перетворення менше 1 мкс, низьке енергоспоживання (мікровоатти). Показано схеми комірок та результати їх моделювання.

Ключові слова: еквівалентно-згорткові нейронні структури, що самонавчаються, еквівалентні моделі, неперервно-логічні операції, двовимірна просторова функція, нейрон-еквівалентор, від-дзеркалювач струму, перетворення інтенсивності зображення, нелінійна обробка.

Introduction

For creation of biometric systems, machine vision systems are necessary to solve the problem of object recognition in images. Discriminant measure of the mutual alignment reference fragment with the current image, the

coordinate offset is often a mutual 2D correlation function. In paper [1] it was shown that to improve accuracy and probability indicators with strong correlation obstacle-damaged image, it is desirable to use methods of combining images based on mutual equivalently 2D spatial functions and equivalence models (EMs), nonlinear transformations of adaptive-correlation weighting. For the recognition, clustering of images, various models of neural networks (NN), auto-associative memory (AAM) and hetero-associative memory (HAM) are also used [2, 3]. The EM has such advantages as a significant increase in the memory capacity and the possibility of maintaining strongly correlated patterns of considerable dimensionality. Mathematical models and implement of HAM based on EMs and their modification described in papers [3, 4]. For of analysis and recognition should be solved the problem of clustering of different objects [4]. Hardware implementations of these models are based on structures, including matrix-tensor multipliers, equivalentors [5]. And the latter are basic operations in the most promising paradigms of convolutional neural networks (CNN) with deep learning [6-8, 9]. Jim Cruchfield of UC Davis and his team are exploring a new approach to machine learning based on pattern discovery. Scientists create algorithms to identify previously unknown structures in data, including those whose complexity exceeds human understanding. In paper [10] we showed that the self-learning concept works with directly multi-level images without processing the bitmaps. But, as will be explained below, for all progressive models and concepts, nonlinear transformations of signals, image pixel intensities are necessary.

1. Mathematical designing background of cells for image intensity transformation. Substantiation of the need to design devices for parallel nonlinear image intensity transformations in self-learning equivalent-convolutional neural structures (SLECONS). In papers [9, 10] we showed models for the recognition and clustering of images that combine the process of recognition with the learning process. For all known convolutional neural networks, as for our EMs, it is necessary to calculate the convolution of the current fragment of the image in each layer with a large number of templates that are used, which are a set of standards that are selected or formed during the learning process. But, as studies show, large images require a large number of filters to process images, and the size of the filters can also be large. Therefore, the problem of increasing the computing performance of hardware and software-hardware implementations of such CNNs is acute. Therefore, the last decade was marked by the activation of works aimed at the creation of specialized neural accelerators and we proposed a new structure [10, 11]. It consists of a micro-display dynamically displaying current fragments, an optical node in the form of a micro-lens array (MLA) with optical lenses (not shown!) and a 2D array of equivalentors (**Eq**s) with optical inputs. Simulation on 1.5 μ m CMOS in different modes has shown that the **Eq** and their base units can operate correctly in low-power modes and high-speed modes, their energy efficiency is estimated to be not less than 10^{12} an.op / sec per W the produced and can be increased by an order, especially considering FPAA [12]. But much depends on the accuracy of the current mirrors and their characteristics. Thus, at the inputs of each **Eq** we have two arrays of currents representing the compared fragment and the corresponding filter, and the output of the **Eq** is an analog signal, nonlinearly transformed in accordance with the activation function. As will be shown work [10], non-linear component-wise transformations allow even without WTA network to allocate the most Eq with the greatest activity. From the above described it follows that for hardware implementations of all the advantages of SI EM, an important issue is the design of parallel nonlinear transformations, transformations of intensity levels. And, as will be shown below, the use of an array of cells that perform hardware, non-linear transformations adequate to auto-equivalence operations, allows the laborious computational process of searching for extremums in maps for clustering and learning not to be performed, but to automatically select these extremums using only several transformations steps.

Brief review of mathematical operators, which are implemented by neurons. Almost all models of NN, CNN use mathematical models of neurons, which are reduced to the presence of two basic mathematical components-operators: the first component computes a function from two vectors and the second component corresponds to nonlinear transformation of the output value of the first component to the output signal. The input operator can be implemented as sum, maximal or minimum value, product of the self-weighted inputs. But in the above works, activation functions were not simulated and shown. A lot of work has been devoted to the design of hardware devices that realize the functions of activation of neurons, but they do not consider the design of exactly the auto-equivalent transformation functions for EMs and the most common arbitrary types and types of nonlinear transformations. Therefore, the goal of this paper is the design of cells for hardware parallel transformation of image intensity levels. In work [10], the question of the simplest approximations of auto-equivalence functions (three-piece approximation with a floating threshold) was partially solved. The basic cell of this approximation consisted of only 18 – 20 transistors and allowed to work with a conversion time of 1 to 2.5 μ s. At the same time, the general theoretical approaches to the design of any nonlinear type of intensity transformation were not considered, and this is the object of the paper. We will note that on a current mirror more easily to execute these operations of addition or subtraction of currents. Therefore, we proposed a new structure [11].

Mathematical models of nonlinear transformations of image intensities. Consider a mathematical model for the piecewise approximation of a nonlinear transformation of the pixel intensity of an image. The input analog intensity of the pixel is denoted by x where $x \in [0, D]$, where D – the maximum intensity of the selected range, and denote the output analogized transformed intensity by y where $y \in [0, D]$. Then the operator of the nonlinear intensity transformation can be written in the form: $y = F_{trans}(x)$. As such functions can be threshold processing functions, exponential, sigmoid and many others, which, in particular, are used as activation functions in the construction, synthesis of neural elements and networks based on them. To form the required nonlinear intensity transformations,

it is possible to use piecewise linear approximation of the chosen functions. For piecewise-linear approximation, break the range of input levels D into N equal sub-bands, width $p = D/N$. Using the function of bounded difference known from paper [1], defined as $a \dot{-} b = \begin{cases} a - b, & \text{if } a > b \\ 0, & \text{if } a \leq b \end{cases}$. Form for the input signal x and each upper sub-band level $pD_i = i \cdot p$, where $i = 1 \div N$, the following signals: $s_i = (x \dot{-} (i - 1) \cdot p) \dot{-} (x \dot{-} i \cdot p)$. For $i = 1$ we get $s_1 = x \dot{-} (x \dot{-} p)$, and this is the minimum $\min(x, p)$ and there is a step signal with height p . For $i = 2$ we get $s_2 = (x \dot{-} p) \dot{-} (x \dot{-} 2 \cdot p)$, which corresponds to a step in height p , but which begins at p . For $i = N$ we get $s_N = (x \dot{-} (N - 1) \cdot p) \dot{-} (x \dot{-} N \cdot p) = (x \dot{-} (N - 1) \cdot p)$, which corresponds to a step in height p , but which begins at $(N - 1) \cdot p = D - p$. Summing with the weight coefficients k_i these steps, we can form a piecewise approximated intensity

$$y_a = \sum_{i=1}^N k_i \cdot s_i = \sum_{i=1}^N k_i \cdot [(x \dot{-} (i - 1) \cdot p) \dot{-} 2 \cdot (x \dot{-} i \cdot p)], \tag{1}$$

for forming $y_a \in [0, D]$, that is, the normalized range of its levels, the weighting coefficients of the steps are selected from the condition: $\sum_{i=1}^N k_i = N$. Analysis of formula (1) shows that by changing the gain of the steps, we can form any required piecewise continuous intensity conversion function. If the coefficient k_i negative, it means that the corresponding step is subtracted.

Thus, in order to implement the transformations, a set of nodes, realizable operations of bounded difference, weighting (multiplication), and simple summation are needed. If the input pixel intensity is set by the photocurrent, then having the current mirrors (CM), by which the operations of the limited difference and the summation of the photocurrents are easily realized, it is sufficient to have a plurality of limited difference schemes and the specified upper sub-band levels pD_i . By choosing the parameters of the current mirror transistors, operations of dividing or multiplying currents by the required fixed k_i . If it is necessary to dynamically change the view, the conversion function, i.e. the weight of the components, then you need the coded amplifiers. When working with currents and CM, a set of keys and a multiplying mirror with discrete weights (binary) perform the role of code-controlled amplifiers and are essentially DAC with the only difference that instead of a reference analog signal an analog signal s_i . After some transformations, formula (1) is transformed to this form:

$$y_a = \sum_{i=1}^N k_i \cdot [(x \dot{-} pD_{i-1}) \dot{-} (x \dot{-} pD_i)] = \sum_{i=1}^N k_i \cdot \min(x \dot{-} pD_{i-1}, p) \tag{2}$$

Formula (2) indicates that for the implementation of the intensity conversion, it is necessary to have analogous minimum circuits, but it is realized in the form of two operations of bounded difference: $a \dot{-} (a \dot{-} b) = \min(a, b)$. In addition to the formulas (1) and (2) considered above, it is possible to realize the required function by means of triangular signals:

$$y_a = \sum_{i=1}^N k_i \cdot t_i = \sum_{i=1}^N k_i \cdot [(x \dot{-} (i - 1) \cdot p) \dot{-} 2 \cdot (x \dot{-} i \cdot p)] \tag{3}$$

For the formation of the constants s_i or t_i , the input signal x can be multiplied by N and then all components are simultaneously generated simultaneously in each sub-assembly. On the other hand, in each sub-assembly a signal $(x \dot{-} pD_{i-1})$, which is fed to the next in the pipeline sub-assembly for the formation of signals and components from it. This corresponds to a conveyor circuit that will have a large delay, but does not require the multiplication of the input signal. The choice of this or that scheme and element base depends on the requirements for the synthesized node.

2. Simulation of image intensity transformation with Mathcad. Using both the basic components for the composition of the lambda function **fspΔs2**, shown in Fig. 1 and described by expression:

$$\mathbf{fsp\Delta s2}(x_s, p\Delta x, p\Delta, k) := k \cdot \mathbf{obs}(\mathbf{obs}(x_s, p\Delta x), \mathbf{obs}(x_s, p\Delta) \cdot 2) \tag{4}$$

where x_s – function argument, $p\Delta x$ – parameter indicating the lower bound-level x_s (beginning), $p\Delta$ – the second parameter indicating the level for the maximum, k – is the third parameter indicating the scalar gain multiplier; and $\mathbf{obs}(a, b) = a \dot{-} b$ we proposed a function-composition **fspΔsS**, which is calculated by the expression:

$$\mathbf{fsp\Delta sS}(x_s, \Delta k, v_k) := \sum_{i=1}^{\Delta k} \mathbf{fsp\Delta s2} \left[x_s, \frac{255}{\Delta k} \cdot (i - 1), \frac{255}{\Delta k} \cdot (i), \mathbf{VK}_i \right] \tag{5}$$

where Δk – number of components (lambda functions), x_s – argument of the function, \mathbf{VK} – vector of gain factors. The result of constructing some types of transfer characteristics (TC) using these functions in the Mathcad environment is shown in Fig. 1. To approximate auto-equivalence, we also offer simpler (2-step) basic N -functions:

$$\mathbf{af}(x_s, x_p) := [\mathbf{obs}(x_s, \mathbf{obs}(x_s, x_p)) + \mathbf{obs}[x_s, (DP - x_p)]] \cdot \left(\frac{DP}{x_p \cdot 2} \right) \tag{6}$$

and triple their composition:

$$afS(xs, VaF, KaF) := \sum_{iv=0}^2 af(xs, VaF_{iv}) \cdot (KaF_{iv}) \tag{7}$$

In general, the number of components in a composition can be arbitrary, but for modeling we used 8 and 16 component compositions and adjustment vectors. Examples of such functions and compositions for the synthesis of TC are shown in Fig. 2 (left). Another variety of functions is shown in Fig. 2 (right), and the results of using such TCs to prepare the original PIC image are shown in Fig. 3.

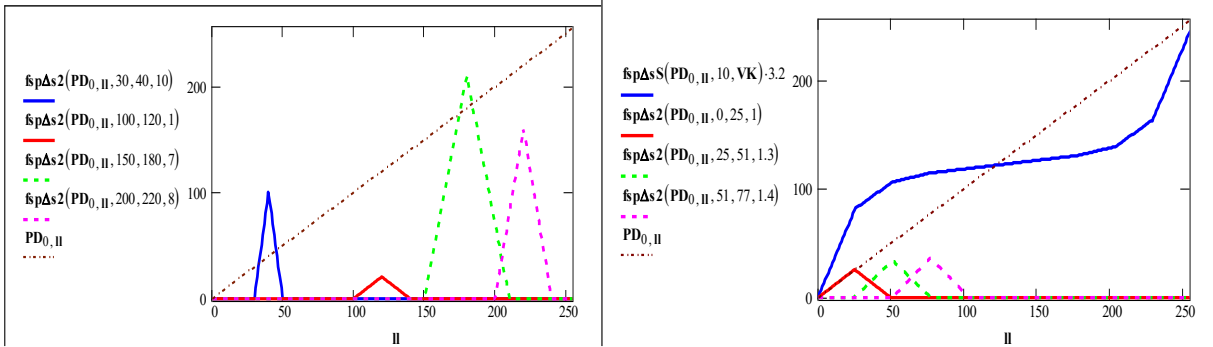


Fig. 1. Graphs of synthesized transformation functions

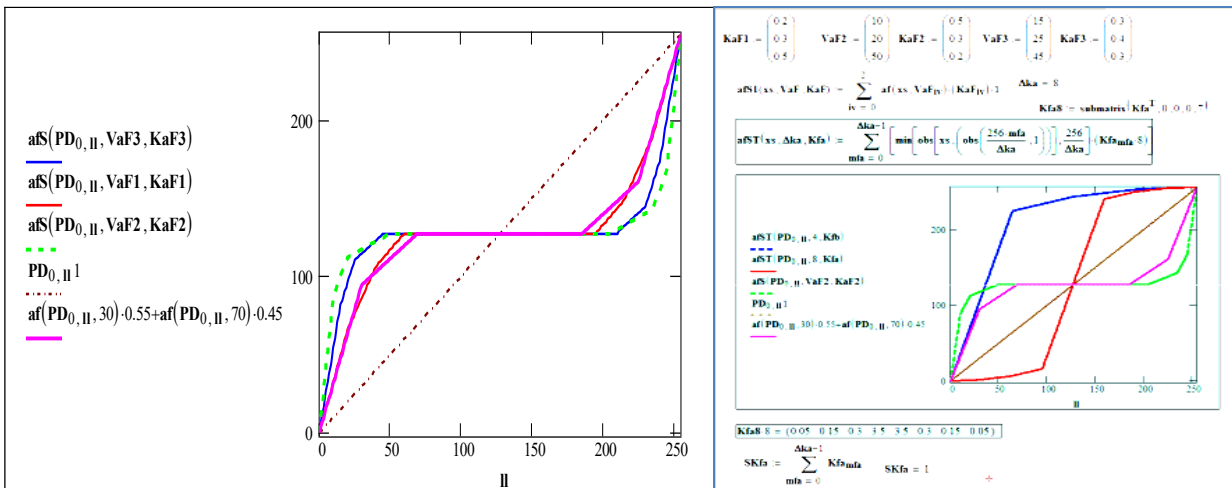


Fig. 2. Examples of synthesized transfer characteristics for auto-equivalence functions (left), Mathcad windows with the formulas and graphs of synthesized functions transformation (right)

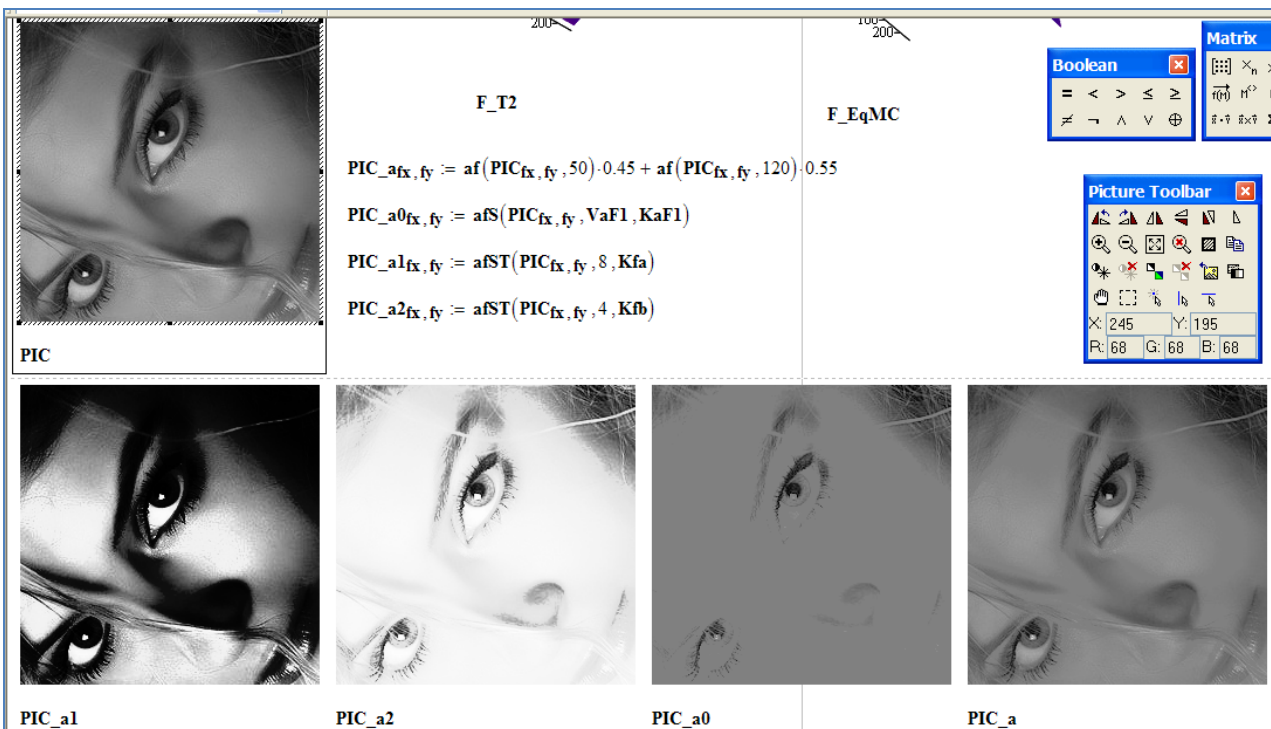


Fig. 3. Mathcad windows on which the formulas and results image intensity transformation are shown, where in 2D from left to right: input image PIC, the computed auto-equivalence functions, non-linear (after activation) output images (bottom row)

3. Design and simulation of array cells for image intensity transformation with Orcad Pspice. Let us first consider the design and simulation of a single base cell for the image intensity of an arbitrary transformation, using the example of a four-piece approximation by triangular signals according to formula (3). In Fig. 4 shows the scheme used for modeling, and Fig. 5 schematic of the basic sub-node. To form four triangular signals from the input signal, we use four identical sub-nodes, each of which consists of 14 transistors and an additional current mirror (2 transistors), and for propagation of the input photocurrent and threshold levels, the auxiliary circuit consists of 14 transistors. The input photocurrent was simulated by a current generator I2. In general, the cell layout consisted of 68 transistors. In this scheme for simulation, we used four fixed different gain values for each triangular signal. The simulation results for various signals are shown in Fig. 6. The power consumption of the cell is $150 \mu\text{W}$ at a supply voltage of 2.5 V , $I_{\text{max}} = D = 8 \mu\text{A}$, $N = 4$, $p = 2 \mu\text{A}$, and the periods of the input signals are $200 \mu\text{s}$ and $100 \mu\text{s}$. To dynamically switch the view of the image pixel intensity conversion function, we use the current-controlled current amplifiers on current mirror multipliers (CCCA) with binary-weighted current outputs.

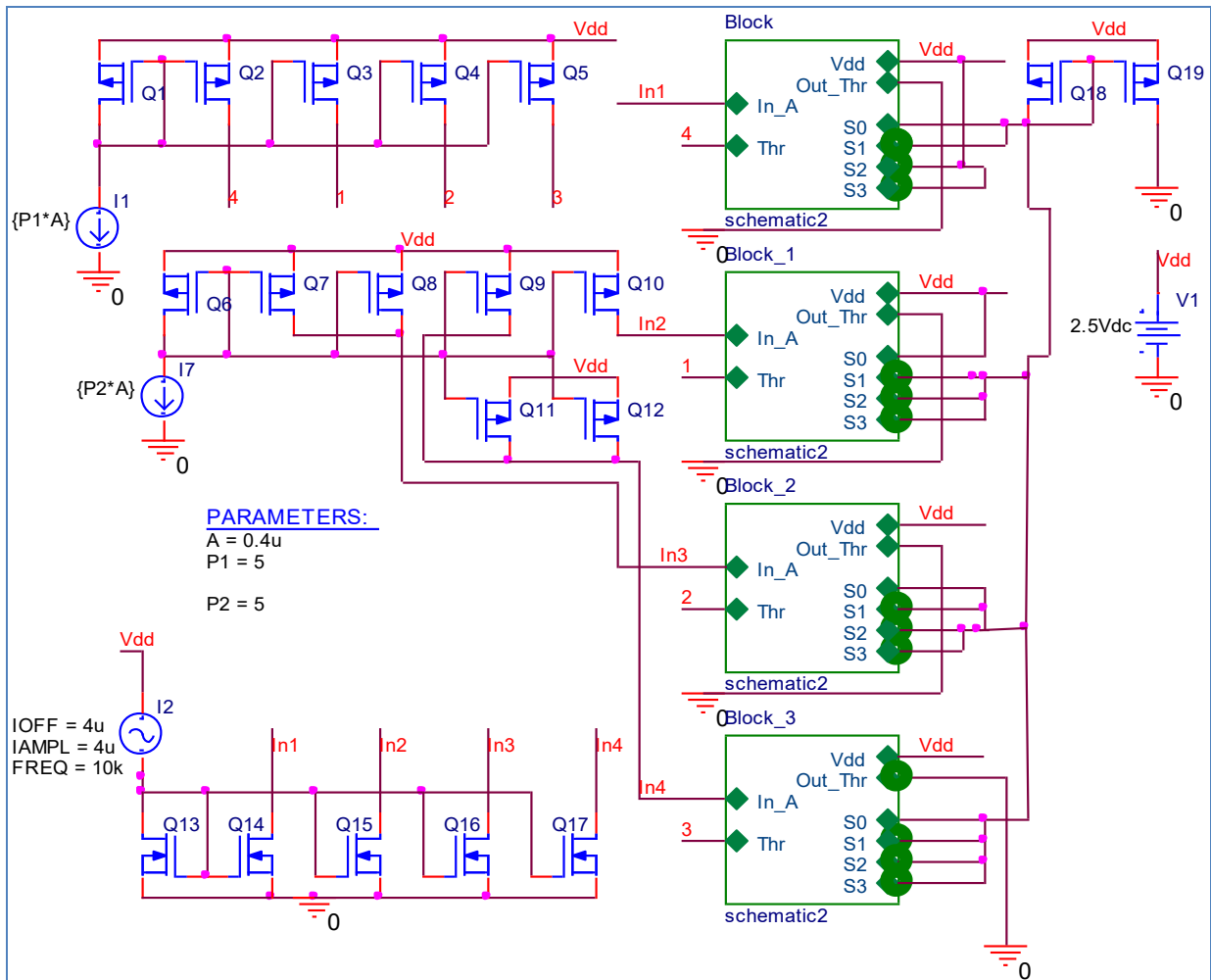


Fig. 4. Circuit for simulation of nonlinear converter cell on the base of four piece-linear approximations and four base sub-nodes

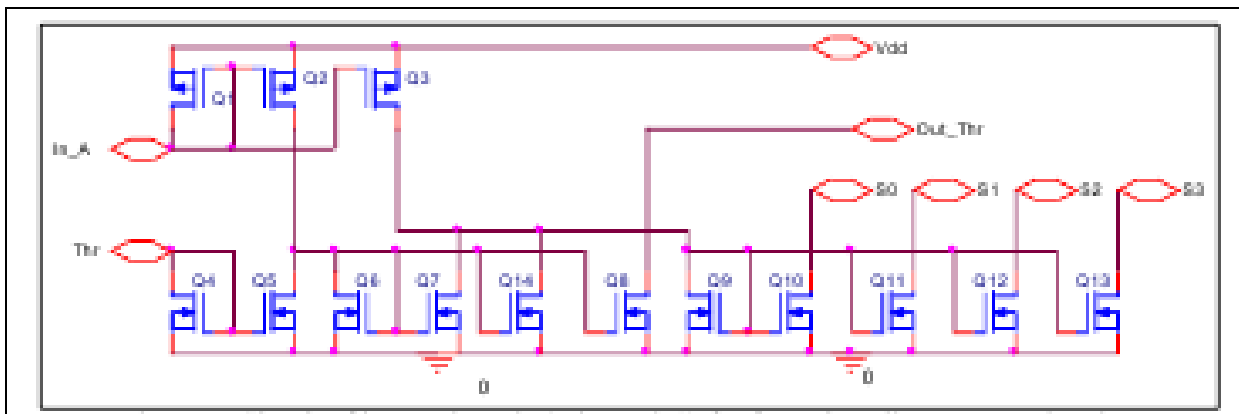


Fig. 5. Circuit of base sub-node (schematic2) for four piece-linear approximation

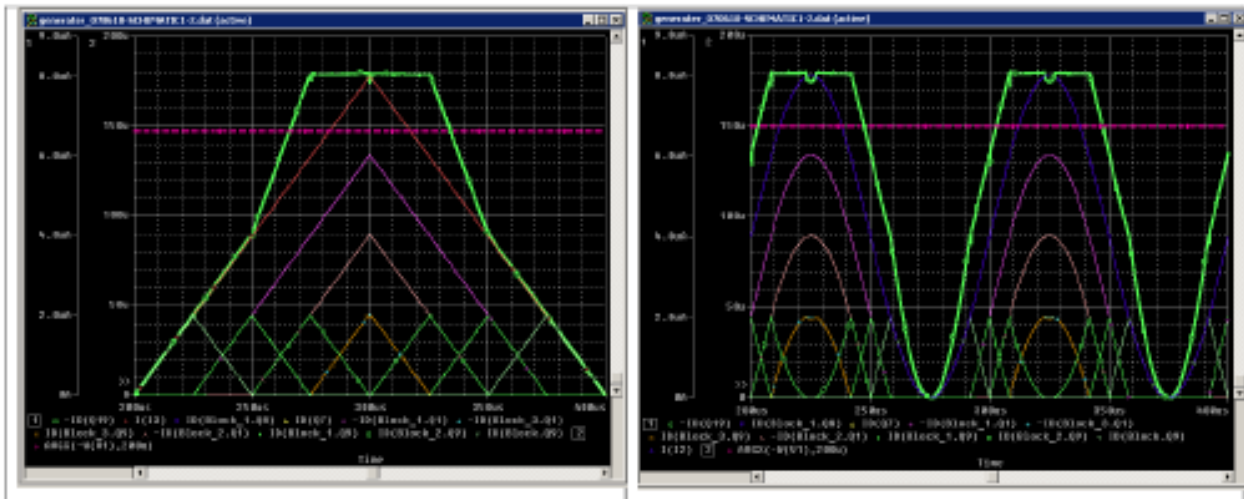


Fig. 6. Simulation result for circuit in Fig. 4 for input linear rising signal (left) and for input sinusoidal signal (right)

The general scheme of the cell realizing the dynamic intensity conversion with eight piecewise linear approximations is shown in Fig. 7. This circuit contains from 170 to 200 transistors, consists of eight basic nodes (A + CCCA). The Node A consists of 8 (7) transistors and generates a triangular signal from the input signal at a given threshold for each sub-band pD_i . The auxiliary circuits for generating upper sub-band levels and subtracting them from the input signals are shown to the left in Fig. 7 and can be implemented in different ways depending on the selected element base and approach.

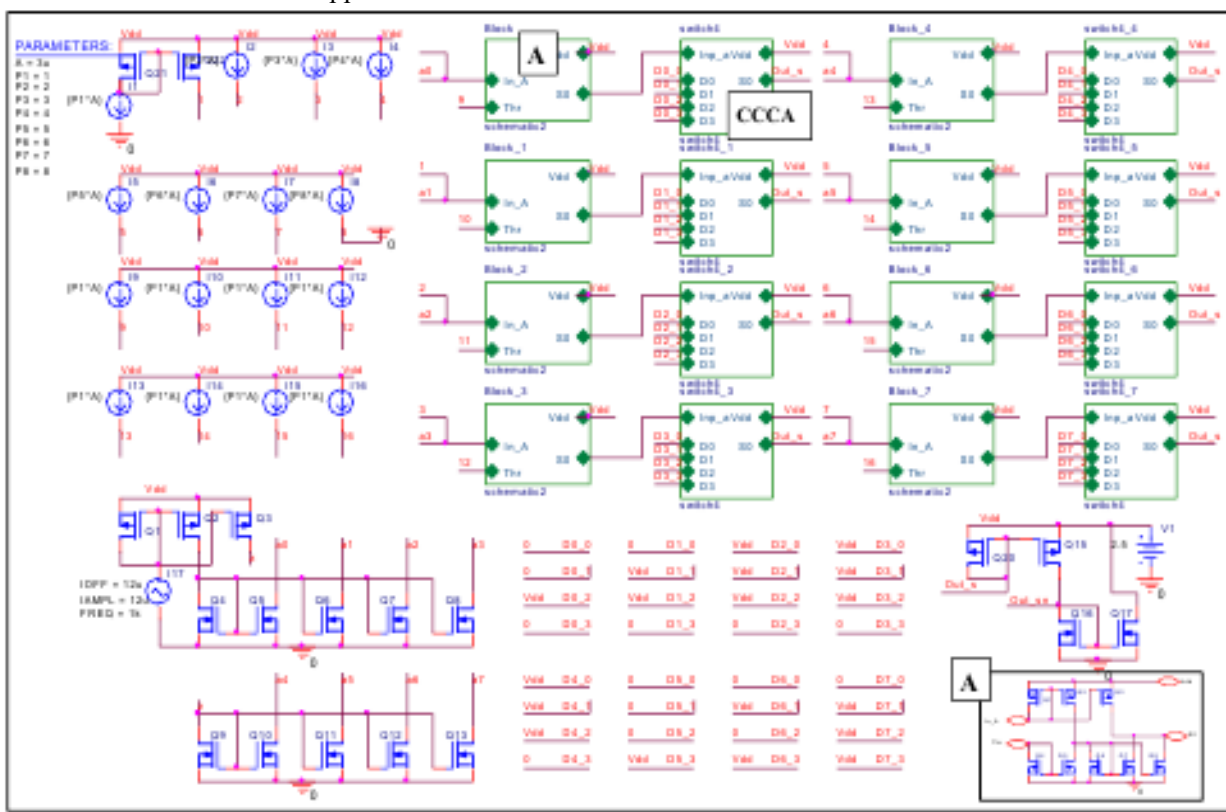


Fig. 7. Circuit for simulation of nonlinear converter cell on the base of eight piece-linear approximation and eight base subnodes

The processes of formation output nonlinearly transformed signal and simulation results of this circuit are shown in Fig. 8,9. For a supply voltage of 2.5V, $I_{max} = D = 8\mu A$, $N = 8$, $p = 1\mu A$ and the period of the input linearly increasing-decreasing triangular signal equal to 1000 μs . Removing only one transistor in the nodes A of the circuit in Fig. 7 allows it to modify and implement on its basis tunable nonlinear transformations in accordance with the formula 1, and not 3, that is, with the help of S_i , but not t_i . The results confirm the possibility of synthesizing cells with required accuracy characteristics of the transformation laws and, in particular, auto-equivalence functions, the microvolt level of power consumed by them, high speed. For the simplest and approximate approximation functions, but often quite sufficient for the selection of the winning function by the activation function, the cell circuits consist of only 17-20 transistors, have a very high speed ($T = 0.25\mu s$), a small power consumption (less than 100 microwatts).

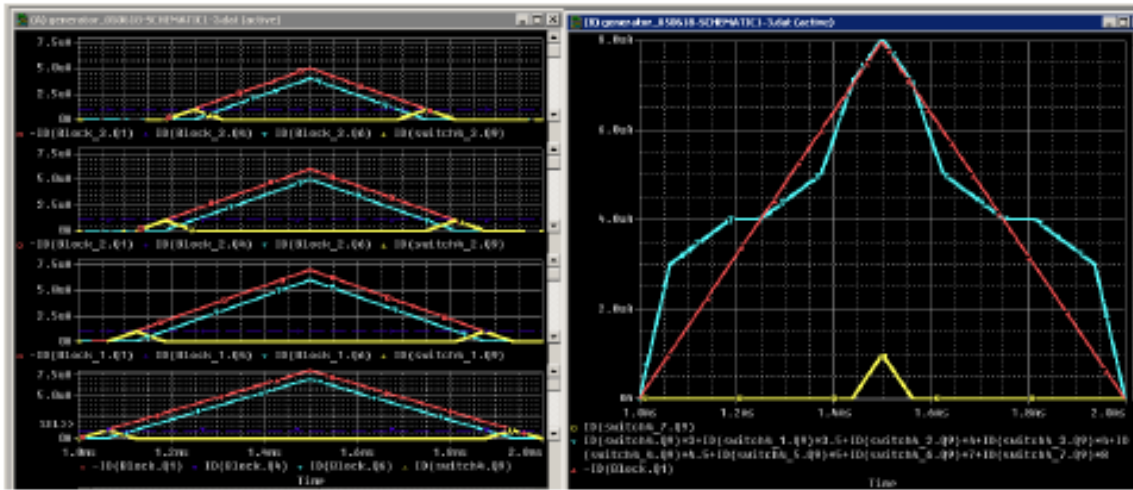


Fig. 8. Simulation result for eight sub-nodes circuit (Fig. 7): up left – formation of triangle signals for linear rising input signal (red line), output signal (yellow line) (the first four signals); up right – formation of triangle signals for linear rising input signal (red line), output signal (yellow line) (the second four signals) and two different characteristics (blue and green lines); down right – input signal (red line), output signal (blue line)

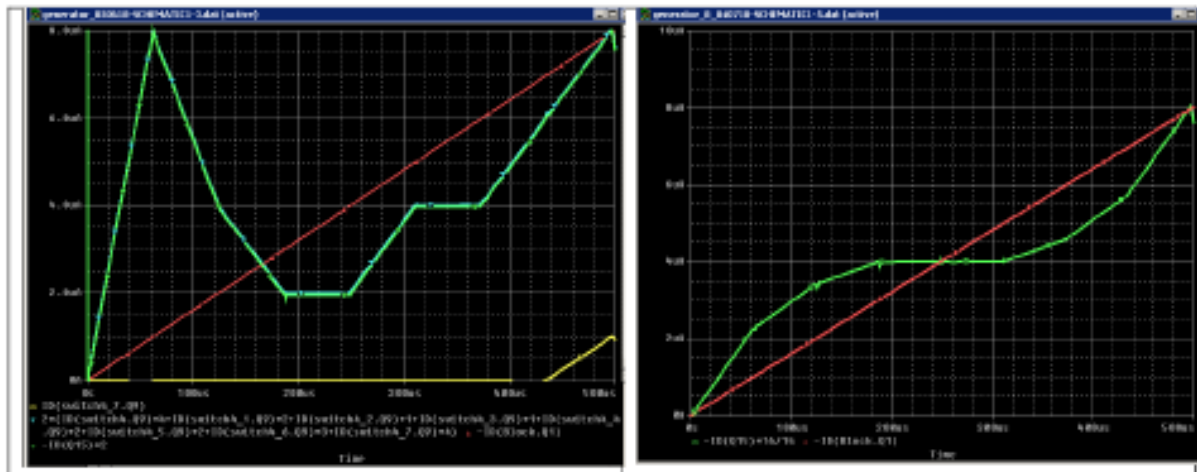


Fig. 9. Simulation result for eight sub-nodes circuit (Fig. 7): up left – for linear rising input signal (red line), output signal (green line) and corresponds to N-shape transfer characteristic; up right – for linear rising input signal (red line), output signal (green line) and corresponds to the auto-equivalence transfer characteristic; down left and right – for sinusoidal input signal (red line), output signal (green line) and corresponds to the auto-equivalence transfer characteristic for input current range 0 ч 8uA and period 500us (down left graph), 0 ч 24uA and 1ms (down right graph)

The analysis of the obtained results confirms the correctness of the chosen concept and the possibility of creating CLCs for image intensity transformation and MIMO structures on their basis, as hardware accelerators for compact high-performance systems of machine vision, CNN and self-learning biologically inspired devices.

Simulation of non-linear transformation in analog 64-input neuron-equivalent or. For simulation of non-linear transformation in analog 64-input and 81-input neuron-equivalent or [11], we used a node whose circuit is shown in Fig. 10, which realizes a piecewise linear approximation of the power-law activation function (auto-equivalence). The results of simulating such 64 input NE with nonlinear conversion of the output signal-response for linearly rising (falling) currents with a period $T = 2.5\mu s$ are shown in Fig. 11, 12.

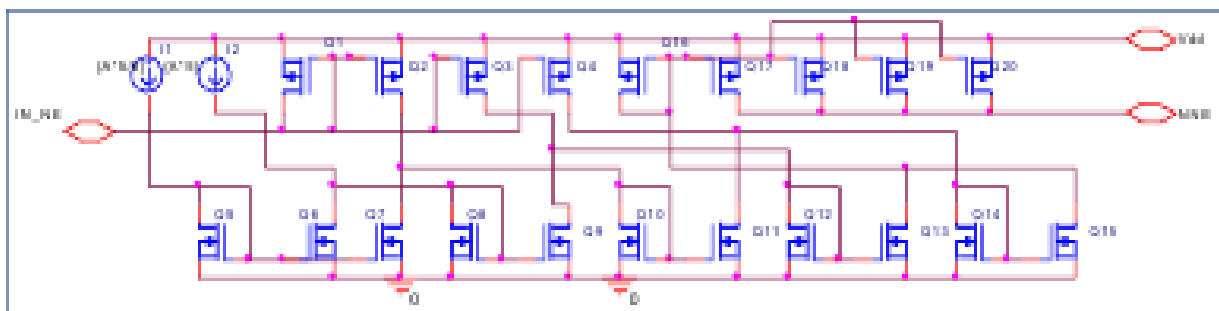


Fig. 10. Activation function circuit on current mirrors

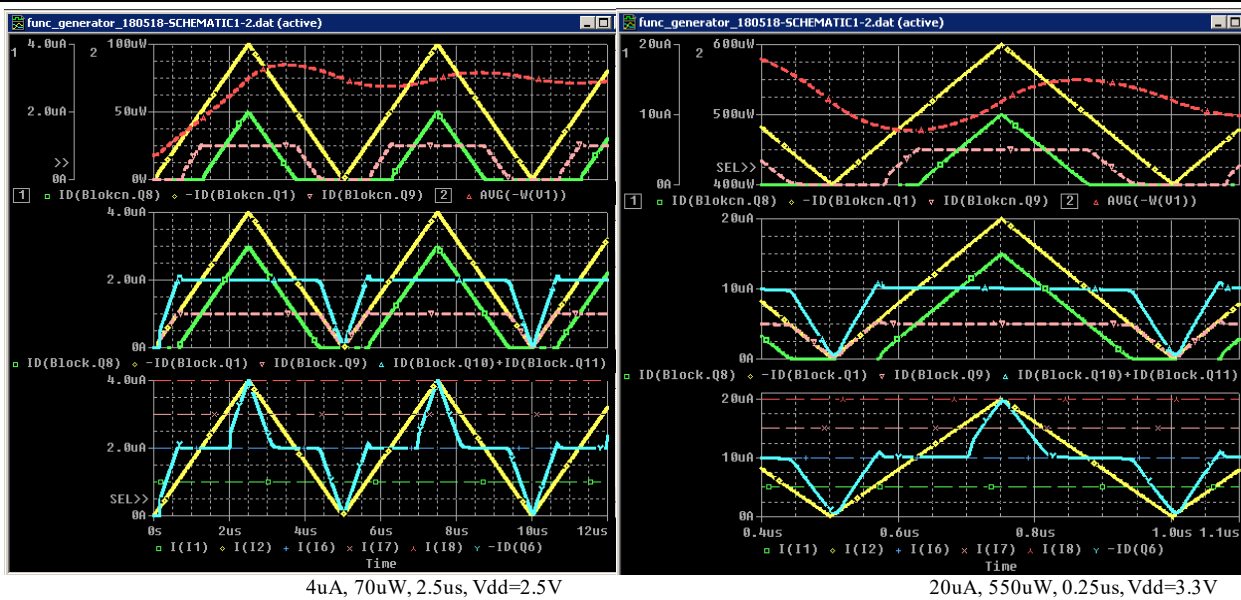


Fig. 11. Simulation result for four levels approximation, the realized non-linear transformation is the normalized auto-equivalence function for self-learning convolutional networks (for different input currents and transformation periods):
input signal – yellow line, output signal – blue line, power consumption – red line

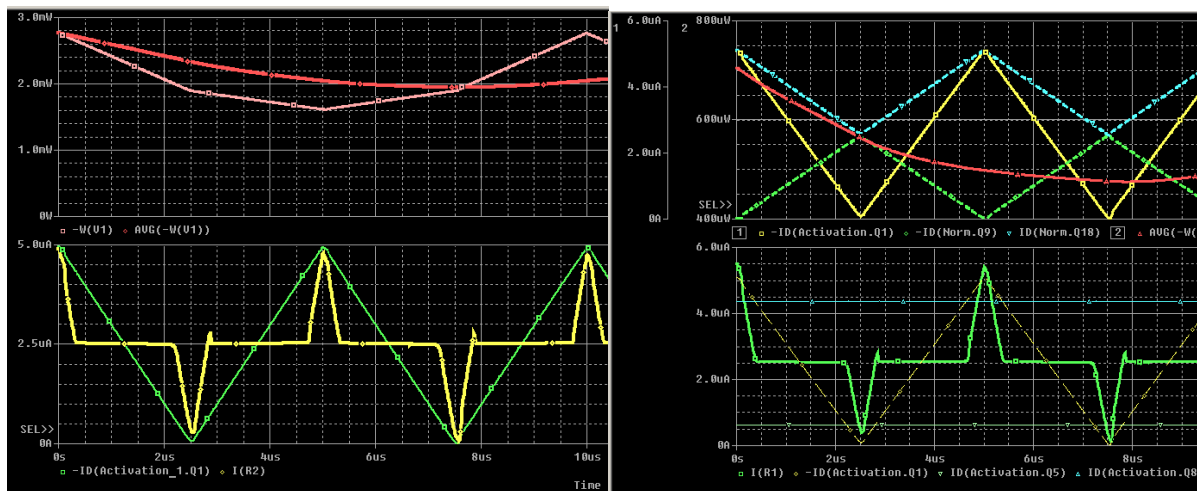


Fig. 12. The results of modeling the 64-input E_q for current $I_{max} = 5\mu A$, and a linearly rising (falling) currents with a period $T=2.5\mu s$. On the left: the modeling the processes of formation of linear (green) and nonlinear normalized neqs (yellow), on the upper graph the peak and average consumption powers are showed . On the right: the modeling the processes of formation of linear (yellow on the upper trace) and nonlinear normalized neqs (green on the bottom trace), red line shows the power of consumption. Blue – maximum of two signals, green – minimum of two signals for $V = 3.3V$

In the same place, the results of modeling the formation processes of linear and nonlinear normalized **neq** are shown. Experiments have shown that such a 64-input neuron-equivalentor comparing two vectors from signals provides, good time characteristics and has a total power consumption 2–3 mW, a low supply voltage, contains less than 1000 CMOS transistors which execute summation, limited subtraction, multiplication of analog currents on current mirrors.

Conclusions

The paper proposes the mathematical foundations of design of continuously logical cells (CLC) based on current mirrors (CM) with functions of preliminary analogue processing for image intensity transformation for construction of mixed image processors (IP) and neural networks (NN). Several effective schemes have been developed and modeled of CLC and optoelectronic complement dual analog neuron-equivalentors as hardware accelerators SLECNS. The proposed CLC have a modular hierarchical construction principle and are easily scaled. Their main characteristics were measured. They have a processing-conversion time of 0.1–1 μs , low supply voltages of 1.8–3.3 V, minor relative computational errors (1–5 %), small consumptions of no more than 1 mW, can operate in low-power modes less than 100 μW and high-speed (1–2 MHz) modes. The relative to the energy efficiency of CLC and **Eqs** is estimated at a value of not less than 10^{12} an.oper. / sec. per W and can be increased by an order. The obtained results confirm the correctness of the chosen concept and the possibility of creating neuron-equivalentors (**NEqs**) and MIMO structures on their basis. They can become the basis for the implementation self-learning biologically inspired devices, SLECNS and CNN with the number of such **NEqs** equal to 1000, to realize the

parallel calculation. The analysis of the obtained results confirms the correctness of the chosen concept and the possibility of creating CLCs for image intensity transformation and MIMO structures [13] on their basis, as hardware accelerators for compact high-performance systems of machine vision, CNN and self-learning biologically inspired devices.

References

1. Krasilenko, V. G., Saletsky, F. M., Yatskovsky, V. I., Konate, K., "Continuous logic equivalence models of Hamming neural network architectures with adaptive-correlated weighting," *Proceedings of SPIE Vol. 3402*, pp. 398-408 (1998).
2. Krasilenko, V. G., Magas, A. T., "Multiport optical associative memory based on matrix-matrix equivalentors," *Proceedings of SPIE Vol. 3055*, pp. 137 - 146 (1997).
3. Krasilenko, V. G., Lazarev, A., Grabovlyak, S., "Design and simulation of a multiport neural network heteroassociative memory for optical pattern recognitions," *Proc. of SPIE Vol. 8398*, 83980N-1 (2012).
4. Krasilenko V. G., Alexander A. Lazarev, Diana V. Nikitovich, "Experimental research of methods for clustering and selecting image fragments using spatial invariant equivalent models," *Proceedings of SPIE Vol. 9286*, 928650 (2014).
5. Krasilenko, V. G., Nikolsky, A. I., and Flavitskaya, J. A., "The Structures of Optical Neural Nets Based on New Matrix_Tensor Equivalently Models (MTEMs) and Results of Modeling," *Optical Memory and Neural Networks (Information Optics) Vol. 19 (1)*, 31–38 (2010).
6. Y. LeCun and Y. Bengio. Convolutional networks for images, speech, and time-series. In M. A. Arbib, editor, *The Handbook of Brain Theory and Neural Networks*. MIT Press, 1995.
7. A. Shafiee et al., "ISAAC: A Convolutional Neural Network Accelerator with In-Situ Analog Arithmetic in Crossbars," *2016 ACM/IEEE 43rd Annual International Symposium on Computer Architecture (ISCA)*, Seoul, 2016, pp. 14-26. doi: 10.1109/ISCA.2016.12
8. Di Zang, Zhenliang Chai, Junqi Zhang, Dongdong Zhang, Jiujun Cheng, "Vehicle license plate recognition using visual attention model and deep learning," *Journal of Electronic Imaging* 24(3), 033001 (4 May 2015). <http://dx.doi.org/10.1117/1.JEI.24.3.033001>
9. Krasilenko V.G., Lazarev A.A., Nikitovich D.V., "Modeling and possible implementation of self-learning equivalence-convolutional neural structures for auto-encoding-decoding and clusterization of images," *Proceedings of SPIE Vol. 10453*, 104532N (2017)
10. Krasilenko V.G., Lazarev A.A., Nikitovich D.V., "Modeling of biologically motivated self-learning equivalent-convolutional recurrent-multilayer neural structures (BLM_SL_EC_RMNS) for image fragments clustering and recognition," *Proc. SPIE 10609, MIPPR 2017: Pattern Recognition and Computer Vision*, 106091D (8 March 2018); doi: 10.1117/12.2285797; <https://doi.org/10.1117/12.2285797>
11. Krasilenko V. G., Lazarev A. A., Nikitovich D. V., "Design and simulation of optoelectronic neuron equivalentors as hardware accelerators of self-learning equivalent convolutional neural structures (SLECNS)," *Proceedings of SPIE Vol. 10689*, 106890C (2018).
12. Schlottmann, C. R., Hasler, P. E., "A Highly Dense, Low Power, Programmable Analog Vector-Matrix Multiplier: The FPAA Implementation," in *IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems*, vol. 1, no. 3, pp. 403-411, Sept. 2011. doi: 10.1109/JETCAS.2011.2165755
13. Krasilenko, V. G., Nikolsky, A. I., Lazarev A.A., "Designing and simulation smart multifunctional continuous logic device as a basic cell of advanced high-performance sensor systems with MIMO-structure," *Proceedings of SPIE Vol. 9450*, 94500N (2015)

Рецензія/Peer review : 16.09.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.10.2021 р.

ПЕТРУШАК В. С., ПІДЧЕНКО С. К., ТАРАНЧУК А. А.

Хмельницький національний університет
ORCID ID: 0000-0002-7232-1044, 0000-0001-9488-1782, 0000-0001-9686-8784
e-mail: petrushak@ukr.net, sergpchn@gmail.com, allatr@ukr.net

ВПЛИВ ШУМІВ НА ПРОЦЕС КВАНТУВАННЯ ПЕРІОДИЧНИХ СИГНАЛІВ МЕТОДОМ ПРЯМОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ

Вказано на джерела шуму та проаналізовано вплив шумів під час перетворення періодичних сигналів в код методом прямого квантування. Представлені аналітичні вирази для оцінки впливу шумів на процес вимірювання. В середовищі Matlab з використанням пакету Simulink розроблено модель для наочного дослідження впливу внутрішніх шумів на процес вимірювання параметрів амплітуди періодичного сигналу. За результатами моделювання отримана залежність сигнал/шум від частоти вхідного сигналу. Наведені графічні матеріали, які наочно демонструють вплив шумів на процес вимірювання амплітуди. Встановлено, що відношення сигнал/шум не перевищує 63 дБ на частотах вхідних синусоїдних сигналів до 210 МГц при значенні амплітуди 1В, що покращує технічні показники перетворювача.

Ключові слова: активний сенсор, амплітуда, білий шум, інтернет речей, періодичний сигнал, прямий метод квантування, телекомунікаційна мережа, цифро-аналогове перетворення.

PETRUSHAK VOLODYMYR S., PIDCHENKO SERGIY K., TARANCHUK ALLA A.
Khmelnytskyi National University

INFLUENCE OF NOISE ON THE PROCESS OF QUANTIFYING PERIODIC SIGNALS BY THE DIRECT CONVERSION METHOD

In the practice of electrical and radio measurements, voltage measurement is a common operation. This determines the potential difference or voltage drop in the section of the electrical circuit (on its element). The purpose of measuring DC voltage is to determine its value and sign of polarity. When measuring AC voltage, any of its parameters can be determined (amplitude, mean, rms, rectified value or signal scope). The efforts of prominent scientists are aimed at improving the metrological and technical indicators of existing measuring instruments, in particular the development of new methods for correcting the characteristics of the transformation of the measuring channel, which is their main component. However, all these methods focus on converting the amplitude of the periodic signal into an equivalent parameter, followed by converting it into digital code. All this leads to additional conversion errors and requires additional hardware costs. Accordingly, the improvement of known methods for creating new converters of high-frequency periodic signals into code is a promising task at this stage of development of measuring technology.

The paper points to noise sources and analyzes the influence of noise during the conversion of the amplitude of periodic signals into code by direct level quantization. It is established that for industrial tomography, the influence of external factors on the probing input signal is practically absent, because the processes of cavitation and chain reaction take place in a closed environment. It was found that the internal noise is related to the technical characteristics and features of each element of the structural diagram of the converter. Analytical expressions for estimating the influence of noise on the measurement process are presented. In the Matlab environment using the Simulink package, a model was developed for visual study of the influence of internal noise on the process of measuring the parameters of the amplitude of the periodic signal. According to the simulation results, the signal / noise dependence on the frequency of the input signal is obtained. Graphic materials are presented, which clearly demonstrate the influence of noise on the amplitude measurement process. It is established that the signal-to-noise ratio does not exceed 63 dB at frequencies of input sinusoidal signals up to 210 MHz at an amplitude value of 1В, which improves the technical performance of the converter.

Keywords: active sensor, amplitude, white noise, Internet of Things, periodic signal, direct quantization method, telecommunication network, digital-to-analog conversion.

Постановка проблеми

Зусилля видатних науковців спрямовані на покращення метрологічних та технічних показників існуючих засобів вимірювання, зокрема на розробку нових методів корекції характеристики перетворення вимірювального каналу, що є їх головною складовою [1]. Відповідно вдосконалення відомих методів для створення нових перетворювачів високочастотних періодичних сигналів в код є перспективною задачею на сьогоднішньому етапі розвитку вимірювальної техніки [2].

Аналіз останніх джерел

Засоби вимірювання різноманітних параметрів та технічних характеристик радіотехнічних засобів завжди займали провідні позиції в науці та техніці. Без точного визначення відповідних значень неможлива побудова сучасних якісних систем радіозв'язку, радіолокації, навігаційних наземних та супутникових систем. Україна має значні досягнення в галузі метрології та радіовимірювань. Так, в практиці електрорадіовимірювань вимірювання напруги є поширеною операцією. При цьому визначається різниця потенціалів чи падіння напруги на ділянці електричного кола (на її елементі). Метою вимірювання постійної напруги є визначення її значення і знака полярності. При вимірюванні змінної напруги може бути визначений будь-який її параметр (амплітудне, середнє, середньоквадратичне, середньовипрямлене значення чи розмах сигналу).

В радіолокації від амплітуди відбитого сигналу залежить ефективна площа об'єкта. Разом з тим необхідним є застосування високочастотних засобів вимірювання амплітуди в системах з активними сенсорами [3], наприклад LiDAR, що використовуються в телекомунікаційних мережах на базі технології

інтернет речей. Сучасні дослідження спрямовані на покращення метрологічних та технічних показників існуючих засобів вимірювання, зокрема на розробку нових методів корекції характеристики перетворення вимірювального каналу, що є їх головною складовою [4].

Разом з тим, всі ці методи зосереджені на перетворенні амплітуди періодичного сигналу у еквівалентний параметр, з подальшим перетворенням його у цифровий код. Все це веде до появи додаткових похибок перетворення і потребує додаткових апаратних витрат.

Метою роботи є дослідження впливу шумів під час вимірювання амплітуди періодичних сигналів запропонованим методом [2].

Математична модель перетворювача періодичних сигналів. Перетворювач амплітуди періодичних сигналів в код прямим методом квантування характеризується наявністю шумів, які можна поділити на внутрішні та зовнішні.

Зовнішні шуми зумовлені джерелом зовнішньої (вхідної) напруги і паразитними параметрами вхідних кіл. Зокрема до паразитних параметрів можуть бути віднесені: опір $R_{3,n}$, індуктивність $L_{3,n}$ та ємність $C_{3,n}$ з'єднувальних провідників і R_3, C_3, L_3 самих з'єднувачів [5]. Відповідно вхідний досліджуваний сигнал можна задати виразом:

$$U(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi_0) \pm U_{ш.з.дж.}(U_{ш.с}, R_{3,n}, C_{3,n}, L_{3,n}, R_3, C_3, L_3), \quad (1)$$

де $U_{ш.з.дж.}(U_{ш.с}, R_{3,n}, C_{3,n}, L_{3,n}, R_3, C_3, L_3)$ – напруга шумів джерела вхідного сигналу.

Розглянемо випадок, коли вплив зовнішніх факторів на вхідний сигнал практично відсутній, при цьому збільшення фізичної величини, яка вимірюється, призводить до зростання амплітуди сигналу на виході електрофізичного перетворювача (рис. 1) [6].

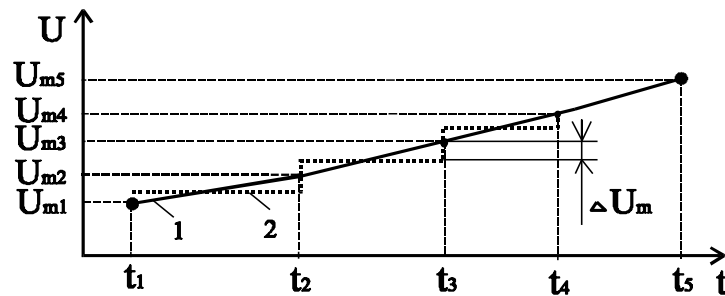


Рис. 1. Емпіра амплітуди відбитого сигналу

Внутрішні шуми пов'язані з технічними характеристиками і особливостями кожного елемента структурної схеми перетворювача [2]. Для даної схеми цими елементами є: компаратор, джерело опорної напруги, джерело живлення і цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП). Решта елементів схеми: лічильник, дешифратор та індикатор впливають лише на часові параметри перетворювача.

Шуми джерела опорної напруги впливають на рівень його вихідної напруги $U_{оп.}$, значення якої визначається за формулою:

$$U_{оп.} = U_0 \pm U_{ш.дж.оп.}, \quad (2)$$

де $U_{ш.дж.оп.}$ – напруга шумів джерела опорної напруги ЦАП.

Разом з тим наявні внутрішні шуми ЦАП, які пов'язані з нелінійністю характеристик внутрішніх елементів ЦАП і які матимуть вплив на вихідну напругу ЦАП так як це показано на рис. 2.

Відповідно напруга на виході ЦАП може бути визначена з виразу:

$$U_{вих.ЦАП} = \frac{(U_0 + U_{ш.дж.оп.})n}{2^N} + U_{ш.ЦАП}, \quad (2)$$

де n – значення двійкового коду на вході ЦАП,
 N – кількість двійкових розрядів ЦАП.

Як правило шумові параметри елементів вказують в специфікаціях до них, так для 12-бітного ЦАП DAC7621 фірми «Burr-Brown Corporation», який має вбудоване джерело опорної напруги 2,435 В, напруга шумів на виході ЦАП не перевищує 0,6 мВ [7].

Напруга шумів на виході компаратора визначається власною напругою шумів цих елементів, а також напругою підсиленних зовнішніх шумів, яку можна визначити за формулою [5]:

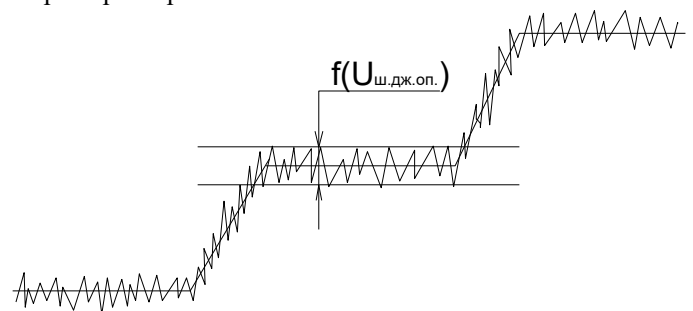


Рис. 2. Вихідна напруга ЦАП

$$U_{ш.к} = K_u \cdot \sqrt{U_{ш.з.дж}^2 + i_{ш.з.дж}^2 R_\Gamma^2 + 4kTR_\Gamma \Delta f} , \tag{3}$$

де $4kTR_\Gamma$ – спектральна густина теплового шуму;

Δf – смуга частот;

k – постійна Больцмана;

R_Γ – опір джерела сигналу;

T – абсолютна температура;

K_u – коефіцієнт підсилення;

$U_{ш.з.дж}$ і $i_{ш.з.дж}$ – відповідно напруга шумів і шумовий струм джерела сигналу.

Імітаційне моделювання вимірювального перетворювача періодичних сигналів. Вплив внутрішніх шумів на процес вимірювання параметрів амплітуди періодичного сигналу наочно досліджувався шляхом моделювання в середовищі Matlab, використовуючи пакет Simulink (рис. 3).

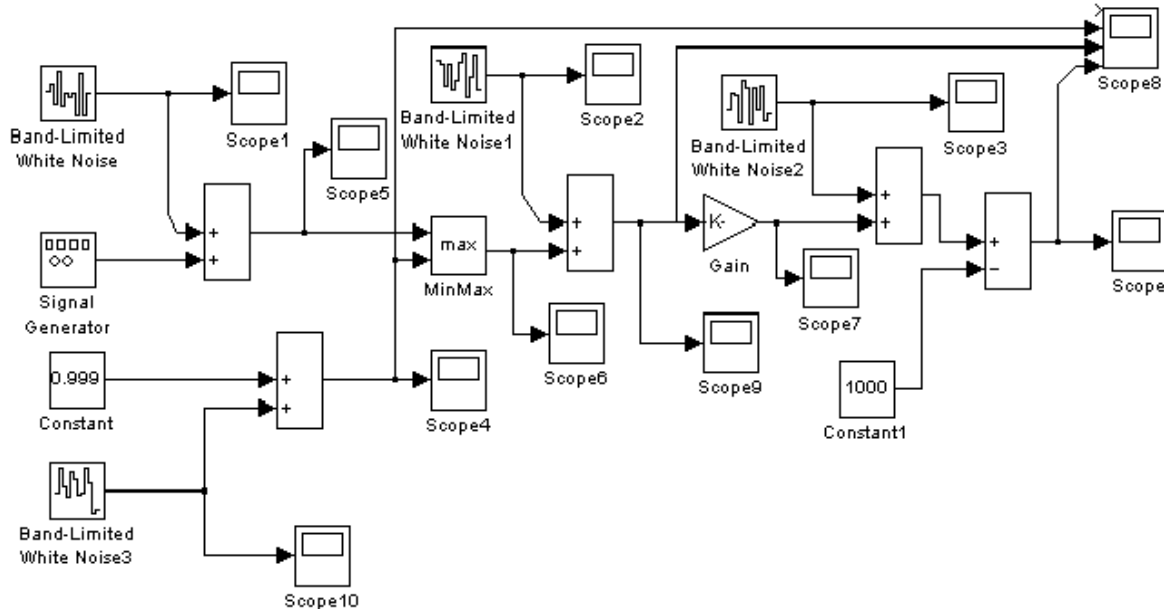


Рис. 3. Схема процесу моделювання в середовищі Matlab

Для процесу моделювання встановили, що амплітуда вхідного сигналу відповідає 1В, при цьому рівень зовнішніх шумів (рис. 3) складає 0,5 мВ. Рівень сигналу з виходу ЦАП змінювали в діапазоні від 0,8 В до 0,999 В. Тоді як рівень шумів на його виході, тобто $U_{ш.дж.оп}$ не перевищує 20 мкВ.



Рис. 4. Вплив внутрішніх шумів на результат вимірювання

Різниця напруга з виходу компаратора містить шум, рівень якого відповідає 5 нВ згідно технічних характеристик. Наочно вплив внутрішніх шумів на результат вимірювання параметрів амплітуди періодичних сигналів представлений на рис. 4. На якому відповідно позначено, що N – кількість сигналів зі змінною складовою, рівень яких відповідає рівню логічної одиниці і становить більше 1,4 В.

Крива 1 (рис. 4) відображає залежність N від рівня вихідного сигналу ЦАП, при значенні коефіцієнта підсилення 100. Крива 2 показує залежність при значенні коефіцієнта підсилення 1000.

За результатами моделювання отримана залежність сигнал/шум від частоти вхідного сигналу, яка представлена на рис. 5. Так відношення сигнал/шум становить близько 40 дБ на частотах від 10 МГц до 210 МГц при значенні амплітуди вхідного сигналу 0,1 В. При підвищенні амплітуди вхідного сигналу до 0,5 В та 1 В, відношення сигнал/шум відповідно становитиме 50 дБ та 60 дБ.

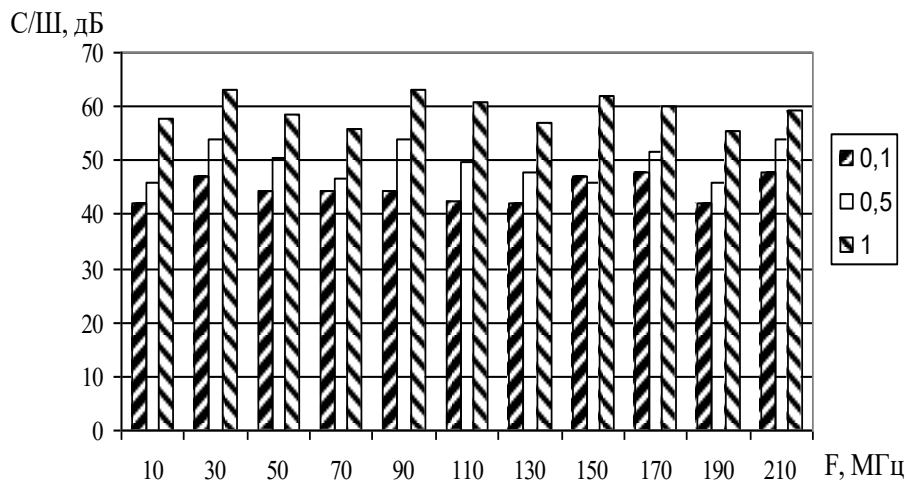


Рис. 5. Залежність сигнал/шум від частоти вхідного сигналу

Під час дослідження в середовищі MATLAB впливу шумів на процес перетворення амплітуди періодичних сигналів в код встановлено, що при збільшенні амплітуди вхідних синусоїдних сигналів до 1 В на частотах до 210 МГц відношення сигнал/шум збільшується на величину від 5 до 10 дБ, що може бути використано для покращення метрологічних показників перетворювача (рис. 5).

Висновки

На основі побудованої імітаційної моделі перетворювача періодичних сигналів в код в середовищі Matlab/Simulink проаналізовано вплив внутрішніх шумів під час перетворення методом прямого квантування. Встановлено, що на частотах до 210 МГц відношення сигнал/шум збільшується на величину від 5 до 10 дБ при збільшенні амплітуд вхідних сигналів від 0,5 до 1 В, що може бути використано для покращення метрологічних характеристик перетворювача.

Література

1. Петрушак, О. М. Особливості вимірювання амплітуди періодичних сигналів / О. М. Петрушак, В. С. Петрушак // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2012. – № 1. – С. 200–203.
2. Petrushak V. S. Measurement of the amplitude of periodic signals using the Fibonacci method / V. S. Petrushak // Прибори и методы измерений. – 2018. – Т. 9. № 2. – С. 168–173.
3. Ли П. Архитектура интернета вещей / Ли П.; перевод с англ. М.А. Райтмана. – М. : ДМК Пресс, 2019. – 454 с.
4. Пат. № 133686 Україна, МПК G01L 9/08, G01L 9/12. Вимірювальний перетворювач на основі механотронного п'єзоакустичного датчика тиску / А. А. Таранчук, С. К. Підченко, А. А. Акулінічев, А. В. Співак, А. І. Живневський ; заявник і патентовласник Хмельниць. нац. університет. – № u201807922 від 16.07.2018; опубл. 25.04.2019, Бюл. № 8/2019. – 6 с. : іл.
5. Гельман М.М. Аналого-цифрові перетворювачі для інформаційно-вимірювальних систем / Гельман М.М. – М. : Видавництво стандартів, 2009. – 317 с.
6. Yanenko A. Experimental study of microwave radiation caused by the materials contacting with human body / A. Yanenko, A. Totsky, S. K. Pidchenko, A. A. Taranchuk // Telecommunications and Radio Engineering. – 2018. – V. 77. i7. – P. 635–644.
7. Специфікація до компонента DAC7621 Texas Instruments Incorporated, 2021. – URL : <https://www.ti.com/lit/ds/sbas107/sbas107.pdf>.

References

1. Petrushak, O. M. Osoblyvosti vymiryuvannya amplitudy periodychnykh syhnaliv / O. M. Petrushak, V. S. Petrushak // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2012. – № 1. – S. 200–203.
2. Petrushak V. S. Measurement of the amplitude of periodic signals using the Fibonacci method / V. S. Petrushak // Pribyri i metody izmerenij. – 2018. – T. 9. № 2. – S. 168–173.
3. Li P. Arhitektura internet meta veshej / Li P.; perevod s angl. M.A. Rajtmana. – M. : DMK Press, 2019. – 454 s.

4. Pat. № 133686 Ukraina, MPK G01L 9/08, G01L 9/12. Vymiriuvalnyi peretvoriuvach na osnovi mekhanotronnoho piezoakustychnoho datchyka tysku / A. A. Taranchuk, S. K. Pidchenko, A. A. Akulynichev, A. V. Spivak, A. I. Zhyznevskiy ; zaiavnyk i patentovlasnyk Khmelnyts. nats. universytet. – № u201807922 vid 16.07.2018 ; opubl. 25.04.2019, Biul. № 8/2019. – 6 s. : il.
5. Helman M.M. Analoho-tsyfrovii peretvoriuvachi dlia informatsiino-vymiriuvalnykh system / Helman M.M. – M. : Vydavnytstvo standartiv, 2009. – 317 s.
6. Yanenko A. Experimental study of microwave radiation caused by the materials contacting with human body / A. Yanenko, A. Totsky, S. K. Pidchenko, A. A. Taranchuk // Telecommunications and Radio Engineering. – 2018. – V. 77. i7. – P. 635–644.
7. Spetsyfikatsiia do komponenta DAC7621 Texas Instruments Incorporated, 2021. – URL : <https://www.ti.com/lit/ds/sbas107/sbas107.pdf>.

Рецензія/Peer review : 02.10.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.10.2021 р.

ПЯТИН І. С.

Хмельницький політехнічний фаховий коледж національного університету «Львівська політехніка»
ORCID ID: 0000-0003-1898-6755, e-mail: ilkhmel@ukr.net

МАКАРИШКІН Д. А.

Хмельницький національний університет
ORCID ID: 0000-0003-3447-811X, e-mail: makaryshkin@ukr.net

МІШАН В. В.

Хмельницький національний університет
ORCID ID: 0000-0002-8505-2648, e-mail: v_mishan@ukr.net

ШПИРУК М. С.

Хмельницький національний університет
ORCID ID: 0000-0002-2983-3781, e-mail: shpiruk1809@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕДУРИ ПОЧАТКОВОГО ДОСТУПУ ДО МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ П'ЯТОГО ПОКОЛІННЯ

Вимоги до синхронізації системи зв'язку 5G враховують роботу з високою швидкістю передачі даних, меншою затримкою та підвищеним ущільненням. Пошук комірки – це процедура, за допомогою якої обладнання користувача (UE) отримує синхронізацію часу та частоти з базовою станцією та декодує ідентифікатор комірки мобільного пристрою. У роботі проведено дослідження процедури пошуку комірки, моделі відновлення синхронізації символів і фреймів у системі QPSK, порушену через змінну помилку синхронізації. Проведено дослідження формування радіомовного каналу на фізичному рівні.

Ключові слова: пошук комірки, первинний сигнал синхронізації, вторинний сигнал синхронізації, радіомовний канал, канал довільного доступу.

PYATIN I. S.

Khmelnitskyi Politechnic Professional College of Lviv Politechnic National University

MAKARYSHKIN D. A., MISHAN V. V., SHPIRUK M. S.

Khmelnitskyi National University

RESEARCH OF THE PROCEDURE OF INITIAL ACCESS TO THE FIFTH GENERATION COMMUNICATION NETWORK

Traditional mobile networks have bandwidth and infrastructure limitations. Each base station has a limited number of users and data capacity. 5G technology uses advanced technologies, such as massive MIMO and beamforming, to increase data rates and spectrum efficiency. These features, and the large number of small cells, allow many 5G users to receive low latency and high traffic without overloading the base station. Small cells work the same way as regular cells, but use new technology and millimetre waves (5G New Radio). Low-power base stations can be easily deployed. Cell search is a procedure by which the user equipment (UE) obtains time and frequency synchronization with the base station and decodes the cell ID of the mobile device. System information is broadcast information that is periodically transmitted by the base station on the downlink. This is very important information for the mobile device (UE) needed to connect to the base station (gNB). The UE reads system information to determine the location of mobile devices when turned on, to select and re-select a cell. System information provides the following information: system frame number, system bandwidth, PLMN, mobile subscriber selection and redial thresholds, etc., required to access the network. Physical Cell ID (PCI) is used to distinguish mobile devices in the network radio communication. PLMN (Public Land Mobile Network) – mobile network service area. Is a set of all mobile devices of one cellular network operator. The UE scans the bandwidth in the sync raster. The synchronization raster indicates the frequency positions of the synchronization unit that can be used by the UE to detect the system when there is no explicit indication of the position of the synchronization unit. In the next step, the UE decodes the primary and secondary synchronization signals to obtain the Physical Cell ID (PCI) and the DMRS PBCH. The base station transmits SSB packets that contain one SSB per beam. The beam direction changes for each SSB transmission. The following steps are performed to complete the synchronization procedure. The UE selects the preferred beam and decodes the PBCH MIB information, such as SFN, SSB index, raster offset, default DL numerology, RMSI configuration, DM-RS location, and cell prohibition information. If the cell is not locked, the UE attempts to decode the physical downlink control channels (PDCCH) to obtain the frequency location of the PDSCH resources. A study of the model of restoring the synchronization of symbols and frames in the QPSK system, caused by a variable synchronization error. A study of the formation of the radio channel at the physical level.

Keywords: Cell search, Primary synchronization signal, Secondary synchronization signal, Broadcast channel, Random access channel.

Постановка проблеми

Традиційна мережева інфраструктура має багато обмежень. Технологія 5G вирішує проблеми збільшення швидкості передачі даних, надійності і зменшення затримок. Для забезпечення широкої смуги сигналу і розширення зони покриття для більшої кількості користувачів, технологія 5G використовує концепцію малих комірок (small cells).

Малі комірки – це базові станції з малим енергоспоживанням, які охоплюють невелику зону або застосовуються всередині приміщень. Малі комірки мають всі основні характеристики звичайних базових станцій і здатні обробляти високі швидкості передачі даних для окремих користувачів. У мережах LTE Advanced і 5G малі комірки будуть відігравати важливу роль для мобільного широкосмугового доступу і додатків, де потрібна мала затримка. Малі комірки поділяються на три основні категорії в залежності від зони покриття і кількості користувачів. Фемто-комірки – це невеликі мобільні базові станції, призначені для покриття всередині приміщень. Проблема низького рівня сигналу від базових макро-станцій для широких

зон, які розташовуються поза будівлями), може бути вирішена за допомогою фемто-комірок всередині будівель. Фемто-комірки, підключені через провідний Інтернет, можуть використовуватися для розвантаження мережі, в разі перевантаження мобільного широкосмугового доступу, створюючи обхідний канал через Інтернет, а також для розширення зони покриття і збільшення трафіку даних для користувачів всередині приміщень. Піко-комірки також відносяться до категорії малих комірок, вони застосовуються, головним чином, для невеликих підприємств для розширення покриття мережі у важкодоступних місцях і для збільшення пропускної здатності мережі доступу. Мікро-комірки призначені для підтримки більшого числа користувачів, в порівнянні з фемто-комірками і піко-комірками. Завдяки більшій потужності передачі, вони здатні покривати великі зони і підходять для застосування, наприклад, в «розумних містах», «розумному метро» тощо.

Традиційні мобільні мережі мають обмеження смуги пропускання і інфраструктури. Кожна комірка має обмежену кількість користувачів і смінь передачі даних. В технології 5G використовуються передові технології, такі як масивний MIMO і формування променя (Beamforming), для збільшення швидкості передачі даних і ефективності використання спектра. Ці функції і велика кількість малих комірок дозволяють багатьом користувачам 5G отримувати великий трафік без перевантаження комірки і низьку затримку. Малі комірки працюють так само, як і звичайні комірки, але використовують нові технології, такі як множинність антен передачі і приймання (MIMO), формування променя (Beamforming), і міліметрові хвилі (5G New Radio). Базові станції малої потужності можуть легко розгортатися. Крім того, пристрої з малими комірками спроектовані так, щоб знизити складність, і, отже, їх установка і запуск здійснюється швидше і простіше.

Аналіз останніх досліджень

В роботах [1–6] наведена інформація про отримання початкового доступу до мережі зв'язку п'ятого покоління. Описуються сигнали, що передаються між обладнанням користувача та базовою станцією, включаючи керування променем. Описуються всі повідомлення, якими обмінюються мобільний пристрій та базова станція. Для мобільного зв'язку п'ятого покоління необхідне забезпечення можливості швидкої синхронізації фреймів для зменшення часу під'єднання мобільного абонента до мережі базових станцій [7–14]. Але в зазначених роботах не проаналізовані питання встановлення початкового доступу залежно від відношення «сигнал–шум» в каналі передачі між базовою станцією і мобільним абонентом.

Метою роботи є дослідження процедури пошуку комірки для мобільного зв'язку п'ятого покоління в умовах наявності частотних і часових зміщень сигналів у каналі передачі, дослідження шляхів синхронізації символів і фреймів, вивчення питань формування сигналу фізичного радіомовного каналу.

Процедура пошуку комірки у мобільному зв'язку п'ятого покоління. Пошук комірки – це процедура, за допомогою якої обладнання користувача (ОК) отримує синхронізацію часу та частоти з базовою станцією та декодує ідентифікатор комірки мобільного пристрою. У 5G NR для пошуку комірки відбувається декодування первинного сигналу синхронізації (PSS) і вторинного сигналу синхронізації (SSS) і визначення фізичного ідентифікатора комірки (PCI).

Є два методи, за допомогою яких обладнання користувача може отримати доступ до комірки 5G NR:

- розгортання в неавтономному режимі (NSA): подвійне підключення (EN-DC);
- розгортання в автономному (SA) режимі: тільки для мережі зв'язку п'ятого покоління NR.

У EN-DC інформація про пошук комірки, така як абсолютний номер радіочастотного каналу (NR-ARFCN – Absolute Radio-Frequency Channel Number), ідентифікатор комірки, параметри RACH (Random Access Channel – канал довільного доступу) тощо надається мережею в повідомленні реконфігурації RRC (Radio Resource Control – контроль радіоресурсів) через базову станцію (eNB).

В автономному режимі процедура пошуку комірки NR включає такі кроки (рис. 1):

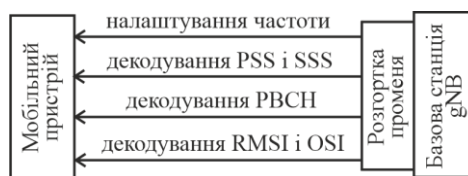


Рис. 1. Процедура пошуку комірки мобільного зв'язку п'ятого покоління (5G)

- обладнання користувача (ОК) налаштовується на певну частоту;
 - ОК намагається виявити сигнали PSS, SSS, щоб отримати синхронізацію частоти та часу;
 - як тільки обладнання користувача успішно виявляє PSS/SSS, воно отримує інформацію про синхронізацію та фізичний ідентифікатор комірки (PCI), отже, ОК готове до декодування PBCH;
 - як тільки ОК успішно декодує PBCH, воно намагається виконати PDCCH та PDSCH для RMSI та OSI.
- Алгоритм процедури пошуку комірки наведений на рис. 2.

Системна інформація – це ширококомовна інформація, що періодично передається базовою станцією по низхідній лінії зв'язку. Це дуже важлива інформація для мобільного пристрою (ОК), необхідна для підключення до базової станції (gNB). ОК зчитує системну інформацію для визначення місця розташування мобільних пристроїв при включенні, для вибору і повторного вибору комірки. Системна інформація надає

таку інформацію: номер системного фрейму, пропускна спроможність системи, PLMN, вибір мобільного абонента та пороги повторного вибору тощо, потрібну для доступу до мережі.

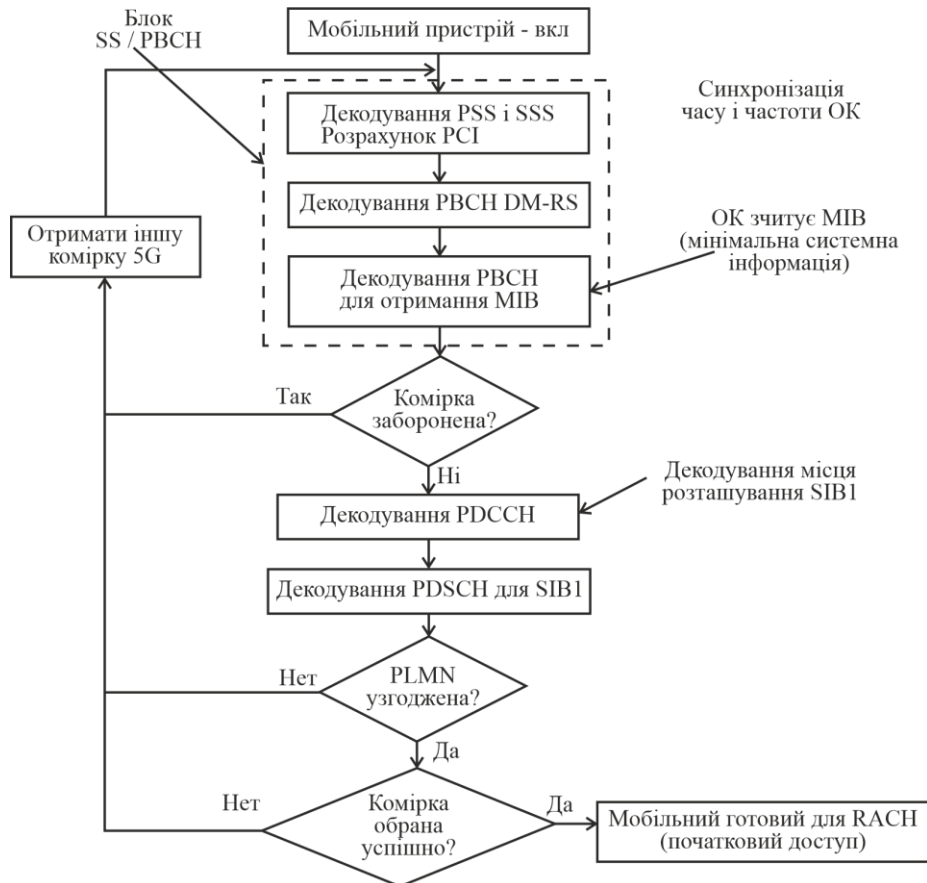


Рис. 2. Алгоритм процедури пошуку комірки

Системну інформацію 5G New Radio можна розділити на три категорії.

- мінімальна системна інформація (MSI);
- мінімальна системна інформація, що залишилася (RMSI);
- інша системна інформація (OSI).

Ці категорії включають головний інформаційний блок (MIB) та 9 системних інформаційних блоків (SIB). Інформація MIB передається каналами BCH і PBCH, SIB передається каналами DL-SCH і PDSCH.

Кожна комірка 5G NR має ідентифікатор фізичної комірки (PCI – Physical Cell ID) і використовується для розрізнення мобільних пристроїв у мережі радіозв'язку. Погане або неправильне планування PCI може вплинути на процедуру синхронізації, демодуляції та передачі сигналів і погіршити роботу мережі. Планування PCI має бути простішим для NR порівняно з LTE, оскільки для розподілу доступно вдвічі більше PCI. У 5G New Radio є 1008 унікальних PCI в порівнянні з LTE 504 PCI, і це визначається наступним виразом:

$$N_{ID}^{cell} = 3N_{ID}^{(1)} + N_{ID}^{(2)},$$

де $N_{ID}^{(1)}$ – вторинний сигнал синхронізації (SSS) та його діапазон від $\{0, 1 \dots 335\}$;

$N_{ID}^{(2)}$ – первинний сигнал синхронізації (PSS) та його діапазон від $\{0, 1, 2\}$.

Використання високих несучих частот призводять до збільшення частотних і часових змещень несучої. Виникнення часових і частотних змещень призводять до завад між несучими (ICI) і міжсимвольним завадам (ISI). Часовий зсув відбувається через затримку передачі, коли переданий сигнал досягає приймача з затримкою в часі. В цьому випадку приймач не знає, коли передавач відправив новий пакет. Зазвичай розглядається нормалізоване часове змещення, що дорівнює кількості відліків між переданим і прийнятим сигналами. Проведено дослідження залежності кореляції для трьох значень послідовностей первинного сигналу синхронізації (PSS) $N_{ID}^{(2)}$ від змещення частоти на вході приймача (рис. 3).

PLMN (Public land Mobile Network) – зона обслуговування мобільної мережі. Являє собою сукупність всіх мобільних пристроїв одного оператора стільникової мережі зв'язку. Таким чином, одночасно в одній країні може бути кілька PLMN відповідно до кількості операторів мережі зв'язку. Причому, якщо той самий оператор здійснює свою діяльність у кількох країнах, це будуть різні PLMN.

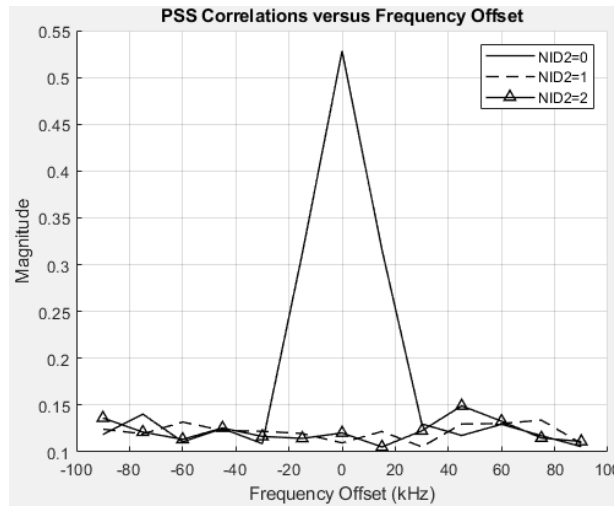


Рис. 3. Залежність кореляції для трьох значень послідовностей первинного сигналу синхронізації (PSS)

$$N_{ID}^{(2)} \text{ від зміщення частоти на вході приймача}$$

UE сканує смугу частот у синхронізуючому растрі на основі того, в якій смугі частот UE виконує пошук комірки для налаштування конкретної частоти. Для діапазону FR1 виділені частоти від 450 МГц до 6 ГГц. Для діапазону FR2 виділені частоти від 24,25 ГГц до 52,6 ГГц. Растр синхронізації вказує частотні позиції блоку синхронізації, які можуть бути використані UE для виявлення системи, коли явна вказівка позиції блоку синхронізації відсутня.

На наступному етапі UE декодує первинні та вторинні сигнали синхронізації, щоб отримати Physical Cell ID (PCI) та PBCH DMRS, розташовані в растрі синхронізації. PSS, SSS та NR-PBCH передаються у блоці сигналу синхронізації (SSB). SSB складається з чотирьох символів: 1-символьного PSS, 1-символьного SSS та 2-символьного PBCH. Синхронізація в області часу у термінах рівня символу та рівня слота, а також частотна синхронізація реалізована через PSS/SSS. Склад блоку сигналів синхронізації (SSB) приведений на рис. 4.

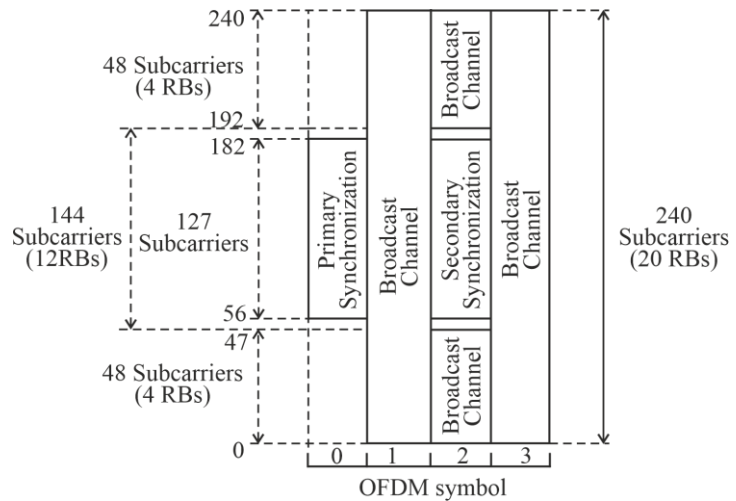


Рис. 4. Структура блоку сигналів синхронізації (SSB)

SSB передаються шляхом формування пакета SSB (один SSB на промінь), який використовується під час розгортки променя. Механізм розгортки променя використовується для визначення найкращого променя.

Група пакетів SS називається набором пакетів SS, як наведено на рис. 5. Пакет сигналів синхронізації (SSB), і набір пакетів сигналів синхронізації можуть містити один або кілька елементів, у той час як максимальна кількість SSB в пакеті SS залежить від частоти і може бути 4 (нижче 3 ГГц), 8 (від 3 до 6 ГГц) або 64 (6 до 52,6 ГГц). Періодичність SSB конфігурується мережею, періодичність набору SSB пакетів становить 20 мс для всього діапазону частот, тобто включає 2 кадри. Схематична структура набору блоків сигналів синхронізації і їх періодичне повторення приведено на рис. 5.

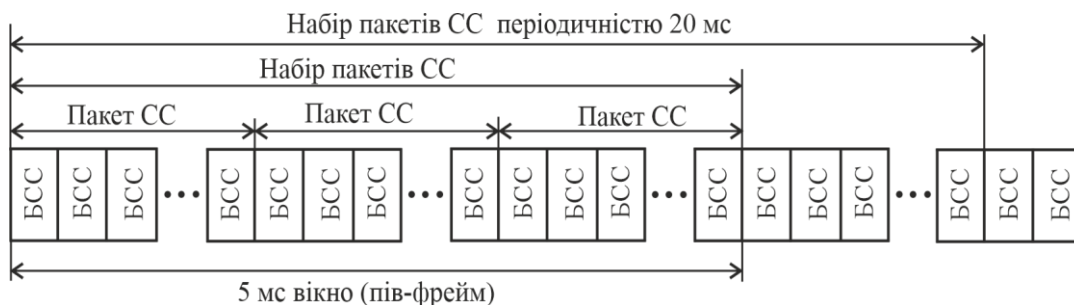


Рис. 5. Структура набору блоків сигналів синхронізації і їх періодичне повторення

Базова станція (gNB) визначає кілька можливих позицій для SSB в радіокадрі, і це число відповідає кількості променів, що випромінюються в певному напрямку. Кожен SSB може бути ідентифікований унікальним номером, що називається індексом SSB, і ідентифікація того, який SSB виявлений, залежить від місця розташування UE. UE вимірює рівень сигналу опорного сигналу демодуляції (PBCH DMRS) кожного SSB, який він виявив протягом певного періоду (періоду одного набору SSB). За результатом вимірювання UE може ідентифікувати індекс SSB із найсильнішим сигналом, який є найкращим променем для UE.

Для завершення процедури синхронізації виконуються наступні кроки:

- UE вибирає кращий промінь і декодує інформацію PBCH MIB, таку як SFN, індекс SSB, зміщення растру, нумерологія DL за замовчуванням, конфігурація RMSI, розташування DM-RS та інформація про заборону комірок тощо;
- якщо комірка не заблокована, UE намагається декодувати наступні фізичні канали управління низхідної лінії зв'язку (PDCCH), щоб отримати частотне розташування ресурсів PDSCH для підготовки інформації SIB #1;
- конфігурація PDCCH для RMSI надається PBCH. Конфігурація Control Resource Set (CORESET) для RMSI пов'язана з блоком SS у наборі пакетів SSB;
- UE зчитує мінімальну системну інформацію, що залишилася, з SIB # 1 і декодує ідентифікатор PLMN, параметри вибору комірки, параметри RACH;
- якщо PLMN ID мережі збігається зі списком PLMN ID, доступним з UE, тоді UE запускає процедуру вибору комірки, інакше UE отримує іншу комірку 5G і перезапускає процес знову;
- інший параметр UE намагається перевірити q_{Rxmin} , якщо сигнал, виявлений UE, задовольняє рівню q_{Rxmin} , процедура вибору комірки успішна і UE може спробувати виконати синхронізацію висхідної лінії зв'язку з процедурою RACH;
- якщо вибір комірки не успішний, UE намагається захопити іншу комірку і перезапускає процес.

Синхронізація символів і фреймів. Виконаємо дослідження моделі відновлення синхронізації символів і фреймів у системі QPSK, порушену через змінну помилку синхронізації. Simulink модель дослідження синхронізації символів і фреймів мобільних засобів телекомунікацій приведена на рис. 6.

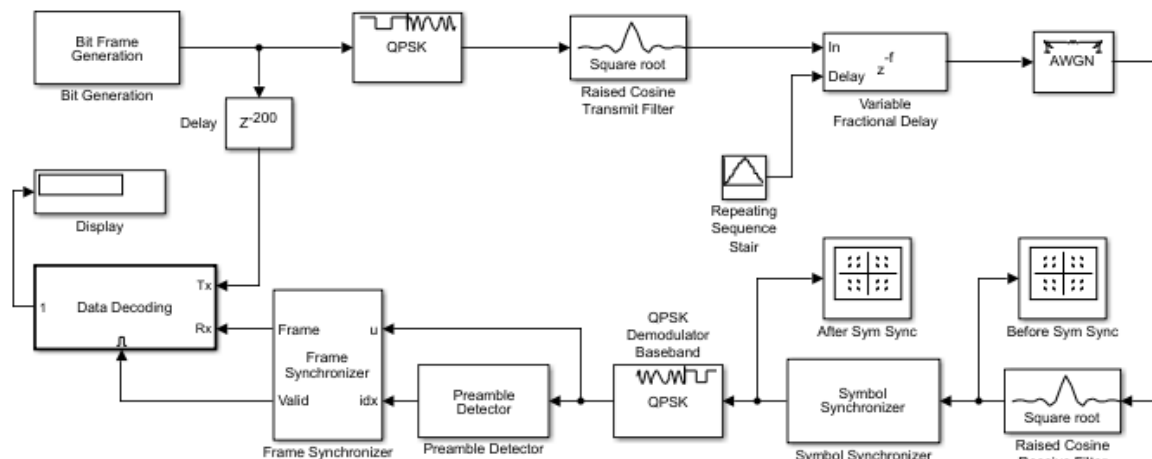


Рис. 6. Simulink модель дослідження синхронізації символів і фреймів мобільних засобів телекомунікацій

Блок Variable Fractional Delay вводить змінну помилку синхронізації в сигнал QPSK, оброблену за допомогою фільтра з характеристикою кореня з піднесеного косинуса (RRC). Блок Symbol Synchronizer коригує неузгодженість тактових імпульсів між передавачем і приймачем, вирівнюючи вихідний сигнал з дійсним опорним сигналом. Синхронізатор символів повертає вектор, що містить 99, 100 або 101 символ для вхідного вектора з 200 відліків.

Щоб вирівняти потік бітів по правильним границям фрейму і визначити допустимі індикатори фрейму в демодульованому потоці бітів, блок Frame Synchronizer використовує початок індексу пакета, виявленого блоком Preamble Detector. Підсистема декодування даних BER обчислює частоту помилок по бітам (BER). Підсистема декодування даних BER регенерує біти вхідних даних замість використання виведення блоку генерації бітів, щоб уникнути обчислення BER для неприпустимих кадрів.

При співвідношенні сигнал/шум 20 дБ і змінній помилці синхронізації в діапазоні $[0, 0,9]$ відліків відновлення сигналу відбувається успішно на тракті приймача, який включає синхронізацію символів. Помилка синхронізації змінюється з часом, змушуючи сукупність коливатися між пошкодженим і чистим станами. На рис. 7 показана констеляційна діаграма QPSK сигналу до синхронізації. На рис. 8 показана констеляційна діаграма QPSK сигналу після синхронізації. BER з синхронізацією символів і без неї показує поліпшення продуктивності за рахунок блоку Symbol Synchronizer.

З отриманих залежностей можна зробити висновок, що при встановленій синхронізації, модуляція BPSK на 3 дБ ефективніше модуляції QPSK.

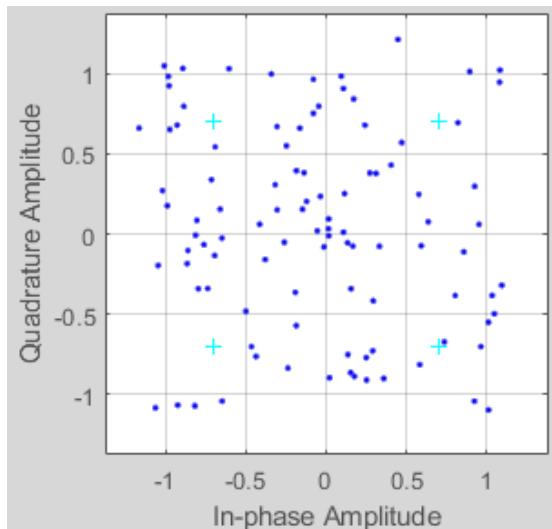


Рис. 7. Констеляційна діаграма QPSK сигналу до синхронізації

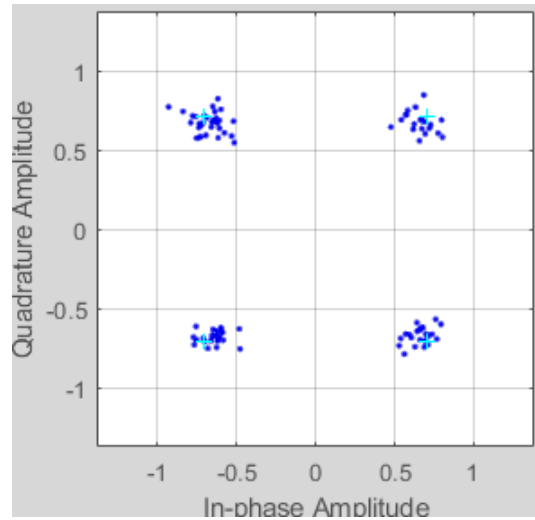


Рис. 8. Констеляційна діаграма QPSK сигналу після синхронізації

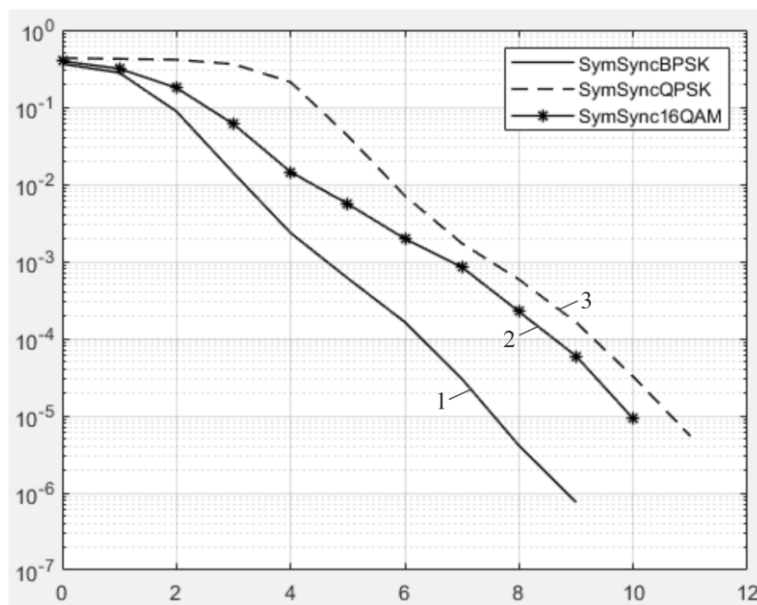


Рис. 9. Залежність кількості бітових помилок від відношення сигнал-шум моделі синхронізації символів і фреймів з різними видами модуляції (1 – BPSK; 2 – 16QAM; 3 – QPSK)

Формування сигналу радіомовного каналу. Повідомлення радіомовного каналу складається з 32 біт і включає MIB (Master Information Block). Біти повідомлення вказують:

- відстань між піднесучими SCS контрольного каналу та повідомлення SIB1, яке в загальному випадку відрізняється від SCS_{SSB};
- положення частотно-часового блоку CORESET0, в якому розташоване повідомлення контрольного каналу з інформацією про розташування та параметри SIB1;
- параметр k_{SSB} , що визначає частотний зсув між початковою піднесучою блока сигналів синхронізації і найближчим елементом сітки ресурс блоків;
- номер фрейму;
- номер напівфрейму;
- доступність комірки для абонентських станцій;
- номер блока сигналів синхронізації в пакеті, тощо.

Для формування радіомовного каналу на фізичному рівні відбуваються перетворення за рис. 10.

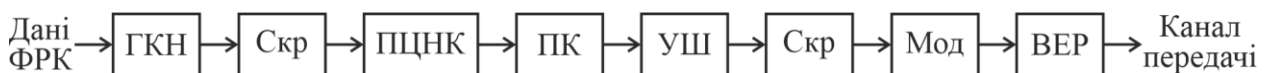


Рис. 10. Структурна схема перетворень сигналів фізичного радіомовного каналу (ФРК – фізичний радіомовний канал; ГКН – генерація корисного навантаження; Скр – скремблвання; ПЦНК – приднання циклічного надлишкового коду;

ПК – полярне кодування; УШ – узгодження швидкості; Мод – модуляція; ВЕР – відображення елементів ресурсів)

Після приймання даних РВСН (24 біта) приєднується 8 додаткових бітів, пов'язаних з синхронізацією для генерації корисного навантаження (32 біта). Далі приєднується циклічний надлишковий код, що містить 24 біта, що разом дає 56 біт. Ці 56 біт перетворюються у 512 біт після полярного кодування, які перетворюються у 864 біти після узгодження швидкості. Для передачі 432 символів QPSK (864 біта) необхідно 432 елементів ресурсів. Для РВСН виділено 576 елементів ресурсів, решта 144 елементів ресурсів використовуються для РВСН DM-RS. Для формування сигналу радіомовного каналу виконуються наступні перетворення:

- скремблювання, що залежить від ідентифікатора комірки фізичного рівня, від максимальної кількості блоків сигналів синхронізації у пакеті, а також від двох біт номера фрейму;
- додавання до скремблених біт 24 перевірочних біт, що формуються за допомогою полінома;
- полярне (Polar) кодування;
- узгодження швидкостей потоків, яке полягає у відкиданні деяких біт та перемежуванні решти;
- друге скремблювання, що залежить від ідентифікатора комірки фізичного рівня та від номера блока сигналів синхронізації в пакеті;
- QPSK модуляція, для якої кожній парі біт ставиться у відповідність комплексний QPSK символ;
- відображення символів модуляції на частотно-часові комірки блока сигналів синхронізації.

Залежність кількості бітових помилок від відношення сигнал-шум для фізичного радіомовного каналу при різній кількості антен R приймача наведено на рис. 11.

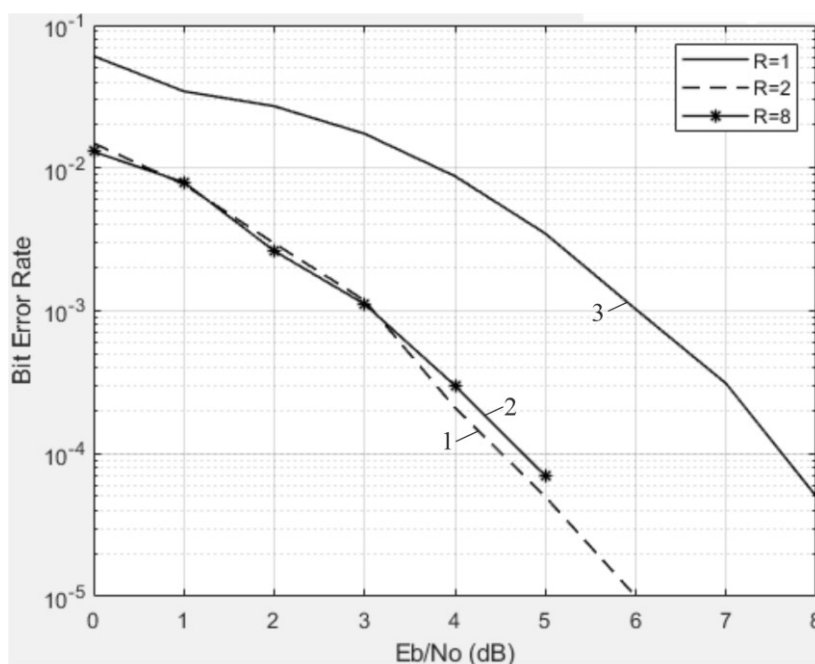


Рис. 11. Залежність кількості бітових помилок від відношення сигнал-шум для фізичного радіомовного каналу (РВСН) при різних кількостях антен R приймача (1 – R = 2; 2 – R = 8; 3 – R = 1)

З отриманих залежностей можна зробити висновок, що використання декількох антен (режим МІМО) на боці приймача підвищує енергетичну ефективність системи зв'язку на 3 дБ порівняно з використанням однієї антени.

Висновки

У статті проаналізований алгоритм процедури пошуку комірки у мобільному зв'язку п'ятого покоління. Досліджена залежність кореляції для трьох значень послідовностей первинного сигналу синхронізації (PSS) $N_{ID}^{(2)}$ від зміщення частоти на вході приймача і визначений максимум кореляції PSS на одній з послідовностей. Це дозволяє визначити ідентифікатор комірки обладнання користувача. Досліджена модель відновлення синхронізації символів і фреймів у системі QPSK, порушену через змінну помилку синхронізації. Зроблений висновок, що при встановленій синхронізації, модуляція BPSK на 3 дБ ефективніше модуляції QPSK. Досліджена структурна схема формування сигналу радіомовного каналу. Встановлено, що використання декількох антен (режим МІМО) на боці приймача підвищує енергетичну ефективність системи зв'язку на 3 дБ у порівнянні з використанням однієї антени.

Література

1. Пятін І.С. Система зв'язку з QPSK модуляцією і синхронізацією несучої / І.С. Пятін, В.В. Мішан, О.О. Кухарець // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2019. – № 5. – С. 211–217.

2. Pyatin I. Investigation of signals distortion during interpolation in SDR transmitters with QPSK modulation / J. Boiko, I. Pyatin, O. Eromenko, I. Parkhomey // Adaptive systems of automatic control. – 2019 – № 1 (34). – P. 5–15.
3. Пятін І.С. Порівняльний аналіз детекторів помилки символної синхронізації когерентної системи цифрового зв'язку з модуляцією QPSK / Ю.М. Бойко, І.С. Пятін // Зв'язок. – 2019. – № 6. – С. 12–18.
4. Пятін І.С. Дослідження синхронізації цифрових систем зв'язку / І.С. Пятін, І.Ю. Кукал // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2016. – № 5. – С. 175–183.
5. Boiko J., Pyatin I., Karpova L., Eromenko O. (2021) Study of the Influence of Changing Signal Propagation Conditions in the Communication Channel on Bit Error Rate. In: Ageyev D., Radivilova T., Kryvinska N. (eds) Data-Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 69. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-71892-3_4
6. Пятін І.С. Передача управляючої інформації у системах широкосмугових телекомунікацій технології 5G / Ю. Бойко, І. Пятін, Л. Карпова, І. Пархомей // Адаптивні системи автоматичного управління : міжвідомчий науково-технічний збірник. – 2021. – № 1 (38). – С. 82–95. DOI://doi.org/10.20535/1560-8956.38.2021.233200
7. Boiko J., Eromenko O., Kovtun I. and Petrashchuk S. Quality Assessment of Synchronization Devices in Telecommunication, in 2019 IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), Kyiv, Ukraine, 2019. <https://doi.org/10.1109/elnano.2019.8783438>.
8. Boiko J., Pyatin I., Eromenko O. and Barabash O. Methodology for Assessing Synchronization Conditions in Telecommunication Devices, Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal, vol. 5(2), pp. 320-327, March 2020. DOI: 10.25046/aj050242.
9. Parkhomey I. Assessment of quality indicators of the automatic control system influence of accident interference / I. Parkhomey, J. Boiko, N. Tsopa, I. Zeniv, O. Eromenko // Telkomnika (Telecommunication Computing Electronics and Control). – 2020. – Vol. 18, No. 4. – P. 2070–2079.
10. Boiko J. Synthesis and analysis of information-control systems of synchronization of means of telecommunications / J. Boiko // Adaptive systems of automatic control. – 2017. – No 1(30). – P. 8–28. – DOI: <https://doi.org/10.20535/1560-8956.30.2017.117700>.
11. Zhurakovskiy B. Increasing the efficiency of information transmission in communication channels / B. Zhurakovskiy, J. Boiko, V. Druzhynin, I. Zeniv, O. Eromenko // Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. – 2020. – Vol. 19, No. 3. – P. 1306–1315.
12. Boiko J., Pyatin I. and Eromenko O. Farrow Interpolator Features in QPSK Telecommunication Devices. 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET – 2020) Lviv-Slavske, Ukraine February 25-29, 2020. DOI: 10.1109/TCSET49122.2020.235410
13. Pyatin I., Boiko J. and Eromenko O. Design and Simulation of Synchronization Systems in Telecommunications with QPSK, 2020 IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), Kyiv, Ukraine, 2020, pp. 98-103, DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349354.
14. Бойко Ю. М. Підвищення завадостійкості блоків оброблення сигналів засобів телекомунікацій на основі модифікованих схем синхронізації / Ю. М. Бойко // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія: Радіотехніка. Радіоапаратобудування. – 2015. – Вип. 61. – С. 91–107. – URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKPI_rr_2015_61_11.

References

1. Piatin I.S. Systema zviazku z QPSK moduliatsiieiu i synkhronizatsiieiu nesuchoi / I.S. Piatin, V.V. Mishan, O.O. Kukharets // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. – 2019. - № 5. - S. 211-217
2. Pyatin I. Investigation of signals distortion during interpolation in SDR transmitters with QPSK modulation / J. Boiko, I. Pyatin, O. Eromenko, I. Parkhomey // Adaptive systems of automatic control. – 2019 – № 1 (34). – P. 5–15.
3. Piatin I.S. Porivnialnyi analiz detektoriv pomylyky symbolnoi synkhronizatsii koherentnoi systemy tsyfrovoho zviazku z moduliatsiieiu QPSK / J.M. Boiko I.S. Piatin // Naukovy zhurnal Zviazok. – 2019. – № 6. – S. 12-18.
4. Piatin I.S. Doslidzhennia synkhronizatsii tsyfrovyykh system zviazku / I.S. Piatin, I.Iu. Kukal // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. – 2016. – № 5. – S. 175-183.
5. Boiko J., Pyatin I., Karpova L., Eromenko O. (2021) Study of the Influence of Changing Signal Propagation Conditions in the Communication Channel on Bit Error Rate. In: Ageyev D., Radivilova T., Kryvinska N. (eds) Data-Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 69. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-71892-3_4
6. Piatin I.S. Peredacha upravliaiuchoi informatsii u systemakh shyrokosmuhovyykh telekomunikatsii tekhnolohii 5G / J. Boiko, I. Piatin, L. Karpova, I. Parkhomey // Mizhvidomchyi naukovy-tekhnichnyi zbirnyk «Adaptyvni systemy avtomatychnoho upravlinnia», 2021 – № 1 (38). – S. 82-95. DOI: //doi.org/10.20535/1560-8956.38.2021.233200
7. Boiko J., Eromenko O., Kovtun I. and Petrashchuk S. Quality Assessment of Synchronization Devices in Telecommunication, in 2019 IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), Kyiv, Ukraine, 2019. <https://doi.org/10.1109/elnano.2019.8783438>.
8. Boiko J., Pyatin I., Eromenko O. and Barabash O. Methodology for Assessing Synchronization Conditions in Telecommunication Devices, Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal, vol. 5(2), pp. 320-327, March 2020. DOI: 10.25046/aj050242.
9. Parkhomey I. Assessment of quality indicators of the automatic control system influence of accident in terference / I. Parkhomey, J. Boiko, N. Tsopa, I. Zeniv, O. Eromenko // Telkomnika (Telecommunication Computing Electronics and Control). – 2020. – Vol. 18, No. 4. – P. 2070–2079.
10. Boiko J. Synthesis and analysis of information-control systems of synchronization of means of telecommunications / J. Boiko // Adaptive systems of automatic control. – 2017. – No 1(30). – P. 8–28. – DOI: <https://doi.org/10.20535/1560-8956.30.2017.117700>.

11. Zhurakovskiy B. Increasing the efficiency of information transmission in communication channels / B. Zhurakovskiy, J. Boiko, V. Druzhynin, I. Zeniv, O. Eromenko // Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. – 2020. – Vol. 19, No. 3. – P. 1306–1315.
12. Boiko J., Pyatin I. and Eromenko O. Farrow Interpolator Features in QPSK Telecommunication Devices. 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET - 2020) Lviv-Slavske, Ukraine February 25-29, 2020. DOI: 10.1109/TCSET49122.2020.235410
13. Pyatin I., Boiko J. and Eromenko O. Design and Simulation of Synchronization Systems in Telecommunications with QPSK, 2020 IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), Kyiv, Ukraine, 2020, pp. 98-103, DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349354.
14. Boiko J. M. Pidvyshchennia zavadostiikosti blokiv obrobлення syhnaliv zasobiv telekomunikatsii na osnovi modifikovanykh skhem synkhronizatsii / J. M. Boiko // Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy «Kyivskiy politekhnichnyi in stytut». Seriya : Radiotekhnika. Radioaparotobuduvannia. – 2015. – Vyp. 61. – S. 91-107. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKPI_tr_2015_61_11.

Рецензія/Peer review : 10.09.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.10.2021 р.

БОЙКО Ю. М., НОВИКОВ Д. В.

Хмельницький національний університет

ORCID ID: 0000-0003-0603-7827

e-mail: boiko_julius@ukr.net

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ КАНАЛЬНОГО КОДУВАННЯ У ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯХ З OFDM

У роботі представлено результати дослідження методів підвищення завадостійкості телекомунікаційних каналів з OFDM. Досліджено структуру OFDM-сигналу. Проведено оцінку впливу структури сигналів OFDM на завадостійкість їх передачі в умовах впливу ефекту міжсимвольної інтерференції у багатопроменевому каналі. Дані рекомендації щодо вибору форми сигналів OFDM з метою протидії впливу міжсимвольної інтерференції за рахунок оптимізації тривалості імпульсної послідовності. Досліджено поведінку сигналів OFDM за наявності міжсимвольної інтерференції в АБГШ та Релеєвському каналі. Здійснено порівняння ефективності сигнально-кодових конструкцій на основі каскадних кодів в випадку їх застосування в каналах з OFDM. Встановлено, що оптимальний по швидкодії і обчислювальній складності підбір схеми та алгоритму декодування завадостійкого коду дозволяє знайти компроміс щодо конструювання каскадних схем у каналах з OFDM і отримати в кінцевому результаті задовільний вииграш у продуктивності.

Ключові слова: OFDM, завадостійкість, кодування, модуляція, ортогональні піднесучі.

BOIKO JULIY M., NOVIKOV DMITRY V.

Khmelnitskyi National University

EVALUATION OF CHANNEL CODING EFFICIENCY IN OFDM TELECOMMUNICATIONS

The paper presents the results a study of methods for increasing the noise immunity of telecommunication channels with OFDM. The structure of the OFDM signal is investigated. The influence of the structure OFDM signals on the noise immunity of their transmission under the influence of the effect of intersymbol interference in a multipath channel is estimated. Recommendations are given on the choice of the OFDM signal form in order to counteract the influence of intersymbol interference by optimizing the duration of the pulse sequence. The behaviour of OFDM signals in the case of intersymbol interference in the AWGN and the Rayleigh channel is investigated. Recommendations for counteracting interference influence on the quality of communication are given. A comparison is made of the efficiency signal-code constructions based on concatenated codes in the case of their application in channels with OFDM. The article presents the results of the development models of effective coding in telecommunications with OFDM based on concatenated codes, taking into account the coding rate and the number of decoding iterations to ensure the specified noise immunity indicators. At the current stage of implementation of modern telecommunication technologies, the use of channel coding plays a key role in increasing the performance of channels that use OFDM. The main contribution of channel coding in combination with time and frequency interleaving is the formation of inter-bit communication in the data stream transmitted on separate carriers in the signal spectrum in such a way that the transmitted information data in the fading channel can be updated in the receiving equipment. In general, in this case, having frequency selectivity creates a certain advantage through frequency diversity. Thus, the presence of information about the state of the channel in the case of channel coding creates the prerequisites for obtaining a certain gain. Optimal in terms of speed and computational complexity, the selection of the scheme and algorithm for decoding the error-correcting code makes it possible to find a compromise in the design of concatenated circuits in channels with OFDM and ultimately obtain a satisfactory gain in performance.

Keywords: OFDM, noise immunity, coding, modulation, orthogonal subcarriers.

Постановка проблеми

В процесі впровадження технології LTE (Long-Term Evolution) були сформовані основні вимоги до систем четвертого і п'ятого поколінь мобільного зв'язку (4G, 5G) [1]. Формування цих вимог обумовлювалось наявністю нових типів послуг які користувач буде вимагати у наступних додатках. В цьому випадку, послуги передачі даних стануть відігравати значну роль в порівнянні з передачею чистого голосу і зокрема за рахунок актуального запиту користувачів на мобільні IP-додатки. Затребуваною стане високошвидкісна передача даних 100Мбіт/с і вище, яка крім того повинна бути доступною у випадку високої мобільності та на високих швидкостях транспортних засобів. Підвищується актуальність надання асиметричних послуг передачі даних між висхідною та низхідною лінією передачі, коли переважним сценарієм стає випадок передачі низхідною лінією більшого трафіку, а отже застосовується більша швидкість у порівнянні з висхідною лінією [2].

Для виконання всіх цих детальних системних вимог метод передачі OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing – мультиплексування з ортогональним частотним розділенням каналів), який застосовується у широкосмуговому радіоканалі [1], був обраний як ефірний інтерфейс для низхідної лінії зв'язку в рамках стандартизації четвертого і п'ятого поколінь бездротових систем телекомунікацій завдяки його гнучкості та адаптивності у технічному дизайні системи. З наведених міркувань потрібно наголосити на тому, що система радіопередачі для 4G та 5G повинна забезпечувати велику гнучкість та адаптивність на різних рівнях, починаючи від найвищого рівня (вимоги програмного рівня) до найнижчого рівня (середовища передачі, фізичного рівня, тобто рівня радіоканалу).

У первинній схемі частотного ущільнення, повна смуга частот сигналу розподіляється на n -ну кількість підканалів на піднесучих які не перекриваються [3–7]. Тоді кожний з каналів модулюється окремим символом і далі n -каналів мультиплекуються за частотою. Для усунення взаємного впливу та виникнення міжканальних завад слід було уникати їх частотного перекриття. Однак, такий стан речей

обумовлює неефективне використання ресурсу спектру. Таким чином, вирішення проблеми підвищення ефективності частотного ресурсу відбувалось в напрямку використання частотного мультиплексування з підканалом, які перекривались і рознесеними за частотою піднесучими [2].

Сьогодні техніка передачі OFDM знаходиться на стадії застосування до широкосмугових систем зв'язку, інтегрованих у середовище стільникового мобільного зв'язку [1].

На поточному етапі впровадження сучасних інформаційних технологій застосування каналного кодування відіграє ключову роль у підвищенні продуктивності каналів у яких застосовується OFDM.

Концепція організації систем OFDM створює передумови для підвищення ефективності каналного кодування, а саме підвищення протидії у виникненні завмирань у каналах передачі [2, 3]. Головний вклад каналного кодування в поєднанні з часовим та частотним перемежуванням полягає в утворенні міжбітового зв'язку в потоці даних, що передаються на окремих несучих у спектрі сигналу таким чином, що інформаційні дані які передаються в каналі із завмираннями можна поновити в приймальній апаратурі. Загалом, в цьому випадку наявність частотної вибірності створює певну перевагу у вигляді частотного рознесення. Таким чином, наявність інформації щодо стану каналу у випадку каналного кодування, створює передумови для отримання певного виграшу. Саме частотна характеристика каналу поряд з відношенням сигнал/шум на піднесучих – це та інформація щодо стану каналу яка утворює перевагу у випадку OFDM [2].

Таким чином, в статті ставиться задача визначення впливу структури сигналів OFDM на завадостійкість їх передачі в умовах впливу ефекту міжсимвольної інтерференції у багатопробеному каналі. Потрібно описати особливості багатопробеного каналу з сигналами OFDM, зокрема в контексті протидії впливу міжсимвольної інтерференції, за рахунок оптимізації тривалості імпульсної послідовності. Потрібно дослідити поведінку сигналів OFDM за наявності міжсимвольної інтерференції як в каналі з адитивним білим гаусівським шумом (АБГШ) так і в Релеєвському каналі та надати рекомендації щодо протидії завадовим впливам на якість зв'язку. Паралельно в роботі потрібно здійснити порівняння ефективності сигнально-кодових конструкцій на основі каскадних кодів у випадку їх можливого застосування в каналах з OFDM. Дослідження будуть проводитись в каналах з використанням цифрової фазової та амплітудної модуляції різного порядку.

Аналіз останніх джерел

Для забезпечення умов високошвидкісної передачі даних по радіоканалу, альтернативою класичному підходу описаному у [5] і який ґрунтується на передачі за допомогою однієї несучої, є підхід який враховує можливість передачі даних з максимальною затримкою у випадку багатопробеного розповсюдження в порівнянні з тривалістю символу та має концепцію OFDM. В цьому випадку загальна ідея передавання OFDM полягає у розділенні всієї доступної смуги частот пропускання на низку вузькосмугових підканалів, що передаються на еквідистантних частотах (рис. 1).

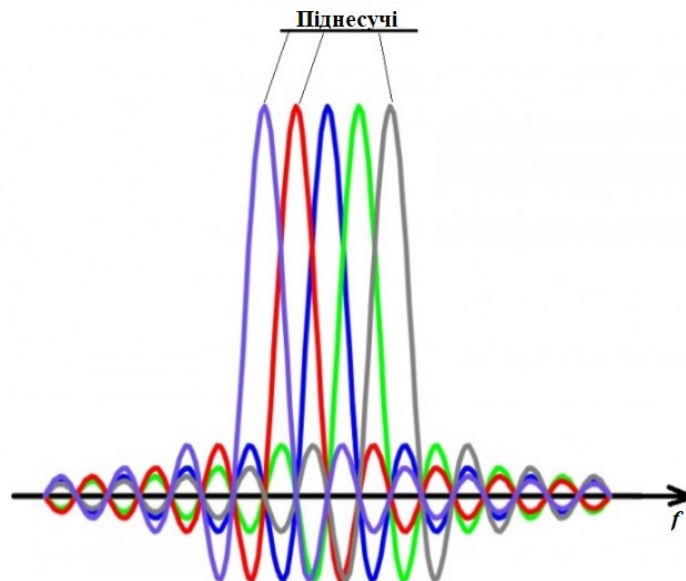


Рис. 1. Розміщення піднесучих в частотній області при формуванні сигналів з ортогональним частотним рознесенням каналів

Представимо сигнали OFDM основної смуги пропускання наступним чином [3]:

$$w_A(t) = A \cos \left\{ \frac{1}{T_{CM}} \sum_{k=0}^{M-1} \left\{ \sum_{l=0}^{M-1} D_k [A] \Psi_{k,l}(t) \right\} \right\}, \quad (1)$$

де у формулі (1) $U_k(t)$ – l -й сигнал на k -й піднесучий; – часовий інтервал передачі N символів, який обумовлений процедурою послідовно-паралельного перетворення (див. схему на рис. 2).

Або:

$$u_k(t) = \sum_{n=0}^{N-1} U_k[n] e^{j2\pi kn t / T_{см}} \text{ для } n = 0, 1, \dots, N-1 \quad (3)$$

де $T_{см} = \frac{T_{ФНК}}{N}$; $f_k = \frac{k}{T_{ФНК}}$

Значимо, що в рівнянні (3) використовується N – точкове зворотне перетворення Фур'є для багатопозиційних фазової (ФМ) та амплітудної (АМ) модуляції символів, які містять данні для обчислення яких можна застосувати алгоритм швидкого перетворення Фур'є (ШПФ).

Таким чином, якщо математично описати передані в каналі символи як $s_k(t)$, то внаслідок ортогональності піднесучих їх можна відновити наступним чином:

$$s_k(t) = 1/T_{см} \int_{-\infty}^{\infty} S_k(f) e^{j2\pi k f t} e^{j2\pi f t} dt = 1/T_{см} \int_{-\infty}^{\infty} S_k(f) e^{j2\pi f t} dt = 1/T_{см} \int_{-\infty}^{\infty} S_k(f) e^{j2\pi f t} dt$$

$$s_k[n] = \sum_{m=0}^{N-1} s_k(m) e^{j2\pi km n / T_{см}} = \sum_{m=0}^{N-1} \left\{ \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} U_k[k] e^{j2\pi km n / T_{см}} \right\} e^{j2\pi km n / T_{см}} =$$

Отже, рівняння (5) представляє собою N – точкове перетворення Фур'є $\{s_k(n)\}_{n=0}^{N-1}$, для якого можна застосувати алгоритм швидкого перетворення Фур'є.

Таким чином у відповідності до представлених математичних моделей схему формування і обробки сигналів у випадку OFDM можна представити рис. 2.

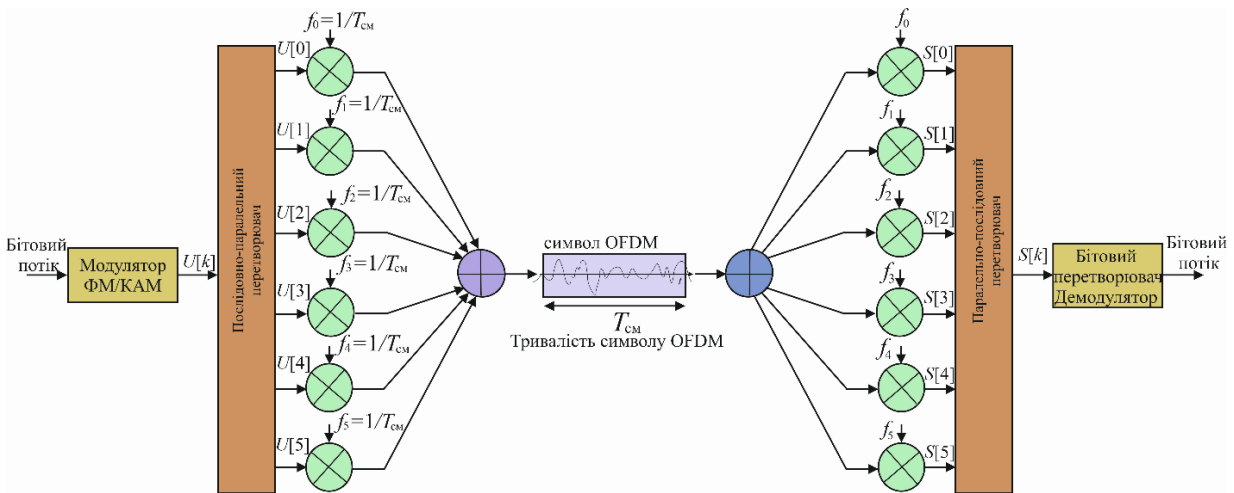


Рис. 2. Блок-схема формування та обробки сигналів у системі OFDM

На схемі рис. 2 символи $\Phi_k[N]$ модулюють піднесучі $f_k = \frac{k}{T_{\text{симв}}}$ (на рис. 2 умовно показано випадок, коли $N=6$), які можна обробити у демодуляторі на підставі застосування правил ортогональності. Символ OFDM утворено з N символів в паралельному форматі, причому, складовий утворений символ має тривалість. Модуляція на піднесучих може бути реалізована за допомогою зворотного швидкого перетворення Фур'є. Демодуляція реалізується на приймальному боці на основі прямого швидкого перетворення Фур'є.

Розгорнуту (повну) блок-схему каналу з OFDM з завадостійким кодуванням представлено на рис. 3.

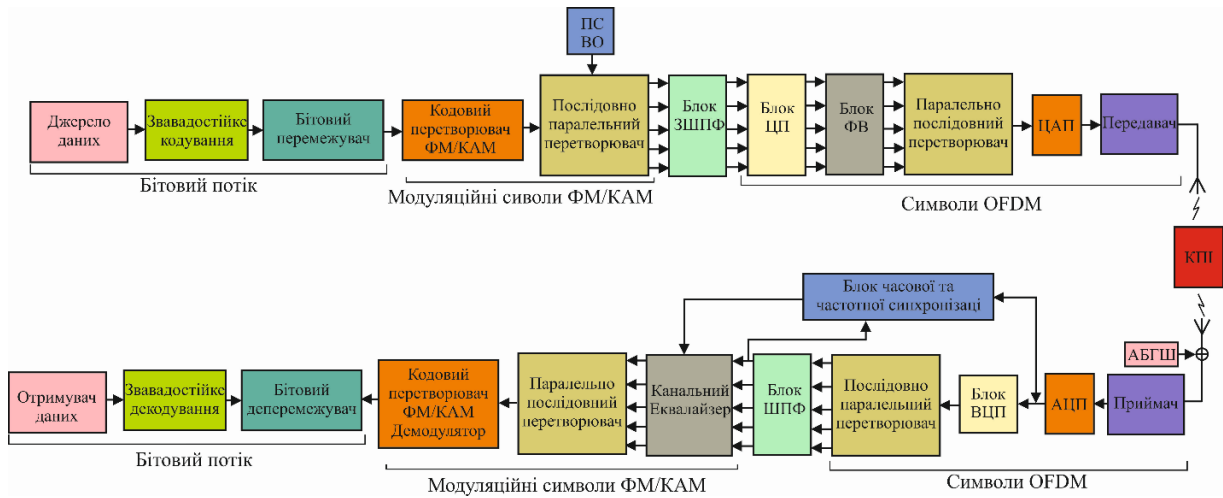


Рис. 3. Розгорнута блок-схема інформаційного каналу з OFDM: ПС ВО – пілотний символ, віртуальний оператор; ЗШПФ – зворотне швидке перетворення Фур'є; ЦП – циклічний префікс; ФВ – формувач віконної функції; ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач; ВЦП – відновлення циклічного префіксу; ШПФ – швидке перетворення Фур'є; АБГШ - адитивний білий гаусівський шум; КТП – канал передачі інформації

Розглянемо l -й OFDM-сигнал у телекомунікаційному каналі з імпульсною характеристикою $h_k(\xi)$:

$$s_k(\xi) = u_k(\xi) \cdot h_k(\xi) + \xi_k(\xi) = \int_0^{\tau} h_k(x) u_k(\xi - x) dx + \xi_k(\xi) \tag{6}$$

де $\xi_k(\xi)$ – доданок який характеризує наявність адитивного білого гаусівського шуму (АБГШ).

У випадку $\tau = \frac{N T_{\text{симв}}}{N}$ представимо рівняння (6) в дискретному вигляді:

$$s_k[n] = u_k[n] \cdot h_k[n] + \xi_k[n] = \sum_{m=0}^{N-1} h_k[n-m] u_k[n-m] + \xi_k[n] \tag{7}$$

де $u_k[n] := u_k(n T_c)$; $s_k[n] := s_k(n T_c)$; $h_l[n] = h_l(n T_c)$; $\xi_l[n] = \xi_l(n T_c)$.

Особливість багатопроменевого каналу з сигналами OFDM полягає у протидії впливу міжсимвольної інтерференції за рахунок оптимізації тривалості імпульсної послідовності.

Основні переваги OFDM пов'язані з значною стійкістю до завмирань в наслідок багатопроменевого розповсюдження, можливість більш ефективного використання смуги частот (завдяки властивості адаптивної зміни потужності і об'єму бітового потоку даних) тощо, дозволяють розглядати таку технологію в розрізі її важливого застосування з метою провадження бездротових і дротових інформаційних технологій наступних поколінь. Важлива задача ефективного провадження OFDM полягає у визначенні зміни ймовірності виникнення бітових помилок в таких системах за рахунок спотворень пов'язаних з впливом на збереження ортогональності окремих піднесучих. Основними чинниками таких спотворень можна розглядати як ефекти швидкого завмирання, джиттер, частотні зсуви, нелінійні спотворення тощо. Основна дія усіх перелічених факторів спрямовується у кінцевому рахунку на виникнення перехресних завад між піднесучими сигналами OFDM. Наслідком утворення завад в пакеті OFDM - піднесучих є неможливість забезпечення оптимального приймання сигналів внаслідок відходу від забезпечення умов ортогональності піднесучих. На перший план при виникненні описаних явищ, виходить питання надійної ідентифікації даних, оцінка каналу та питання синхронізації.

Методика підвищення завадостійкості символів OFDM. Розглянемо принципи формування захисного інтервалу у структурі OFDM-сигналу. Існує два підходи щодо реалізації захисного інтервалу. В

першому випадку використовують доповнення з нульовим заповненням (НЗ) до структури OFDM сигналу. В другому випадку застосовується циклічне розширення сигналу за допомогою циклічного префіксу (ЦП див. на рис. 4). На рис. 5 представлено ілюстрація впливу ефекту міжсимвольної інтерференції для кожної піднесучої OFDM сигналу.

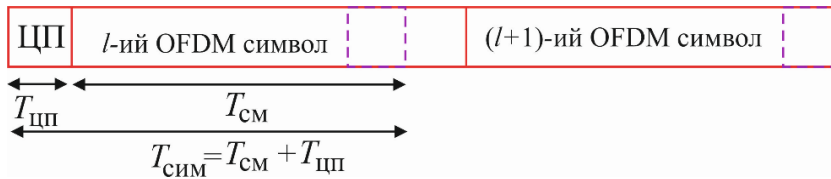


Рис. 4. Структура OFDM сигнал із захисним інтервалом

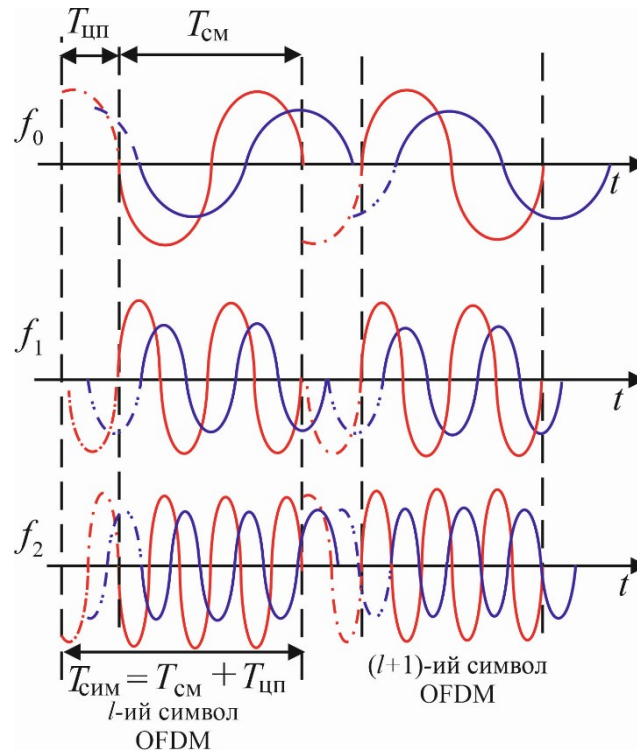


Рис. 5. Ілюстрація впливу ефекту міжсимвольної інтерференції для кожної піднесучої OFDM сигналу

Задача ЦП полягає у розширенні OFDM сигналу шляхом копіювання останніх відліків сигналу до початкової частини конструкції. Якщо позначити тривалість ЦП у відліках як $T_{ЦП}$ тоді розширену тривалість конструкції символів OFDM можна представити як: $T_{СИМ} = T_{СМ} + T_{ЦП}$ (рис. 4 та рис. 5).

На рис. 5 представлено вплив явища міжсимвольної інтерференції на окремі піднесучі символи OFDM за рахунок багатопроменевого розповсюдження сигналів. З рис. 5 встановлюємо, що у випадку, якщо тривалість ЦП встановити більше або рівною максимальній затримці у багатопроменовому каналі, вплив міжсимвольної інтерференції конкретного символу OFDM на наступний символ обмежується захисним інтервалом (на рис. 5 цей ефект схематично показано пунктирними лініями). Звідки можна констатувати, що вплив одного символу на інший не впливає на процедуру ШПФ наступного символу OFDM, який має часовий проміжок $T_{СМ}$. Отже, у випадку коли захисний інтервал обраний таким чином, щоб він перевищував максимальну затримку багатопроменевого каналу, існує можливість підтримувати ортогональність між піднесучими. В цьому випадку неперервність кожної затриманої піднесучої гарантується наявністю у складі символу ЦП, а їх ортогональності між собою зберігається на часовому проміжку $T_{СМ}$.

Крім того, може виникати зміщення символів за рахунок зриву символльної синхронізації задача якої спрямована на протидію співпадіння заголовка OFDM символу з початковою точкою вікна утвореного проведенням процедури ШПФ. Тобто коли початкова точка вікна ШПФ знаходиться раніше ніж кінець попереднього символу із затримкою виникає міжсимвольна інтерференція, а у випадку коли вона розміщена пізніше за початок ходу символу можливе виникнення як міжсимвольної, так і міжчастотної інтерференції (зокрема між піднесучими) рис. 6.

Організація OFDM-сигналу може бути здійснена утворенням захисного інтервалу із нульовим заповненням. Така конструкція актуальна для широкосмугових і надширокосмугових систем на основі OFDM. На рис. 6 представлено символи OFDM-сигналу з НЗ і впливом міжсимвольної інтерференції на піднесучі. Наявність незначної затримки у багатопроменовому каналі утворює картину коли символи OFDM ефективної довжини (розглянемо випадок коли тривалість НЗ більша ніж максимальна затримка багатопроменевого каналу) мають розриви в межах вікна ШПФ.

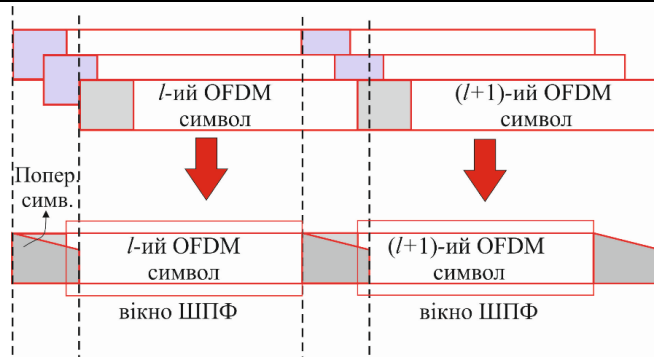


Рис. 6. Ілюстрація виникнення явищі міжсимвольної інтерференції між символами OFDM з довжиною циклічного префіксу коротшою за максимальну затримку в багатопроменевому в каналі

Таким чином частина захисного інтервалу наступного OFDM k -символу копіюється і додається до заголовка наступного символу з метою запобігання утворення міжчастотної інтерференції (між частотами піднесучих). Так як НЗ утворено нульовою послідовністю, фактична довжина символу OFDM з НЗ буде коротша ніж довжина символу OFDM який містить ЦП і циклічний суфікс (ЦС). В цьому випадку можна акцентувати увагу на тому, що довжина прямокутного вікна для передачі буде коротша. Отже, на відміну від конструкції OFDM-символу яку розглянуто на рис.6 символ OFDM який сформовано з НЗ буде мати спектральну щільність потужності (СЩП) з меншою позасмуговою пульсацією і більшою позасмуговою потужністю, що дозволить передавати більшу потужність.

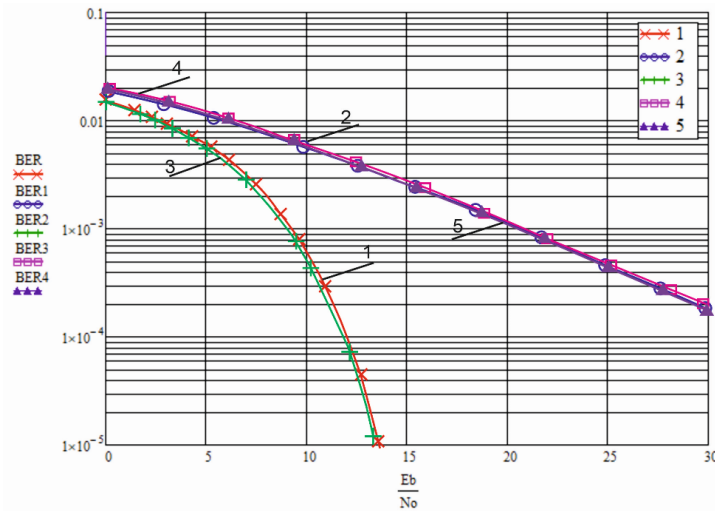


Рис. 7. Графік завадостійкості каналу з OFDM та довжиною захисного інтервалу у 16 символів: 1 – АБГШ – аналітична крива; 2 – Релесвський канал – аналітична крива; 3 – АБГШ – випадок без захисного інтервалу; для каналу з ЦП який дорівнює 16 символів; для каналу з НЗ яке вибиралось довжиною 16 символів

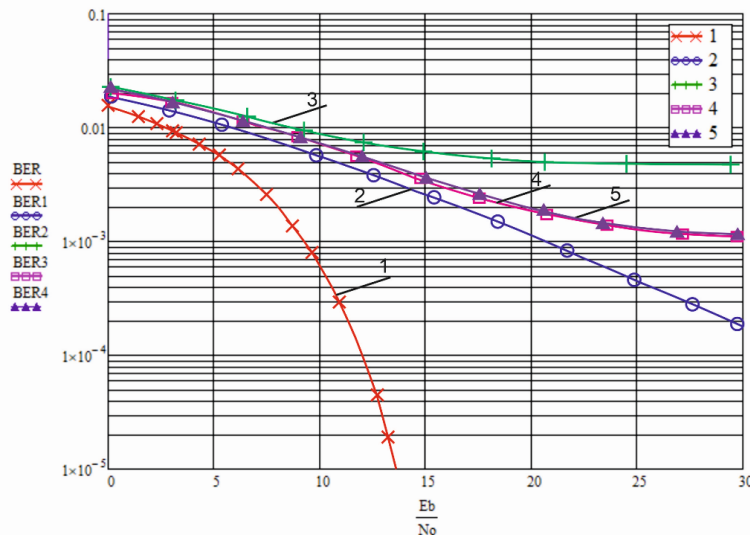


Рис. 8. Графік завадостійкості каналу з OFDM та довжиною 3 символи: 1 – АБГШ – аналітична крива; 2 – Релесвський канал – аналітична крива; 3 – АБГШ – випадок без захисного інтервалу; для каналу з ЦП який дорівнює 3 символи; для каналу з НЗ яке вибиралось довжиною 3 символи

На рис. 7 представлено результати моделювання завадостійкості телекомунікаційного каналу з OFDM за наявності міжсимвольної інтерференції. Досліджували вплив на завадостійкість довжини захисного інтервалу який може складатись як з ЦП, ЦС та і мати ділянку з НЗ. В процесі дослідження використовували 64-х точково ШПФ, а також резервували 16 віртуальних піднесучих. Використовували сигнали типу КАМ-16. Дослідження проводили для двох каналів: АБГШ та каналу з Релеєвським завмиранням (максимальна затримка до п'ятнадцяти символів). Зокрема на рис. 7 довжина захисного інтервалу вибиралась у 16 символів.

Наступний рис. 8 дозволяє оцінити як впливає довжина захисного інтервалу на тренд кривої завадостійкості.

Аналіз рис. 7 та 8 дозволяє встановити, що вплив міжсимвольної інтерференції на ймовірність бітової помилки в Релеєвському каналі з багатопробним завмиранням становиться наочним (криві 4 та 5 на рис. 8) за результатами зменшення довжини захисного інтервалу. В кінцевому результаті такий процес приводить до мінімального рівня помилок як показано на рис.8, кривими 3–5.

Методика підвищення завадостійкості систем OFDM з ефективним кодуванням. Не дивлячись на істотні переваги OFDM, в каналах зв'язку при прийманні таких сигналів можливий випадок коли глибокі завмирання які супроводжують передачу таких сигналів здійснюють селективний вплив на одні піднесучі шляхом їх пригнічення, а на інші, навпаки, шляхом їх підсилення. Така картина в кінцевому рахунку приводить до збільшення середнього відношення сигнал/шум і в каналі з OFDM виникають ефекти вибіркового завмирання.

Одним з методів протидії таким ефектам в каналах з OFDM є метод результати дослідження якого приведено нижче в статті і який ґрунтується на застосуванні методів кодування з прямим виправленням помилок (FEC) [8–14].

На рис. 9 представлена схема для дослідження системи передачі з OFDM і каналним кодування на основі каскадного коду (зовнішній кодер на основі коду Ріда-Соломона (РС), внутрішній кодер – на основі турбо-коду [10, 13, 14] (ТК)). Як слідує з схеми (рис. 9), вхідні фрейми ТК групуються, кожен блок пакетів формує кадр OFDM який, як було описано вище в статті, починається з символу синхронізації за яким слідує опорний символ. Перший символ використовувався з метою визначення часового відліку початку кадру і оцінки зсуву частоти, а другий використовувався для оцінки частотної характеристики каналу.

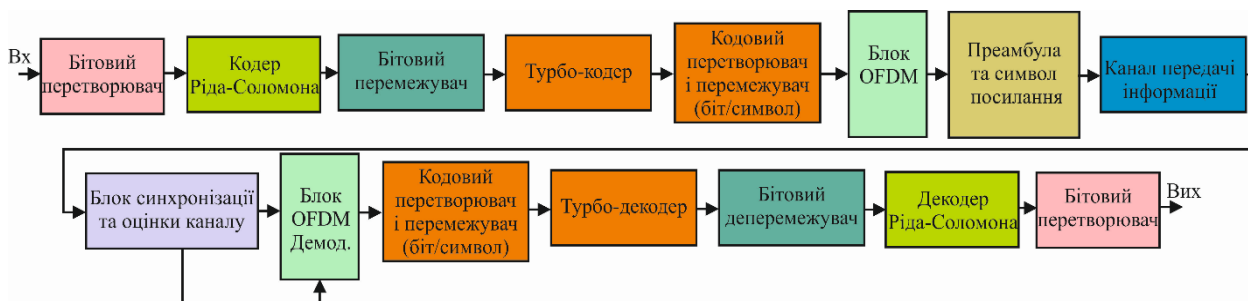


Рис. 9. Блок-схема формування та обробки сигналів у системі OFDM з процедурою каскадного кодування

В ТК використовували різні генераторні поліноми (7, 5), (37, 21) та (117, 121) і швидкості кодування: 1/3, 1/2, 2/3, 3/4. Один пакет ТК утворювався 1632-бітами з перемеженими блоками. Модуляцію піднесучих OFDM здійснювали за допомогою цифрових багатопозиційних сигналів ФМ-4 та КАМ-16 (64) [9] та програмованою зміною довжини захисного інтервалу.

На рис. 10 представлено синтезовану схему (Simulink-програму модель) телекомунікаційного каналу з OFDM та каскадним кодуванням кодами з прямим виправленням помилок (конструкція РС+ТК) згідно рис. 9.

Продуктивність системи оцінювалась проведенням низки експериментів чисельного моделювання у різних конфігураціях схем кодування/декодування у каналі з АБГШ. Для проведення досліджень використано конструкції розміром по сто кадрів (фреймів) які містили по двадцять пакетів кожна. Програмно модель мала установки щодо відомої структури інформації, що передавалась в каналі, крім того у випадку дослідження ефективності кодування механізм синхронізації був організований як ідеальний.

Процес дослідження включав кроки щодо визначення впливу структури ТК на продуктивність каналу також оцінювався вплив кількості ітерацій декодування, швидкості кодування та форми сигнально-кодової конструкції. В експерименті досліджувались характеристики ТК як складового кодеру в каналі з OFDM. Ідея застосування каскадної конструкції, полягала у досягненні продуктивності каналу на рівні ймовірності бітової помилки $BER=10E-9$. В роботах [13, 14] доказано, що такий підхід дозволить усунути ефект насичення притаманний ТК і таким чином дозволить підвищити продуктивність каналу з OFDM в цілому.

В схемі на рис. 9 запропоновано використати зовнішній перемежувач з метою забезпечення вірного розподілу помилок утворених згрупованими ділянками пошкоджених даних які можуть надходити до каналу від складового згорткового кодеру ТК [6].

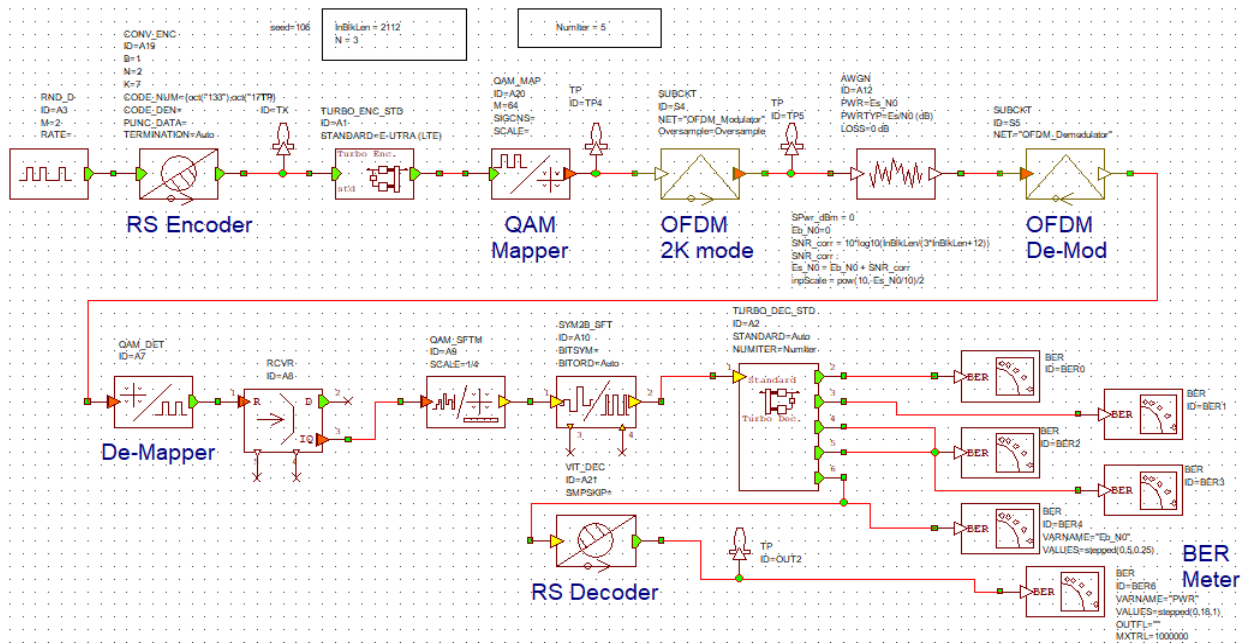


Рис. 10. Simulink-модель формування та обробки сигналів у системі OFDM з процедурою каскадного кодування

Спектр сигналу OFDM на передавальному (TX) та приймальному боці (RX) каналу представлено на рис. 11.

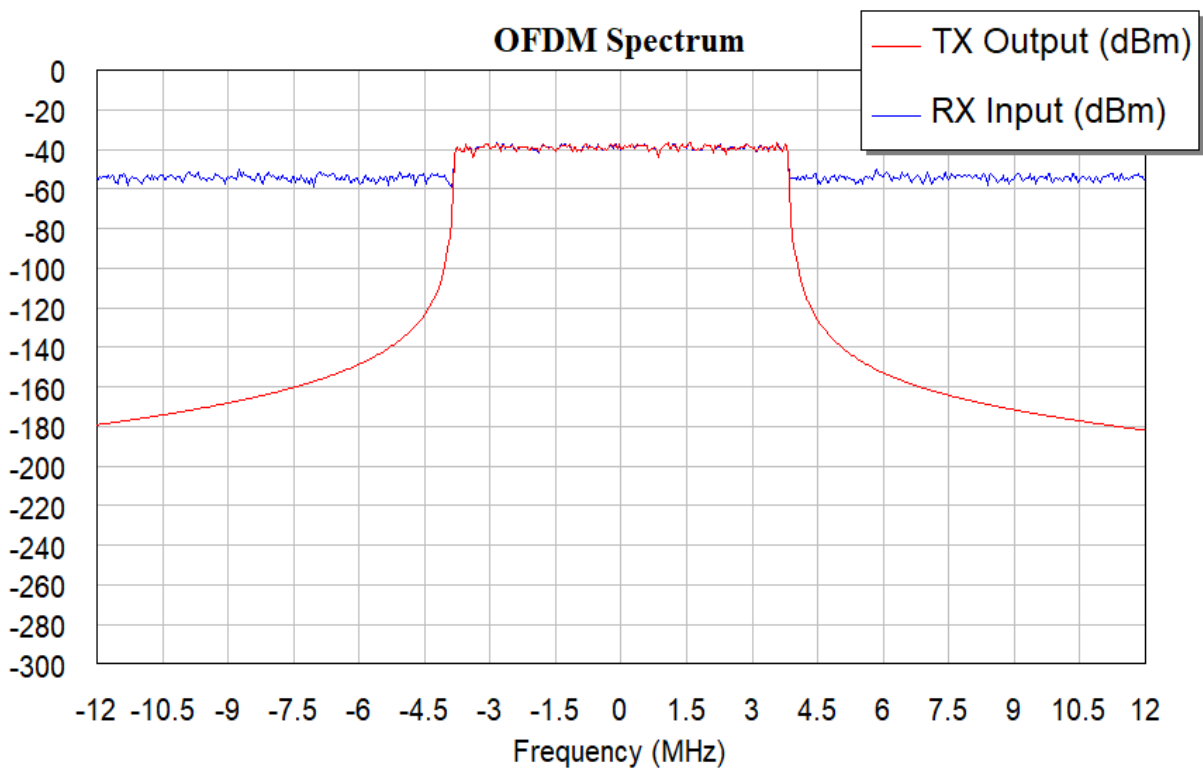


Рис. 11. Спектр сигналу OFDM на передавальному (TX) та приймальному боці (RX) каналу

На рис. 12 представлено отримані графіки заводостійкості телекомунікаційного каналу з сигналами OFDM та каскадним кодуванням (PC+TK) для конфігурації кодів (37, 21) та (117, 121), 5 – ітерацій і швидкість кодування 1/3 за різних схем модуляції. Використовувались багатопозиційні сигнали ФМ-4 та КАМ-16.

Результат моделювання свідчить на втрати продуктивності у випадку підвищення рівнів модуляції, причому для випадку однакової структури коду (37, 21) при використанні ФМ-4 та КАМ-16 падіння продуктивності складало близько 3,9 дБ тоді як перехід до структури коду (117, 121) для аналогічного виду сигналів призвів до втрати продуктивності до 3,1 дБ.

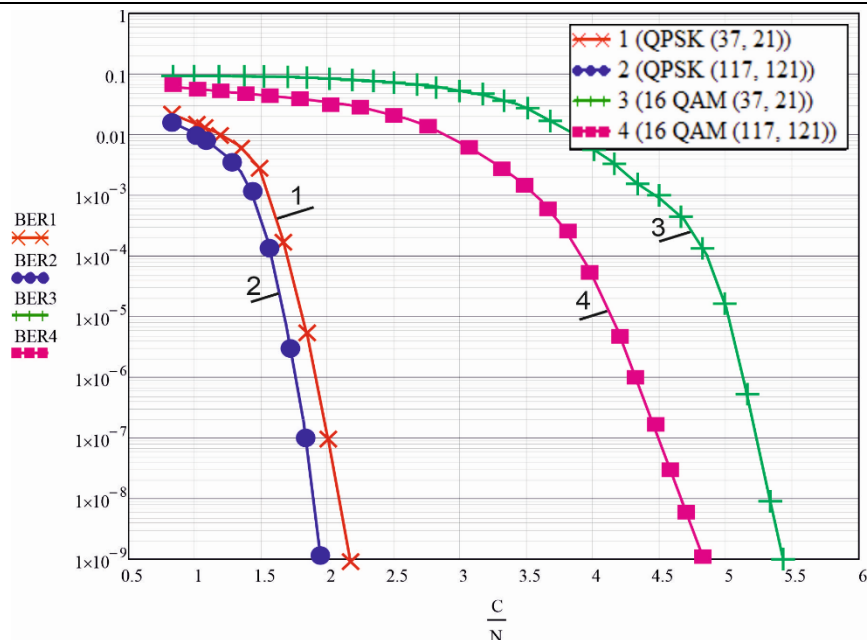


Рис. 12. Графіки завадостійкості сигналів OFDM з каскадним кодуванням (PC_TK):
1 – ФМ-4 (37, 21); 2 – ФМ-4 (117, 121); 3 – КАМ -16 (37, 21); КАМ -16 (117, 127)

Висновки

В роботі представлено результати дослідження методів підвищення завадостійкості каналів з OFDM в сучасних телекомунікаціях. Досліджені питання щодо форми OFDM-символів дозволили встановити, що тривалість захисного інтервалу може змінюватись містити як ЦП і ЦС так і НЗ. Таким чином, визначено продуктивність системи OFDM щодо впливу довжини захисного інтервалу на ймовірність бітової помилки в телекомунікаційному каналі. В дослідження використано конструкції 64-точкового ШПФ для сигналу OFDM, із 16 віртуальними піднесучими у багатопробієвих каналах із замираннями типу АГБШ і Релея (максимальна затримка у символах дорівнювала 15 вибірок). Встановлено, що вплив міжсимвольної інтерференції на ймовірність бітової помилки в Релеєвському каналі з багатопробієвим замиранням становиться наочним за результатами зменшення довжини захисного інтервалу.

Результати дослідження приведені у статті дозволяють стверджувати, що продуктивність схеми каскадного кодування у OFDM-каналі залежить від кількості ітерацій декодування, а також структури сигнально-кодової конструкції. Збільшення довжини кодової послідовності підвищує продуктивність схеми, однак безпосередньо впливає на складність декодування. Збільшення кількості ітерацій підвищує продуктивність декодування однак впливає на швидкодію і відповідно обчислювальну складність декодування.

Література

1. Бойко Ю. Transmission of control information in 5G broadband telecommunication systems / Ю. Бойко, І. П'ятін, Л. Карпова, І. Пархомей // Адаптивні системи автоматичного управління. – 2021. – Т. 1. – № 38. – С. 82–95.
2. Shengli Z. OFDM Basics. OFDM for Underwater Acoustic Communications / Z. Shengli, W. Zhaohui. – USA : Wiley Telecom, 2014. – P. 23–38.
3. Prasad R. OFDM for Wireless Communications Systems / R. Prasad. – London : Artech House, Inc., 2004. – P. 292.
4. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. Скляр. – Москва : Вильямс, 2016. – 1104 с.
5. Бойко Ю. М. Теоретичні аспекти підвищення завадостійкості й ефективності обробки сигналів в радіотехнічних пристроях та засобах телекомунікаційних систем за наявності завад : монографія / Ю. М. Бойко, В. А. Дружинін, С. В. Толюпа. – Київ : Логос, 2018. – 227 с.
6. Бойко Ю. М. Дослідження ефективності алгоритмів канального кодування в захищених телекомунікаційних системах передавання інформації / Ю. М. Бойко, Д. А. Макаришкін, О. І. Пасічник // Зв'язок: загальногалуз. наук.-вироб. журн. – Київ, 2016. – № 5. – С. 56–67.
7. Narasimhamurthy A. OFDM Systems for Wireless Communications / A. Narasimhamurthy, M. Banavar, C. Terpedelenliouglu. – USA : Morgan & Claypool, 2010. – P. 78.
8. Пятін І. С. Моделювання цифрової системи зв'язку з завадостійким кодуванням / І. С. Пятін, В. В. Сергеев // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2017. – № 6. – С. 89–91.
9. Пятін І. С. Дослідження сигналів з багатопозиційною модуляцією / І. С. Пятін, В. В. Мішан, І. В. Вершкова // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2019. – № 1. – С. 88–96.

10. Пятін І.С. Дослідження каскадних кодів та турбокодів / І.С. Пятін, В.В. Мішан, Д.В. Вершков // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2018. – № 6, т. 1. – С. 85–91.
11. Zhurakovskiy B. Increasing the efficiency of information transmission in communication channels / B. Zhurakovskiy, J. Boiko, V. Druzhynin, I. Zeniv, O. Eromenko // Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. – 2020. – Т. 19. – № 3. – С. 1306–1315.
12. Zhurakovskiy B. Coding for information systems security and viability / B. Zhurakovskiy, S. Toliupa, S. Otrokh, V. Kuzminykh, H. Dudarieva, V. Zhurakovskiy // Інформаційні технології і безпека. – 2020. – Р. 71–84.
13. Бойко Ю. М. Формування та дослідження телекомунікаційної системи з каскадним кодуванням із використанням турбокодів / Ю. М. Бойко // Телекомунікаційні та інформаційні технології : наук. журн. / Держ. ун-т телекомунікацій. – Київ, 2016. – № 4. – С. 29–41.
14. Бойко Ю. М. Можливості турбокодів щодо підвищення енергетичного виграшу в каналах передавання інформації / Ю. М. Бойко // Зв'язок. – Київ, 2016. – № 2. – С. 16–25.

References

1. Boiko J. Transmission of control information in 5G broadband telecommunication systems / J. Boiko, I. Piatin, L. Karpova, I. Parkhomei // Adaptivni systemy avtomatichnoho upravlinnia. – 2021. – Т. 1. – № 38. – С. 82–95.
2. Shengli Z. OFDM Basics. OFDM for Underwater Acoustic Communications / Z. Shengli, W. Zhaohui. – USA : Wiley Telecom, 2014. – P. 23–38.
3. Prasad R. OFDM for Wireless Communications Systems / R. Prasad. – London : Artech House, Inc., 2004. – P. 292.
4. Sklyar B. Cifrovaya svyaz. Teoreticheskie osnovy i prakticheskoe primeneniye / B. Sklyar. – Moskva : Vilyams, 2016. – 1104 s.
5. Boiko J. M. Teoretychni aspekty pidvyshchennia zavodostiikosti y efektyvnosti obrobky syhna liv v radiotekhnichnykh prystro ia kh ta zasobakh telekomunikatsiinykh system za naiavnosti za vad : monohrafiia / J. M. Boiko, V. A. Druzhynin, S. V. Toliupa. – Kyiv : Lohos, 2018. – 227 s.
6. Boiko J. M. Doslidzhennia efektyvnosti alhorytmiv kanalnoho koduvannia v zakhyshchennykh telekomunikatsiinykh systemakh peredavannia informatsii / J. M. Boiko, D. A. Makaryshkin, O. I. Pasichnyk // Zviazok : zahalnohaluz. nauk.-vyrob. zhurn. – Kyiv, 2016. – № 5. – S. 56–67.
7. Narasimhamurthy A. OFDM Systems for Wireless Communications / A. Narasimhamurthy, M. Banavar, C. Tepedelenlioglu. – USA : Morgan & Claypool, 2010. – P. 78.
8. Piatin I. S. Modeliuvannia tsyfrovoy systemy zviazku z zavodostiikym koduvanniam / I. S. Piatin, V. V. Serheiev // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2017. – № 6. – S. 89–91.
9. Piatin I. S. Doslidzhennia syhna liv z bahatopozystsiiinoiu moduliatysieiu / I. S. Piatin, V. V. Mishan, I. V. Vershkova // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. – 2019. – № 1. – S. 88–96.
10. Piatin I.S. Doslidzhennia kaskadnykh kodiv ta turbokodiv / I. S. Piatin, V. V. Mishan, D. V. Vershkov // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2018. – № 6, t. 1. – S. 85–91.
11. Zhurakovskiy B. Increasing the efficiency of information transmission in communication channels / B. Zhurakovskiy, J. Boiko, V. Druzhynin, I. Zeniv, O. Eromenko // Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. – 2020. – Т. 19. – № 3. – С. 1306–1315.
12. Zhurakovskiy B. Coding for information systems security and viability / B. Zhurakovskiy, S. Toliupa, S. Otrokh, V. Kuzminykh, H. Dudarieva, V. Zhurakovskiy // Інформаційні технології і безпека. – 2020. – Р. 71–84.
13. Boiko J. M. Formuvannia ta doslidzhennia telekomunikatsiinoi systemy z kaskadnym koduvanniam iz vykorystanniam turbokodiv / J. M. Boiko // Telekomunikatsiini ta informatsiini tekhnolohii : nauk. zhurn. / Derzh. un-t telekomunikatsii. – Kyiv, 2016. – № 4. – S. 29–41.
14. Boiko J. M. Mozhylyvosti turbokodiv shchodo pidvyshchennia enerhetychnoho vyhrashu v kanalakh peredavannia informatsii / J. M. Boiko // Zviazok. – Kyiv, 2016. – № 2. – S. 16–25.

Рецензія/Peer review : 22.09.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.10.2021 р.

КОВТУН І. І.Хмельницький національний університет
ORCID ID: 0000-0002-1430-6479
e-mail: dr.igor.kovtun@gmail.com**БОЙКО Ю. М.**Хмельницький національний університет
ORCID ID: 0000-0003-0603-7827
e-mail: boiko_julius@ukr.net**КАРПОВА Л. В.**Хмельницький національний університет
ORCID ID: 0000-0001-5015-2107
e-mail: rtlesya@gmail.com**ПЕТРИШИН В. Ю.**

Хмельницький національний університет

ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ ПАРАМЕТРІВ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ

У роботі сформовано підходи до складання математичних моделей технологічного процесу конструювання радіоелектронних пристроїв. Представлено результати теоретичних досліджень, в частині вирішення проблеми технологічного проектування методики оперативної побудови математичних моделей процесів складання радіоелектронних пристроїв і вибору оптимальних параметрів їх частин. Дані рекомендації щодо впливу конструктивно-технологічних факторів на забезпечення стабільності параметрів радіоелектронних пристроїв. Досліджено практики використання принципів активного планового експерименту для цілей моделювання різноманітних технологічних процесів.

Ключові слова: радіоелектронний пристрій, технологічні параметри, математична модель, регресія, поліном.

KOVTUN IGOR I., BOIKO JULIY M., KARPOVA LESYA V., PETRYSHYN VOLODYMYR Y.
Khmelnitskyi National University

INFLUENCE OF DESIGN AND TECHNOLOGY FACTORS ON ENSURING STABILITY PARAMETERS FOR RADIO-ELECTRONIC DEVICES

The material presented in the article contains the results theoretical research, in terms of research and implementation in production technological design methods for the operational construction of mathematical models' assembly processes of electronic devices and the choice of optimal parameters of their parts. This technique is based on the statistical principles of active planned experiment, which are currently widely used in various fields of science and technology. The use of these principles, in contrast to traditional methods of conducting a passive experiment and processing the results obtained in this case, allows to drastically reduce the time and material costs for a reliable mathematical description of complex physical laws that underlie the processes of compiling modern electronic devices and choosing the parameters of the parts included in them. The proposed methodology provides for a modification of the principles of an active planned experiment, which can be used when working with electronic devices consisting of independent (explained in the text of the article), in a certain sense, functional units or cascades, the mutual influence of which on the operation of the device is known in advance. It allows you to create such statistically determined models of radio electronic devices that can significantly reduce the labour intensity and economic costs necessary for setting up an experiment. The selection of primary factors included in an active planned experiment should be based on a thorough analysis of the principles of operation and design features of assembly objects, the physical essence of a particular technological process, as well as a study of the experience of mass production and the results of previous research in the relevant areas of technology. The success of the entire active planned experiment and the possibility of effective use of the obtained mathematical model in the design and technological preparation of production almost completely depend on the successful choice of factors. The purpose of the article is related to the development of a technique for the rapid construction of mathematical models of the assembly processes of radio-electronic devices and the selection of the optimal parameters of their parts.

Keywords: electronic device, technological parameters, mathematical model, regression, polynomial.

Постановка проблеми

Фактична складність складання і налаштування сучасних радіоелектронних пристроїв (РЕП) багато в чому обумовлена вимогами до якості цих пристроїв і точністю технологічних параметрів його складових частин. Оперативний і цілеспрямований контроль точності складання, а, отже, і стійкості вихідних параметрів РЕП стає можливим тільки за наявності візуальних і повних математичних моделей відповідних технологічних процесів [1–4].

Матеріал представлений у статті представляє результати теоретичних досліджень, в частині вирішення проблеми впровадження у виробництво технологічного проектування методики оперативної побудови математичних моделей процесів складання РЕП і вибору оптимальних параметрів їх частин [5–7].

Ця методика заснована на статистичних принципах активного планового експерименту, які в даний час широко використовуються в різних галузях науки і техніки. Використання цих принципів, на відміну від традиційних методів проведення пасивного експерименту і обробки отриманих при цьому результатів, дозволяє різко скоротити час і матеріальні витрати на достовірний математичний опис складних фізичних законів, що лежать в основі процесів складання сучасних РЕП і вибору параметрів включених в них деталей.

Запропонована методика передбачає модифікацію принципів активного планового експерименту, яка може застосовуватися при роботі з РЕП, що складаються з незалежних (пояснюється в тексті статті) в певному сенсі функціональних вузлів або каскадів, взаємний вплив яких на роботу пристрою відомий заздалегідь. Вона дає можливість створювати такі статистично визначені моделі РЕП, які дозволяють значно знизити трудомісткість і економічні витрати, необхідні для постановки експерименту [1].

Мета статті пов'язана із розробкою методики для швидкої побудови математичних моделей процесів складання РЕП і вибору оптимальних параметрів їх деталей.

Аналіз останніх джерел

Під математичною моделлю технологічного процесу складання розуміється такий його математичний опис, який з необхідною для даних виробничих умов точністю відображає закономірності формування виробу, що збирається, і (або) його вихідних контрольованих характеристик [6].

В цілому, математична модель збірки може бути представлена як:

$$y = F(q_i), \quad (1)$$

де y – модельована вихідна характеристика об'єкту (процесу) складання, наприклад, потужність вихідного сигналу, його частота, механічні напруження в деталях та ін.; q_i – первинні конструктивно-технологічні фактори, які визначають вихідну характеристику, яка моделюється ($i = 1, 2 \dots n$); F – функціонал, тобто математичний символ перетворення, зумовлений конкретним видом математичної моделі.

В даний час існує досить умовний поділ математичних моделей технологічних процесів, в тому числі процесів складання, на детерміновані і статистичні (імовірнісні) [8–10].

Детерміновані моделі будуються на основі теоретичного опису однозначних функціональних взаємозв'язків між вихідними характеристиками об'єктів (процесів) складання і первинними структурно-технологічними факторами. Ці математичні моделі часто є системами алгебраїчних і (або) диференціальних рівнянь. Детерміновані математичні моделі складання дозволяють ще на етапі проектування РЕП отримати найбільш загальні для цілого класу виробів конструктивно-технологічні рішення в частині обґрунтованого вибору методів управління точністю розглянутих технологічних процесів.

Найпростішим прикладом детермінованої математичної моделі збірки є рівняння розмірного ланцюга, що дозволяє прогнозувати точність отримання останньої ланки як в партії виробів, так і для кожного конкретного екземпляра складальної одиниці, і знаходити за необхідності необхідну величину і напрямки компенсації сумарної похибки.

Детермінований підхід до побудови математичних моделей збірки РЕП пов'язаний з необхідністю теоретичного опису процесів, що в них протікають, може потребувати неприпустимо великих витрат часу на технологічне проектування. Статистичні моделі технологічних процесів складання в загальному випадку є математичним описом зв'язків між параметрами законів розподілу вихідних характеристик виробів, які складаються та параметрами законів розподілу первинних конструктивно-технологічних факторів.

Прикладами первинних конструктивно-технологічних факторів стосовно завдань моделювання процесів складання можуть служити розмірно-геометричні та функціонально-фізичні параметри складових частин виробів, які складаються з чистоти обробки поверхні, зусилля запресовування, притиску і т.д.

Статистичні моделі технологічних процесів складання зазвичай подаються у вигляді рівнянь регресії або автокореляційних функцій [10].

Детермінований і статистичний підхід до побудови математичних моделей збірки не тільки не виключають один одного але, навпаки, органічно пов'язані між собою, так як достовірність детермінованих моделей зазвичай підтверджується статистичною обробкою експериментальних даних, а статистичні моделі формуються з урахуванням теоретичних передумов про фізичну сутність того чи іншого технологічного процесу [5].

Найбільш відомим статистичним методом побудови математичних моделей технологічних процесів є апарат множинної кореляції, який досить ефективно зарекомендував себе в умовах масового і крупносерійного виробництва.

Застосування методу множинної кореляції дозволяє, як правило, представити математичну модель процесу складання в наочній формі лінійного полінома (ряду):

$$y = A_0 + A_1 q_1 + A_2 q_2 + \dots + A_n q_n, \quad (2)$$

де y – характеристика технологічного процесу або об'єкту складання, яка моделюється; q_n – первинні конструктивно-технологічні фактори $A_0 + A_1 q_1 + A_2 q_2 + \dots + A_n q_n$ – постійні для даного процесу або об'єкту складання коефіцієнти, які розраховуються за результатами статистичної обробки експериментальних даних.

При використанні вказаного методу для кожного i -го первинного фактору та модельованої вихідної характеристики « y » необхідно мати зазвичай не менше 50–100 пар спостережних значень, отриманих шляхом реалізації масивного експерименту.

За малої серійності випуску РЕП, а також неможливості побудови представницьких кореляційних полів в межах технологічного розкиду таких первинних факторів, як чистота обробки поверхонь, зу силля притиску деталей і т.д., істотно ускладнюється використання методу множинної кореляції для цілей оперативної побудови моделей, які цікавлять нас, навіть в умовах налагодженого виробництва РЕП.

Розглянутий метод побудови математичних моделей принципово непридатний на етапах відпрацювання конструкції нових виробів, підготовки їх серійного випуску, тобто за відсутності необхідних представницьких статистичних даних.

Вказаних принципіальних недоліків практично позбавлені статистичні методи активного планового експерименту (АПЕ), які набули поширення на даний час в різних галузях науки та техніки.

Методика проведення повного факторного експерименту типу 2^k . Практика використання принципів АПЕ для цілей моделювання різноманітних технологічних процесів, в тому числі і процесів складання розглянутих РЕП, показує, що при відносно невеликих варіаціях первинних конструктивно-технологічних факторів для адекватної апроксимації невідомої нам функції виду (1) можна обмежитися неповним квадратичним поліномом.

$$y = B_0 + \sum_{i=1}^k B_i q_i + \sum_{i \neq j}^k B_{ij} q_i q_j \quad (3)$$

Для побудови математичних моделей процесів складання в формі (3) найбільш ефективним є АПЕ, в якому первинні конструктивно-технологічні чинники q_i варіюються тільки на двох рівнях. АПЕ, у якому фактори q_i варіюються тільки на двох рівнях, називається повним факторним експериментом (ПФЕ) типу 2^k .

Для реалізації вказаного ПФЕ та розрахунку коефіцієнтів « B » полінома (3) необхідно провести не більше N дослідів, причому:

$$N = 2^k. \quad (4)$$

Кількість коефіцієнтів « B » моделі (3), які розраховуються за результатами проведення ПФЕ типу 2^k , також дорівнює N . Первинні фактори q_i , що включаються в ПФЕ типу 2^k , відбираються з урахуванням проведеного ретельного аналізу принципів дії і конструктивних особливостей об'єктів складання, фізичної сутності того чи іншого технологічного процесу, а також на основі вивченого досвіду серійного виробництва і результатів раніше проведених досліджень у відповідних областях технології.

При цьому для кожного фактору визначається, виходячи з поставленого завдання, його можливе в даному АПЕ максимальне і мінімальне значення.

Для формалізації правил проведення ПФЕ типу 2^k та полегшення процедури обчислення коефіцієнтів « B » полінома (3) первинні конструктивно-технологічні фактори кодуються в безрозмірну форму.

В кодованих значеннях первинних факторів шукана математична модель набуває вигляду:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i \neq j} b_{ij} x_i x_j, \quad (5)$$

де b_0, b_i, b_{ij} – коефіцієнти моделі, записаної в кодованих значеннях факторів; x_i – кодоване (безрозмірне) значення i -го первинного конструктивно-технологічного фактору.

При цьому:

$$x_i = \frac{q_i - q_{oi}}{J_{qi}} \quad (6)$$

$$J_{qi} = \frac{1}{2} (q_{imax} - q_{imin}) \quad (7)$$

$$q_{oi} = \frac{1}{2} (q_{imax} + q_{imin}) \quad (8)$$

де q_{imax} – максимальне значення i -го первинного фактору (верхній рівень фактору); q_{imin} – мінімальне значення i -го первинного фактору (нижній рівень фактору); J_{qi} – інтервал (крок) варіювання i -го первинного фактору; q_{oi} – середнє (номінальне) значення i -го фактору, тобто його основний рівень.

Якщо первинні конструктивно-технологічні фактори варіюються відповідно до граничних допустимих відхилень на розмірно-геометричні та функціонально-фізичні параметри складових частин РЕП, то

$$J_{qi} = \frac{1}{2} \delta_{qi}, \quad (9)$$

де δ_{qi} – поле допуску на відповідний параметр (фактор). При цьому величина q_{oi} співпадає з координатою середини поля допуску.

Зі співвідношень (6)–(9) випливає, що при будь-якій розмірності первинних факторів q_i , тобто незалежно від фізичної сутності об'єкта, що моделюється і (або) процесу збирання:

$$\left. \begin{aligned} x_{imax} &= +1 \\ x_{imin} &= -1 \\ x_{oi} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

де $x_{imax}, x_{imin}, x_{oi}$ – відповідно кодовані значення верхнього, нижнього та основного рівня первинних конструктивно-технологічних факторів.

Для якісних факторів звичайно порядок рівнів не має значення, тобто один з них довільно позначається $+1$, а другий -1 .

Після відбору первинних факторів q_i , які включаються в даний ПФЕ типу 2^k , дані про їх рівні та інтервали варіювання необхідно звести в спеціальну таблицю, форма заповнення якої ілюструється таблицею 1.

Таблиця 1

Вихідні дані первинних конструктивно-технологічних факторів, які включаються в ПФЕ типу 2^k

№ з/п	Найменування, позначення і розмірність фактору	Рівні факторів			Інтервал варіювання I_{ai}
		Верхній $q_{imax}(+1)$	Нижній $q_{imin}(-1)$	Основний $q_{oi}(0)$	
	2	3	4	5	6
1	$q_1(x_1)$				
2	$q_2(x_2)$				
...
i	$q_i(x_i)$				
...
k	$q_k(x_k)$				

Формалізована стратегія проведення ПФЕ типу 2^k представляється у вигляді матриці, правила заповнення якої на прикладі 3-х первинних факторів, тобто коли у відповідності з формулою (4) $N=8$, ілюструється табл. 2.

Насамперед, заповнюється стовпець фіктивної змінної $x_0 = +1$, яка не впливає на результати проведення ПФЕ і необхідної лише для обчислення коефіцієнта b_0 полінома.

Заповнюються стовпці кодіваних факторів x_1, x_2, x_3 які безпосередньо приймають участь в реалізації ПФЕ. Для x_1 знаки при одиниці чергуються через один; для x_2 – через два; для x_3 – через чотири. У загальному випадку для « K » факторів чередування знаків при одиниці у кожному стовпці x_i ведеться по ступеням 2^{i-1} , ($i=1,2,\dots,k$).

Таблиця 2

Матриця ПФЕ 2^3

№ досл.	x_0	План			Впливи				Експеримент			Розрахунк. дані			
		x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y_{u1}	y_{u2}	y_{um}	\bar{y}_u	$\delta^2(y_u)$	\hat{y}_u	Δy
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	y_{11}	y_{12}	y_{1m}	\bar{y}_1	$\delta^2(y_1)$	\hat{y}_1	Δy_1
2	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	y_{21}	y_{22}	y_{2m}	\bar{y}_2	$\delta^2(y_2)$	\hat{y}_2	Δy_2
3	+1	+1	-1	-1	-1	+1	-1	-1	y_{31}	y_{32}	y_{3m}	\bar{y}_3	$\delta^2(y_3)$	\hat{y}_3	Δy_3
4	+1	-1	-1	-1	+1	-1	-1	+1	y_{41}	y_{42}	y_{4m}	\bar{y}_4	$\delta^2(y_4)$	\hat{y}_4	Δy_4
5	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	y_{51}	y_{52}	y_{5m}	\bar{y}_5	$\delta^2(y_5)$	\hat{y}_5	Δy_5
6	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	y_{61}	y_{62}	y_{6m}	\bar{y}_6	$\delta^2(y_6)$	\hat{y}_6	Δy_6
7	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	y_{71}	y_{72}	y_{7m}	\bar{y}_7	$\delta^2(y_7)$	\hat{y}_7	Δy_7
8	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	-1	y_{81}	y_{82}	y_{8m}	\bar{y}_8	$\delta^2(y_8)$	\hat{y}_8	Δy_8

Стовпці взаємодій факторів ($x_1x_2, x_1x_3, x_2x_3, x_1x_2x_3$ в табл. 2) отримуються простим формальним перемноженням символів +1 і -1 для x_i у кожному u -му рядку матриці.

З метою спрощення записів при формуванні матриць ПФЕ типу 2^k замість кодіваних значень факторів +1 і -1, а також їх взаємодій зазвичай використовуються відповідні їм позначення «+» або «-», а стовпець фіктивної змінної $x_0 = +1$ умовно опускається.

Можливі поєднання рівнів +1 і -1 утворюють вершини квадрата ($N = 4$), всередині якого і розташована область даного експерименту. Для $K=3$ область експерименту обмежується вершинами куба ($N=8$).

У загальному випадку (при $K>3$) для геометричного визначення області експерименту, в якій будуватиметься цікавий для нас математичний опис процесу (об'єкта) складання, вводиться умовне поняття гіперкуба ($N>8$).

Матриці ПФЕ типу 2^k задовольняють цілому ряду умов, виконання яких повинно обов'язково перевірятися в кожному конкретному випадку.

Умова симетричності матриць ПФЕ типу 2^k записується як:

$$\sum_{u=1}^n x_i u = 0, \quad (11)$$

де u – номер дослідження (рядка) ($u = 1, 2, \dots, N$); i – номер первинного фактору ($i = 1, 2, \dots, k$), тобто номер стовпця x_i .

Виконання умови [4] означає, що алгебраїчна сума елементів кожного стовпця повинна дорівнювати нулю, тобто кількість символів +1 має дорівнювати кількості символів -1 в кожному стовпці x_i .

Умова нормування матриць ПФЕ типу 2^k має вигляд:

$$\sum_{u=1}^N x_i^2 u = N \quad (12)$$

Виконання умови (12) обумовлюється тим, що елементами кожного i -го стовпця ПФЕ типу 2^k є символи $+1$ і -1 .

Умова ортогональності матриць ПФЕ типу 2^k записується як

$$\sum_{u=1}^N x_{iu} x_{ju} = 0; \quad (13)$$

де під i і j розуміються номери факторів (стовпців).

Умова (13) має задовольнятися і для взаємодій факторів вищого порядку (наприклад, потрійного $x_1 x_2 x_3$ – в табл. 2).

Реалізація ПФЕ, подібно наданому в табл. 2 означає, що в першому досліді первинні конструктивно-технологічні фактори встановлюються на рівнях $q_{1\max}$, $q_{2\max}$, $q_{3\max}$ після чого вимірюється модельована характеристика «у» об'єкту (процесу) складання; у другому досліді реалізуються рівні факторів $q_{1\min}$, $q_{2\max}$, $q_{3\max}$, в третьому досліді – $q_{1\max}$, $q_{2\min}$, $q_{3\max}$ і т.д. у відповідності з кодованими значеннями факторів $+1$ і -1 в кожному рядку матриці.

Для наступної оцінки впливу неврахованих конструктивно технологічних факторів i (або випадкових перешкод кожен дослід ($u = 1, 2, \dots, N$) відтворюються m разів.

Для виключення впливу на результати експерименту помилок, викликаних зовнішніми умовами, наприклад, зміною в часі температури навколишнього середовища, дрейфом параметрів вимірювальної установки, можливими варіаціями хімічного складу однієї і тієї ж марки технологічного матеріалу і т.д., досліді необхідно рандомізувати в часі [10].

Рандомізація порядку проведення дослідів АПЕ забезпечується шляхом використання таблиці випадкових чисел. Наприклад, для ПФЕ 2^8 ($N = 8$) в будь-якому випадковому місці цієї таблиці, нехай це буде в даному випадку 5-й рядок 3-го стовпця, послідовно вписуються числа з 1 по 8 з відкиданням чисел більше 8 і вже вписаних. У кожному прикладі виходить така послідовність: 8, 5, 2, 1, 3, 7, 4, 6. Це означає, що першим реалізується досвід № 8, другим – досвід № 5, третім – дослід № 2 і т.д.

При проведенні ПФЕ типу 2^k на вже існуючій в розпорядженні дослідника детермінованій математичній моделі об'єкта i (або) процесу збирання під реалізацією u -го досліді розуміється результат обчислення вихідної характеристики «у» і функції фактичних значень $q_{i\max}$ і $q_{i\min}$ для кожної u -ї комбінації цих первинних факторів. Очевидно, що в подібних випадках реалізацій ПФЕ нема необхідності рандомізувати такі умовні досліді.

Первинні конструктивно-технологічні чинники повинні відповідати вимозі сумісності. Іншими словами, всі можливі в даному АПЕ комбінації рівнів первинних факторів повинні бути здійснені без порушення фізичної цілісності об'єктів складання і прийнятними з точки зору техніки безпеки.

Від вдалого вибору факторів практично повністю залежить успіх проведення всього АПЕ і можливість ефективного використання отриманої математичної моделі при конструкторській та технологічній підготовці виробництва.

Висновки

У статті розглянуто вплив конструктивно-технологічних факторів на забезпечення стабільності параметрів радіоелектронних пристроїв. Сформовано вимоги до формалізованої стратегії проведення ПФЕ типу 2^k . Дані рекомендації щодо встановлення вихідних даних первинних конструктивно-технологічних факторів, які включаються в ПФЕ типу 2^k . Встановлено, що первинні фактори q_i , що включаються в ПФЕ типу 2^k , відбираються з урахуванням проведеного ретельного аналізу принципів дії і конструктивних особливостей об'єктів складання, фізичної сутності того чи іншого технологічного процесу, а також на основі вивченого досвіду серійного виробництва і результатів раніше проведених досліджень у відповідних областях технології РЕА.

Література

1. Петрушин В.Н. Планирование экспериментального исследования трудоёмкости алгоритмов на основе бета-распределения / В.Н. Петрушин, М.В. Ульянов // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2008. – № 2. – С. 81–91.
2. Блинова Е.И. Планирование и организация эксперимента / Е.И. Блинова. – Минск : БГТУ, 2010. – 130 с.
3. Монтгомери Д.К. Планирование эксперимента и анализ данных / Д.К. Монтгомери. – Ленинград : Судостроение, 1980. – 380 с.
4. Джонсон Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы обработки данных / Н. Джонсон. – Москва : Мир, 1981. – 520 с.
5. Кислий В.М. Організація наукових досліджень : навч. посібник / В.М. Кислий. – Суми : Університетська книга, 2011. – 224 с.

6. Засименко В.М. Основи теорії планування експерименту : навч. посібник / В.М. Засименко. – Львів : Видав. ДУ «ЛП», 2000. – 205 с.
7. Важинський С.Е. Методика та організація наукових досліджень : навч. посіб. / С. Е. Важинський, Т. І. Щербак. – Суми : СумДПУ імені А. С. Макаренка, 2016. – 260 с.
8. Kovtun I., Boiko J., Petrashchuk S. Nondestructive strength diagnostics of solder joints on printed circuit boards. 2017 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo). IEEE, 2017. P. 1–4.
9. Kovtun I., Boiko J., Petrashchuk S., Kałaczyński T. Theory and practice of vibration analysis in electronic packages. MATEC Web of Conferences. EDP Sciences, 2018. T. 182. C. 02015.
10. Бойко Ю. М. Науково-прикладні питання забезпечення роздільної здатності і ефективності обробки сигналів у радіотехнічних та телекомунікаційних системах за наявності завод : монографія / Ю. М. Бойко, О. М. Шинкарук, Л. В. Карпова, І. І. Чесановський. – Хмельницький : ХНУ, 2019. – 218 с.

References

1. Petrushin V.N. Planirovanie eksperimentalnogo issledovaniya trudoyomkosti algoritmov na osnove beta-raspredeleniya / V.N. Petrushin, M.V. Ulyanov // Informacionnye tehnologii i vychislitelnye sistemy. – 2008. – № 2. – S. 81–91.
2. Blinova E.I. Planirovanie i organizaciya eksperimenta / E.I. Blinova. – Minsk : BGTU, 2010. – 130 s.
3. Montgomeri D.K. Planirovanie eksperimenta i analiz dannyh / D.K. Montgomeri. – Leningrad : Sudostroenie, 1980. – 380 s.
4. Dzhonson N. Statistika i planirovanie eksperimenta v tehnike i nauke. Metody obrabotki dannyh / N. Dzhonson. – Moskva : Mir, 1981. – 520 s.
5. Kyslyi V.M. Orhanizatsiia naukovykh doslidzhen : navch. posibnyk / V.M. Kyslyi. – Sumy : Universytetska knyha, 2011. – 224 s.
6. Zasyenko V.M. Osnovy teorii planuvannya eksperymentu : navch. posibnyk / V.M. Zasyenko. – Lviv : Vydav. DU «LP», 2000. – 205 s.
7. Vazhynskiy S.E. Metodyka ta orhanizatsiia naukovykh doslidzhen : navch. posib. / S. E. Vazhynskiy, T. I. Shcherbak. – Sumy : SumDPU imeni A. S. Makarenka, 2016. – 260 s.
8. Kovtun I., Boiko J., Petrashchuk S. Nondestructive strength diagnostics of solder joints on printed circuit boards. 2017 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo). IEEE, 2017. R. 1–4.
9. Kovtun I., Boiko J., Petrashchuk S., Kałaczyński T. Theory and practice of vibration analysis in electronic packages. MATEC Web of Conferences. EDP Sciences, 2018. T. 182. S. 02015.
10. Boiko Yu. M. Naukovo-prykladni pytannia zabezpechennia rozdilnoi zdatnosti i efektyvnosti obrobky syhnaliv u radiotekhnichnykh ta telekomunikatsiynnykh systemakh za naiavnosti zavod : monohrafiia / Yu. M. Boiko, O. M. Shynkaruk, L. V. Karpova, I. I. Chesanovskiy. – Khmelnytskyi : KhNU, 2019. – 218 s.

Рецензія/Peer review : 23.09.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.10.2021 р.

МАРТИНЮК О. Р., ЯШИНА О. М., РАДЕЛЬЧУК Г. І., КУСТОВСЬКИЙ Р. С.
Хмельницький національний університет

ПОРІВНЯННЯ ПРОГРАМНИХ МЕТРИК ДЛЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ПРОГРАМНИХ ПРОДУКТІВ

У статті наведено результати досліджень різних типів метрик програмного забезпечення та конкретних представників даних типів. Описано сферу їх застосування та зручність використання як при оцінці якості готового продукту, так і на стадії розробки.

Ключові слова: управління якістю, контроль якості, програмне забезпечення, метрика програмного забезпечення, програмний продукт.

MARTYNIUK OLEKSANDR R., YASHYNA OKSANA M.,
RADELCHUK GALYNA I., KUSTOVSKYI ROMAN S.
Khmelnytskyi National University

COMPARISON OF SOFTWARE METRICS FOR QUALITY ESTIMATION OF THE SOFTWARE PRODUCTS

There is a well known principle, that you can manage only what you can measure – therefore adequate measurement and estimation of different elements in any engineering area is a very important development factor, and software engineering is not an exception. Software metrics represent numeric values of software characteristics and are used for analysis of different aspects of the product in order to predict possible problems. Software metrics can be applied to any stage of the software life cycle. For instance, on a stage of requirement analysis and the problem formulation, these metrics help to estimate the required amount of work and, respectively, the amount of financial and work resources. In addition, the metrics can be used directly in estimation of the program code complexity to assess its performance, effectiveness and the ability to modify it if needed. Software metrics are an important part of the whole software quality management process as they can be easily automated and applied in order to achieve some valuable technical characteristics. Moreover, they can be combined with another quality management tools and are a beneficial addition to any software product development model. In general, measuring the attributes of software during any phase of development gives a number of beneficial results to the developers as it helps to use the time, finances and effort effectively. This is achieved because of early problems identification, estimation and prevention and because of that the size, cost, quality and simplicity of the maintenance of the product is always under control. This article describes the results of research on different software metrics types and the actual representatives of these types. It assesses the usage area and the convenience of its usage on evaluating the quality of both a finished product and a product in the development stage.

Keywords: quality management, quality control, software, software metric, software product.

Вступ. Постановка проблеми

Адекватне вимірювання та оцінка різних елементів у будь-якій галузі інженерії є важливим фактором розробки. Інженерія програмного забезпечення не є виключенням, оскільки загальновідомим є принцип – керувати можна лише тим, що можна виміряти.

Метрики програмного забезпечення (ПЗ) представляють собою чисельні значення характеристик ПЗ та використовуються для аналізу різних аспектів продукту з метою передбачення можливих проблем. Програмні метрики можуть бути використані на будь-якому етапі життєвого циклу ПЗ. Наприклад, на етапі аналізу вимог та постановки задачі, метрики допомагають оцінити необхідний обсяг робіт та, відповідно, фінансові і трудові ресурси. Також метрики можуть використовуватись безпосередньо для оцінки складності програмного коду, для аналізу його швидкодії, ефективності та можливості адаптації у разі необхідності. Програмні метрики є важливою частиною всього процесу управління якістю ПЗ, оскільки вони можуть бути легко автоматизовані та застосовані з метою досягнення важливих технічних характеристик. Більше того, вони можуть бути поєднані з іншими засобами управління якістю і є корисним доповненням до моделі розробки будь-якого ПЗ.

Загалом, вимірювання характеристик ПЗ на будь-якій стадії розробки приносить низку корисних результатів для розробників, оскільки допомагає ефективно використовувати час, фінанси та зусилля. Це досягається шляхом раннього розпізнання, оцінки та запобігання проблемам; за рахунок цього розмір, вартість, якість та простота підтримки продукту завжди буде під контролем.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Основою дослідження є праці науковців у сфері управління якістю ПЗ, управління проектами ПЗ та міжнародні стандарти серії ISO/IEC щодо оцінки і вимірювання якості програмних продуктів. Згідно з дослідженнями, які описані у працях [1, 2], оцінка та забезпечення якості ПЗ є широкою темою, тому існує багато різних підходів до оцінки якості програмних продуктів. Загалом, поняття якості трактується як ступінь відповідності кінцевого продукту вимогам замовника. У галузі ПЗ визначені наступні основні критерії якості [3]:

- правильність;
- ефективність;
- цілісність;
- зручність використання;

- зручність підтримки;
- гнучкість;
- зручність тестування;
- можливість повторного використання.

У процесі розробки програмного продукту враховуються усі важливі критерії та їх пріоритети, у результаті чого підбирається модель управління якістю ПЗ, яка передбачає використання конкретних принципів розробки, метрик та методів тестування.

Метою роботи є порівняння та аналіз метрик програмного забезпечення і типів, до яких вони відносяться, на предмет сфери застосування та зручності використання.

Виклад основного матеріалу

Метрики програмного забезпечення – це стандартизовані вимірювання певних характеристик програмної системи чи процесу з метою визначення їх ступеня та міри впливу на продукт у цілому. Метою обрахунку програмних метрик є отримання об'єктивних та зрозумілих вимірювань для подальшого використання при плануванні бюджету, плану розробки, тестуванні, оптимізації та документації ПЗ [4]. Застосування метрик надає низку переваг для розробників, оскільки це спрощує прийняття вагомих рішень щодо архітектури програмного продукту, використання тих чи інших фреймворків, мов програмування тощо. Також це дозволяє швидко розпізнавати та усувати можливі несправності продукту, дає чітке і повне розуміння швидкодії програми та шляхи її оптимізації.

Тим не менше, оскільки процес проектування та розробки програмного продукту є доволі складним і комплексним, метрики ПЗ виступають лише інструментом при аналізі проекту спеціалістом та мають певні обмеження. Наприклад, застосування метрик не завжди є простим процесом, в багатьох випадках це складно та дорого; окрім того, кожен проект є унікальним. Саме тому загальновідомі метрики можуть бути використані лише для вимірювання базових характеристик програмного коду, а для глибшого аналізу слід розробити метрику конкретно для даного програмного продукту.

Метрики програмного забезпечення є емпіричними, а тому не покривають весь спектр атрибутів коду і відображають не абсолютну оцінку ПЗ, а лише ймовірність виникнення проблем та збоїв [5].

Методологія даного дослідження полягає у використанні наступних критеріїв порівняння метрик ПЗ:

- основна ідея метрики та галузь її застосування;
- простота реалізації та гнучкість використання;
- основні переваги та недоліки метрик ПЗ.

Класифікація розглянутих у даній статті програмних метрик представлена на рис. 1.

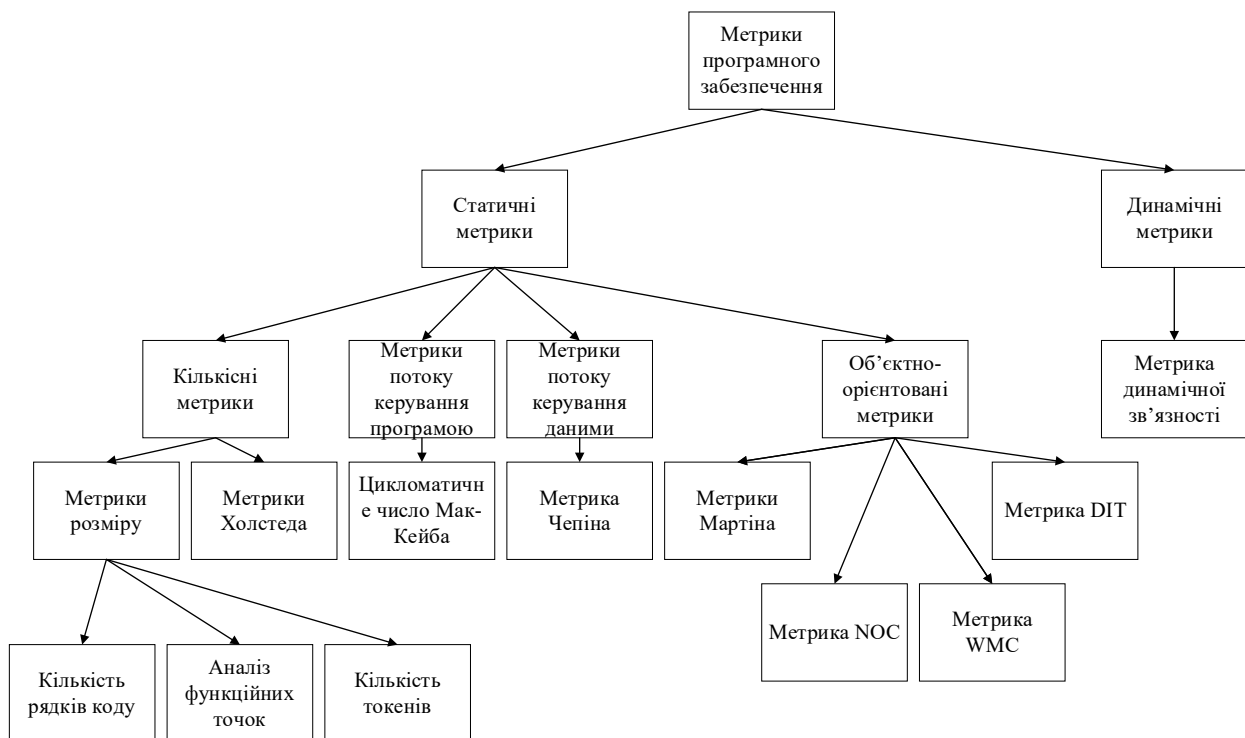


Рис. 1. Класифікація метрик програмного забезпечення

У сучасних комплексних проектах знаходять своє застосування представники всіх типів програмних метрик, однак кожна з них має свої особливості застосування та може трактуватись по-різному, залежно від специфіки конкретного програмного продукту.

Метрика динамічної зв'язності (Dynamic Coupling Metric – DCM) використовується для вимірювання зв'язності між парою об'єктів чи класів під час роботи програмної системи [6]. Перевагою цієї

метрики є інформативність, оскільки її можна використовувати на рівні модулів та виміряти ступінь залежності між цими модулями. До недоліків метрики відноситься складність використання та неможливість її застосування на ранніх етапах розробки ПЗ, оскільки у наявності має бути робоча система з відомою архітектурою.

Кількість рядків коду (Source Lines of Code – SLoC) – це метрика розміру програмного продукту, основна ідея якої полягає у підрахунку кількості рядків коду, без врахування коментарів та порожніх рядків [7]. Ця метрика розроблена для оцінки зусиль, витрачених на розробку програмного модуля та для порівняння продуктивності розробників. Метрика SLoC є однією з найпростіших і ранніх метрик, тому вона має низку обмежень. Основними з цих обмежень є те, що одна й та сама функціональність може бути як записана в один рядок, так і розбита на декілька; також потрібно враховувати специфіку окремих мов програмування. Враховуючи це, дану метрику не можна вважати гнучкою, проте вона є простою у реалізації та має широку галузь застосування. Розрізняють два типи рядків – фізичні та логічні; фізичні рядки представляють кількість усіх рядків коду, а логічні – кількість команд програми.

Кількість токенів (Token Count) – концепція цієї метрики полягає у тому, щоб розглядати програму як колекцію токенів. Токенами вважаються унікальні оператори та операнди, і вся логіка роботи програми може бути визначена за допомогою цих базових конструкцій [1]. Розмір програми вважається сумою кількості унікальних операторів та кількості унікальних операндів. Метрика Token Count має широку галузь застосування, оскільки вона може бути інтегрована у будь-який проект. Проте ця метрика не враховує специфіки архітектури конкретної програмної системи, а тому вона може використовуватись лише як додатковий інструмент, а не як самостійний критерій оцінки ПЗ.

Аналіз функціональних точок (Function Point) – виражає обсяг бізнес-логіки ПЗ за допомогою аналізу функцій та модулів системи. Усі функції програми розподіляються на п'ять типів: функції введення, функції виведення, запити, функції роботи з файлами та зовнішні інтерфейси. Після розподілу на категорії проводиться аналіз алгоритмічної складності кожної функції, на основі чого формується розмір програмного продукту [2]. Перевагою цієї метрики є її універсальність – результати оцінки не залежать від мови програмування та архітектури додатку; проте ця метрика є доволі складною у використанні.

Метрики Холстеда (Halstead Metrics) також відносяться до кількісних метрик, проте вони відображають значно більше інформації у порівнянні з попередніми метриками. Цей метод передбачає підрахунок загальної кількості операторів, загальної кількості операндів, кількості унікальних операторів та кількості унікальних операндів; за допомогою цих показників розраховуються значення розміру програми, розміру словника, складність програми, обсяг зусиль тощо [1]. До переваг Halstead Metrics можна віднести відносну простоту використання та універсальність, оскільки ці метрики не залежать ні від мови програмування, ні від складності алгоритму, що описується. До недоліків метрик Холстеда можна віднести те, що вони є статичними, тому вони обраховуються безпосередньо за допомогою коду, і, отже, не відображають атрибути програмної системи під час її виконання.

Найпоширенішим представником **метрик потоку керування програмою** є цикломатична складність програми, або **циклوماتичне число Мак-Кейба** (McCabe's Cyclomatic Metric). Концепція цієї метрики полягає у представленні програми як зв'язного орієнтованого графа, вузли якого відображають частини вихідного коду, а ребра – потік керування, який виконується під час роботи програми. Цикломатичне число рівне числу лінійно незалежних шляхів роботи програми у його відображенні за допомогою графа. Ця метрика описує складність роботи програми та число можливих відгалужень алгоритму роботи під час її виконання.

Метрика Чепіна (Chapin's Metric) – метрика **потоку керування даними**, суть якої полягає в оцінці інформаційної єдності окремо взятого програмного модуля за допомогою аналізу використання змінних введення та виведення. При цьому змінні поділяються на чотири типи: вхідні змінні, створені змінні, керуючі змінні та паразитні змінні. Ця метрика є доволі корисною при аналізі програмних модулів на оптимальність роботи з даними, проте її складно обчислити, а поділ змінних потребує від розробника додаткового аналізу.

Широкого використання набувають **об'єктно-орієнтовані метрики**, оскільки об'єктно-орієнтована парадигма програмування на сьогодні є досить поширеною. Серед цих метрик можна виділити наступні. **Метрики Мартіна** (Martin's Metrics) допомагають оцінити рівень нестабільності класу, рівень абстракції та залежність нестабільності класу від його абстракції. **Метрика WMC** (Weighted Methods per Class) представляє собою сумарну складність усіх методів класу, **метрика DIT** (Depth of Inheritance Tree) – глибину дерева наслідування, **метрика NOC** (Number of children) – кількість класів, що наслідують даний [8].

Об'єктно-орієнтовані метрики дають змогу оцінити оптимальність описаних класів та інтерфейсів з метою забезпечення хорошого рівня абстракції та зв'язності між об'єктами класів, однак ці метрики є вузькоспеціалізованими і можуть бути використані лише при аналізі ПЗ у межах об'єктно-орієнтованої парадигми програмування.

В цілому очевидно, що для управління якістю конкретного програмного продукту не можна обмежуватись використанням однієї метрики чи одного типу метрик, оскільки вони покликані вирішувати різні завдання проектування ПЗ. Частина програмних метрик є універсальними, а інші використовуються лише при розробці програм у певній парадигмі програмування. Тому оптимальним підходом є комбінування різних програмних метрик та розробка власних при потребі глибшої та якіснішої оцінки якості ПЗ.

Висновки

У дослідженні виконано порівняння та аналіз різних типів метрик ПЗ та конкретних представників цих типів на предмет галузі застосування, концепції окремих метрик, а також зручності та гнучкості використання. Визначені основні переваги та недоліки метрик ПЗ при використанні у проєктах та особливості їх реалізації.

За результатами дослідження встановлено, що жодна метрика не може вирішити завдання виміру якості програмного продукту у повній мірі, а тому оптимальним є використання різних типів метрик для отримання детальної оцінки ПЗ. Підхід, який полягає у поєднанні різних програмних метрик залежно від парадигми, архітектури, а також етапу життєвого циклу ПЗ, дозволяє досягати високої якості програмного продукту.

Література

1. A Study of Software Metrics. ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/322070697/_A_Study_of_Software_Metrics
2. Analysis of Software Quality Using Software Metrics. URL: https://www.researchgate.net/publication/328830202_Analysis_of_Software_Quality_Using_Software_Metrics
3. Software Quality Factors and Software Quality Metrics. URL: https://www.researchgate.net/publication/263582173_Software_Quality_Factors_and_Software_Quality_Metrics_to_Enhance_Software_Quality_Assurance
4. Galin D. Software quality. Concepts and practice. Publisher: Wiley-IEEE Press, 2018. 720 p.
5. Garst Smith Howard T. Software quality assurance: A guide for developers and auditors. Publisher: CRC Press Inc, 2020. 480 p.
6. Suryn W. Software quality engineering. A practitioner's approach. Publisher: Wiley-IEEE Computer Society Pr, 2014. 208 p.
7. ISO/IEC 25023:2016 Systems and software engineering – Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – Measurement of system and software product quality. ISO.org. URL: <https://www.iso.org/ru/standard/35747.html>
8. Рыжков Е. Программный код и его метрики [Электронный ресурс] / Е. Рыжков // Веб-портал Хабр. – Режим доступа : <https://habr.com/ru/company/intel/blog/106082/>

References

1. A Study of Software Metrics. ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/322070697_A_Study_of_Software_Metrics
2. Analysis of Software Quality Using Software Metrics. URL: https://www.researchgate.net/publication/328830202_Analysis_of_Software_Quality_Using_Software_Metrics
3. Software Quality Factors and Software Quality Metrics. URL: https://www.researchgate.net/publication/263582173_/Software_Quality_Factors_and_Software_Quality_Metrics_to_Enhance_Software_Quality_Assurance
4. Galin D. Software quality. Concepts and practice. Publisher: Wiley-IEEE Press, 2018. 720 p.
5. Garst Smith Howard T. Software quality assurance: A guide for developers and auditors. Publisher: CRC Press Inc, 2020. 480 p.
6. Suryn W. Software quality engineering. A practitioner's approach. Publisher: Wiley-IEEE Computer Society Pr, 2014. 208 p.
7. ISO/IEC 25023:2016 Systems and software engineering – Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – Measurement of system and software product quality. ISO.org. URL: <https://www.iso.org/ru/standard/35747.html>
8. Ryzhkov E. Programmnyj kod i ego metriki [Elektronnyj resurs] / E. Ryzhkov // Veb-portal Habr. – Rezhim dostupa : <https://habr.com/ru/company/intel/blog/106082/>

Рецензія/Peer review : 25.09.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.10.2021 р.

ПЯТИН І. С.

Хмельницький політехнічний фаховий коледж національного університету «Львівська політехніка»
ORCID ID: 0000-0003-1898-6755
e-mail: ilkhmel@ukr.net

ГАВРОНСЬКИЙ В. Є.

Хмельницький політехнічний фаховий коледж національного університету «Львівська політехніка»
ORCID ID: 0000-0002-1529-1272
e-mail: gavronskiy@gmail.com

ЛУЖАНСЬКИЙ В. І.

Хмельницький національний університет
ORCID ID: 0000-0002-2698-3450
e-mail: luzhanskiy56@gmail.com

МИХАЛЬЧУК В. О.

Хмельницький національний університет
ORCID ID: 0000-0002-2924-2041
e-mail: 1306vadam1306@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ З СИГНАЛАМИ F-OFDM

Системи зв'язку п'ятого покоління (5G) забезпечують збільшення швидкості передачі даних, використання наднадійного зв'язку із малою затримкою (URLLC), мають високу спектральну ефективність, широкі можливості підключення та підвищену енергоефективність. Мультиплексування з ортогональним частотним поділом каналів і фільтром (F-OFDM) є сигналом, який отримують на виході фільтра. F-OFDM порівняно з OFDM забезпечує зниження позасмугового випромінювання, що покращує характеристики системи. Стаття присвячена порівнянню сигналів CP-OFDM і F-OFDM.

Ключові слова: сигнали CP-OFDM, сигнали F-OFDM, спектральна густина потужності, sinc-фільтр, ймовірність помилки на біт.

PYATIN I. S., GAVRONSKIY V. E.

Khmelnyskyi Politechnic Professional College by Lviv Politechnic National University

LUZHANSKIY V. I., MIKHALCHUK V. O.

Khmelnyskyi National University

RESEARCH COMMUNICATION SYSTEMS WITH F-OFDM SIGNALS

OFDM (Orthogonal frequency division multiplexing) signals are widely used in modern mobile standards. They have a number of disadvantages, such as the high ratio of peak power to average power (PAPR), large out-of-band components of the sinc shape spectrum, and the like. OFDM provides high spectrum efficiency due to orthogonal frequency multiplexing. To achieve orthogonality and avoid interference, it is necessary to align the signals of the transmitter and receiver in time and frequency. Imperfect synchronization can lead to suboptimal performance. Fifth generation (5G) communication systems promise several advantages over previous systems, including high data rates, ultra-low latency (URLLC), high spectral efficiency, extensive connectivity, and increased energy efficiency. In addition, machine-type (MTC) and Internet of Things (IoT) communication is expected to be handled better and more efficiently by the 5G system. Multiplexing with orthogonal frequency division multiplexing and a filter (F-OFDM) is a multi-carrier signal that is received at the output of the filter. F-OFDM in comparison with OFDM provides reduction of out-of-band radiation that allows to use the allocated spectrum effectively. Filtration is an effective way to suppress side petals in OFDM. As the side lobes of the spectrum decrease, a large amount of signal power is concentrated in the main lobe, which helps to reduce interference between channels. The mathematical description of signals CP-OFDM, Windowed OFDM, Filtered OFDM in the field of time and frequency is analyzed in the work. A study of the transmission and reception of F-OFDM signals. The requirements for the filter and its characteristics in the field of time and frequency are given. The block diagrams of the transmitter and receiver are given. In F-OFDM, the CP-OFDM signal is passed through the developed filter. Because the filter bandwidth corresponds to the signal bandwidth, only a few subcarriers close to the boundary are affected. The key consideration is that the length of the filter may exceed the length of the cyclic prefix for F-OFDM. The resulting inter-character interference is minimized due to the design of the filter using windows. The received signal passes through a matched filter and then through a conventional CP-OFDM receiver. It takes into account both the increase in filtration and the delay before the FFT operation. The spectra of CP-OFDM and F-OFDM signals were compared. The dependences of the error error per bit on the signal-to-noise ratio for F-OFDM signals have been studied.

Keywords: CP-OFDM signals, F-OFDM signals, power spectral density, sinc filter, bit error ratio.

Постановка проблеми

Сигнали OFDM (Orthogonal frequency division multiplexing) широко використовуються у сучасних стандартах мобільного зв'язку. Вони мають ряд недоліків, таких як високе відношення пікової потужності до середньої потужності (PAPR), великі позасмугові компоненти спектру форми sinc, тощо. Оскільки OFDM забезпечує високу ефективність використання спектра за рахунок ортогонального частотного мультиплексування, його позасмугове випромінювання може бути неприйнятним без захисних смуг [1]. Зокрема, в 4G LTE близько 10 % виділеної смуги пропускання зарезервовано як захисну смугу для уникнення завад між каналами. Щоб досягти ортогональності та уникнути міжсимвольних чи каналних завад, необхідно суворе вирівнювання за часом та частотою. Це призводить до ускладнень передачі сигналів для досягнення ідеальної синхронізації, особливо для передачі по висхідній лінії зв'язку. Недосконала синхронізація може призвести до неоптимальної продуктивності. Нове покоління систем мобільного зв'язку буде мати більш високі швидкості передачі даних, малу затримку та підтримку великої кількості пристроїв.

Крім цього, очікується, що зв'язок машинного типу (МТС) та Інтернет речей (ІоТ) будуть оброблятися системою 5G краще та ефективніше. Мультиплексування з ортогональним частотним поділом каналів і фільтром (F-OFDM) є сигналом з декількома несучими, який отримують на виході добре спроектованого фільтра. F-OFDM порівняно з OFDM забезпечує зниження позасмугового випромінювання, що дозволяє ефективно використовувати виділений спектр.

Різноманітні системи п'ятого покоління (5G) мають низку переваг у порівнянні з попередніми системами, включаючи високу швидкість передачі даних, наднадійний зв'язок із малою затримкою (URLLC), високу спектральну ефективність, широкі можливості підключення та підвищену енергоефективність [2]. Фільтрація - це перевірений та ефективний спосіб придушення бічних пелюсток у OFDM. Коли бічні пелюстки спектру зменшуються, велика потужність сигналу концентрується в головній пелюсті, що допомагає знизити потужність витоків у суміжному каналі.

Авторами роботи [1] встановлено, що оскільки OFDM забезпечує високу ефективність використання спектра за рахунок ортогонального частотного мультиплексування, його позасмугове випромінювання може бути неприйнятним без захисних смуг. Частотні та часові ресурси OFDM рівномірно розділені на декілька елементів рівного розміру для перенесення інформації. Щоб досягти ортогональності та уникнути міжсимвольних чи каналних завад, необхідно суворе вирівнювання за часом та частотою. Фільтрація – це перевірений та ефективний спосіб придушення бічних пелюсток у OFDM [2–5].

Аналіз останніх джерел

У роботах [1–3] було показано перевагу фільтрованого OFDM над звичайним OFDM з точки зору придушення бічних пелюсток. Автори створили математичну модель для системи OFDM з фільтром, і OFDM з багатошвидкісною фільтрацією. У зазначених роботах відсутні дані про залежність ймовірності помилки на біт (BER) від відношення сигнал/шум (E_b/N_0) для F-OFDM системи зв'язку з різними видами модуляції і ефективність систем F-OFDM.

Метою роботи є дослідження блоків передачі і приймання сигналів F-OFDM, дослідження бітової помилки систем зв'язку з сигналами F-OFDM при малих відношеннях сигнал-шум, дослідження спектральної ефективності F-OFDM у порівнянні з CP-OFDM.

Математичний опис сигналів мультиплексування з ортогональним частотним поділом каналів в області часу і області частоти. Радіочастотні завади, які є сигналом, випромінюваним небажаним передавачем, можуть погіршити характеристики приймача. Рівень потужності завад на вході приймача (вихід ПЧ) визначається виразом [4]:

$$I = P_T - L_{FL,T} + G_T + G_R - L_{FL,R} - L_{POL} - L_P - L_{FDR} \quad (1)$$

де P_T – вихідна потужність передавача в дБВт, $L_{FL,T}$ – втрати у фідерній лінії між виходом передавача і входом передавальної антени, G_T і G_R – коефіцієнти підсилення передавальної та приймальної антен, $L_{FL,R}$ – втрати у фідерній лінії між виходом приймальної антени та входом приймача; L_{POL} – втрати через неузгодженість поляризації приймальної антени, L_P – втрати при поширенні (включаючи втрати через завади) між передавальною та приймальною антенами L_{FDR} – втрати через FDR (Frequency Dependent Rejection – частотно-залежне придушення).

FDR (Frequency Dependent Rejection) – це міра придушення, що створюється кривою вибіркості приймача на частотах небажаного випромінювання передавача. FDR визначається виразом:

$$L_{FDR} = 10 \lg \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \Phi(f) df}{\int_{-\infty}^{\infty} \Phi(f) \Psi(f - \Delta f) df} \quad (2)$$

де $\Phi(f)$ – спектральна густина потужності (СГП) комплексної огинаючої сигналу радіозавад, $\Psi(f)$ – нормалізована частотна характеристика приймача, Δf – частотне зміщення між передавачем, що заважає, і приймачем. Для ідеального плоского відгуку $\Psi(f - \Delta f)$ для $\Delta f - W_v/2 \leq f \leq \Delta f + W_v/2$, FDR спрощується:

$$L_{FDR} = 10 \lg \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \Phi(f) df}{\int_{\Delta f - W_v/2}^{\Delta f + W_v/2} \Phi(f) df}, \quad (3)$$

де W_v – смуга пропускання приймача. Площа СГП сигналу дорівнює потужності сигналу, і, таким чином, ми отримуємо рівняння: $P_T = 10 \lg \int_{-\infty}^{\infty} \Phi(f) df$.

Спектральна густина потужності сигналів CP-OFDM. Переданий сигнал CP-OFDM основної смуги частот може бути описаний виразом:

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{k=0}^{N-1} c_{n,k} p\left(t - n(T_s + T_g)\right) e^{-j2\pi k \frac{1}{N}(T_s + T_g)}, \quad (4)$$

де $c_{n,k}$ – комплексний символ даних, модульований на k -й піднесучій n -го символу OFDM, $p(t)$ – вікно формування імпульсу, $T_{tot} = T_s + T_g$ – загальна тривалість символу T_s і T_g – тривалість символу даних та захисний інтервал, відповідно.

У припущенні, що комплексні сигнали на кожній піднесучій є статистично незалежними та взаємно ортогональними, вираз СГП сигналу OFDM з довільною формою імпульсу задається виразом [5, 6]:

$$\Phi_s(f) = \frac{P_s}{T_{tot}} \sum_{k=0}^{N-1} \left| P\left(f - \frac{k}{T_s}\right) \right|^2, \quad (5)$$

де P_s – дисперсія символів даних $c_{n,k}$, а також потужність однієї піднесучої OFDM, $1/T_s$ – інтервал між піднесучими; $P(f)$ – перетворення Фур'є вікна формування імпульсу. Застосовуємо прямокутне формування імпульсу до (6), що визначається виразом:

$$p(t) = \Pi\left(\frac{t - T_{tot}/2}{T_{tot}}\right), \quad (6)$$

$$\text{де } \Pi\left(\frac{t}{T_{tot}}\right) = \begin{cases} 0, & |t| > \frac{T_{tot}}{2} \\ \frac{1}{2}, & |t| = \frac{T_{tot}}{2} \\ 1, & |t| < \frac{T_{tot}}{2} \end{cases}$$

Використовуючи властивість зсуву перетворення Фур'є в області часу, $|P(f)|^2$ визначається виразом:

$$|P(f)|^2 = |F\{p(t)\}|^2 = \left| F\left\{ \Pi\left(\frac{t}{T_{tot}}\right) \right\} e^{-j\pi T_{tot} f} \right|^2 = T_{tot}^2 \text{sinc}^2(T_{tot} f), \quad (7)$$

де функція sinc визначається виразом: $\text{sinc}(x) = \frac{\sin(\pi x)}{\pi x}$ для $x \neq 0$, інакше вона дорівнює одиниці.

Комбінуючи (7) та (9), СГП CP-OFDM з прямокутним формуванням імпульсів визначається виразом:

$$\Phi_s^{(CP)}(f) = P_s T_{tot} \sum_{k=0}^{N-1} \left\{ \text{sinc}\left[\left(f - \frac{k}{T_s}\right) T_{tot}\right] \right\}^2. \quad (8)$$

Віконний OFDM. Для придушення позасмугових випромінювань віконне OFDM використовує функції згладжування часових вікон для формування імпульсу. Як типовий приклад використовується функція піднесеного косинуса $w_{rc}(t)$ тривалості $T_w = T_{tot} + T_{tr}$, яка визначається виразом:

$$p(t) = w_{rc}\left(t - \frac{T_{tot}}{2}\right),$$

$$w_{rc}(t) = \begin{cases} 1, & 0 \leq |t| < (T_{tot} - T_{tr})/2 \\ \frac{1}{2} \left(1 + \cos \left(\frac{\pi (|t| - (T_{tot} - T_{tr})/2)}{T_{tr}} \right) \right), & (T_{tot} - T_{tr})/2 \leq |t| < (T_{tot} + T_{tr})/2, \\ 0, & (T_{tot} + T_{tr})/2 \leq |t| \end{cases} \quad (9)$$

де T_{tr} – час переходу.

Виходячи з (5) та (9), СГП віконного OFDM задається виразом:

$$\Phi_s^{(w)}(f) = P_s T_{tot} \sum_{k=0}^{N-1} \left\{ \text{sinc} \left[\left(f - \frac{k}{T_s} \right) T_{tot} \right] \frac{\cos \left(\pi T_{tr} \left(f - \frac{k}{T_s} \right) \right)}{1 - 4T_{tr}^2 \left(f - \frac{k}{T_s} \right)^2} \right\}^2. \quad (10)$$

Фільтрований OFDM. Сигнал F-OFDM $x(t)$ виходить шляхом пропускання сигналу CP-OFDM (4) через фільтр. Таким чином, $x(t)$ визначається згорткою $s(t)$ та імпульсною характеристикою фільтра $h(t)$:

$$x(t) = s(t) \cdot h(t). \quad (11)$$

Дія фільтра полягає у застосуванні функції часового вікна $w(t)$ до імпульсної характеристики фільтра:

$$h(t) = g(t) \cdot w(t), \quad (12)$$

де $g(t) = W_g \text{sinc}(W_g t)$.

Частотна характеристика $g(t)$ є прямокутним вікном з смугою пропускання W_g , тобто $\Pi(f / W_g)$.

Для придушення позасмугових випромінювань базовий фільтр обмежується за рахунок застосування функцій часового вікна, таких як вікно Хеннінга, Хеммінга та Блекмана. Як типовий приклад приймається вікно Хеннінга тривалості T_w , задане наступним чином:

$$w(t) = \begin{cases} \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos \left(\frac{2\pi |t|}{T_w} \right), & |t| \leq \frac{T_w}{2} \\ 0, & |t| > \frac{T_w}{2} \end{cases} \quad (13)$$

СГП відфільтрованого сигналу OFDM визначається виразом:

$$\Phi_x(f) = \frac{P_s T_{tot}}{16\pi^2} [2Si(\pi f_u) - 2Si(\pi f_l) + Si(\pi - \pi f_l) - Si(\pi - \pi f_u) + Si(\pi + \pi f_u) - Si(\pi + \pi f_l)]^2 \cdot \sum_{k=0}^{N-1} \left\{ \text{sinc} \left[\left(f - \frac{k}{T_s} \right) T_{tot} \right] \right\}^2 \quad (14)$$

де $f_u = T_w (f + W_g / 2)$ і $f_l = T_w (f - W_g / 2)$.

Експериментальні дослідження. Порівняємо модуляцію OFDM з фільтром (F-OFDM) із загальною модуляцією OFDM з циклічним префіксом (CP-OFDM) за допомогою Matlab. Для F-OFDM до символу OFDM в часовій області застосовується смуговий фільтр для обмеження спектра і зменшення позасмугового випромінювання сигналу з збереженням ортогональності піднесучих. Визначимо параметри для проведення моделювання:

- смуга пропускання: 10 МГц;
 - розрядність ШПФ: 1024;
 - кількість піднесучих в блоці ресурсів: 12;
 - довжина циклічного префікса: 72 відліка.
- Фільтрація для F-OFDM повинна задовольняти наступним критеріям:
- плоска смуга пропускання для піднесучих;
 - різка перехідна смуга для мінімізації захисних смуг;
 - достатнє загасання в смузі затримування.

Цим критерієм задовольняє фільтр з прямокутною частотною характеристикою, тобто сінк-імпульсною характеристикою. Фільтр нижніх частот реалізований з використанням вікна, яке ефективно обрізає імпульсну характеристику і виконує плавні переходи до нуля на обох кінцях [3].

Фільтр прямої форми з кінцевою імпульсною характеристикою, спроектований у Матлаб містить:

– помножувачі – 511;

– підсумовувачі – 510.

Імпульсна характеристика фільтра представлена на рис. 1, АЧХ фільтра представлена на рис. 2.

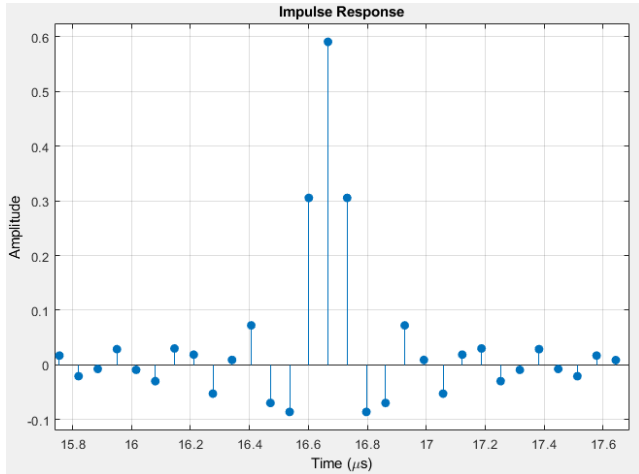


Рис. 1. Імпульсна характеристика формуючого фільтра

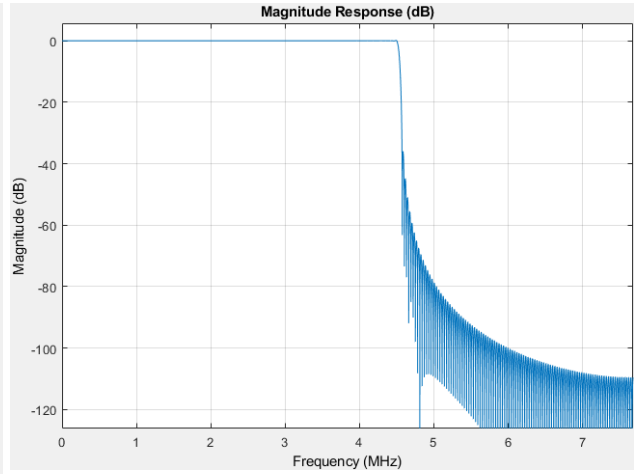


Рис. 2. АЧХ формуючого фільтра

Передавач сигналу F-OFDM. У F-OFDM сигнал CP-OFDM пропускається через розроблений фільтр. Оскільки смуга пропускання фільтра відповідає смузі пропускання сигналу, зачіпаються тільки декілька піднесучих, близьких до границі. Ключовим міркуванням є те, що довжина фільтра може перевищувати довжину циклічного префікса для F-OFDM [1]. Міжсимвольні завади зводяться до мінімуму завдяки конструкції фільтра з використанням вікон.

Структурна схема передавача F-OFDM представлена на рис. 3.

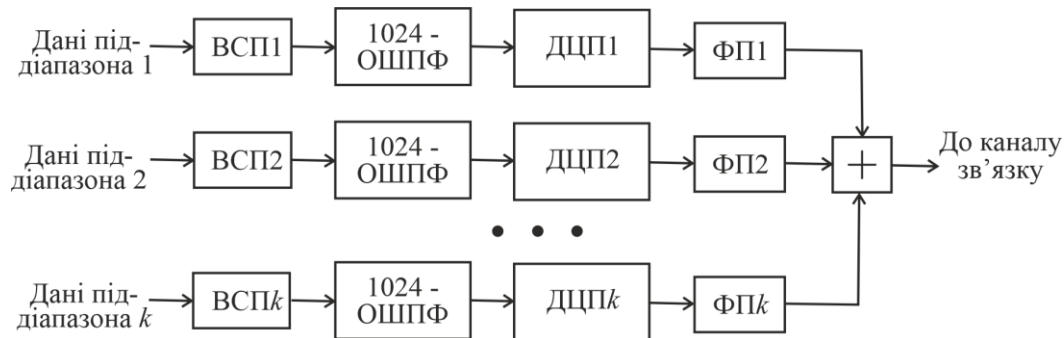


Рис. 3. Передавач F-OFDM (ВСП – відображення символів піддіапазона; 1024-ОШПФ – 1024-точкове обернене швидке перетворення Фур'є; ДЦП – додавання циклічного префікса; ФП – фільтр піддіапазона)

Порівняння спектральних густин сигналів F-OFDM і CP-OFDM представлено на рис. 4.

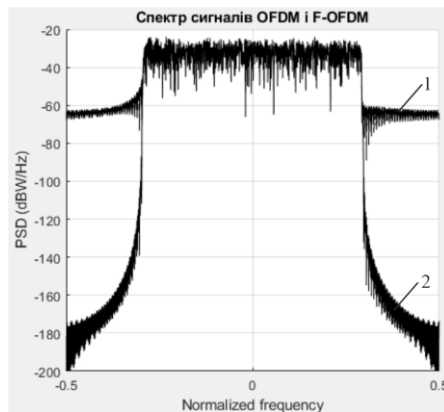


Рис. 4. Спектральна густина сигналів: 1 – CP-OFDM; 2 – F-OFDM

Порівнюючи графіки спектральних густин для схем CP-OFDM і F-OFDM, можна сказати, що сигнал F-OFDM має більш низькі (на 130 дБ) бічні пелюстки, ніж OFDM. Це зменшує позасмугове випромінювання і дозволяє ефективніше використовувати виділений спектр, що призводить до збільшення спектральної ефективності.

Примач сигналу F-OFDM. Прийнятий сигнал проходить через узгоджений фільтр, а потім через звичайний приймач CP-OFDM. Циклічний префікс враховує як наростання сигналу при фільтрації, так і затримку для операції ШПФ.

Операції обробки на боці приймача F-OFDM показані на рис. 5.

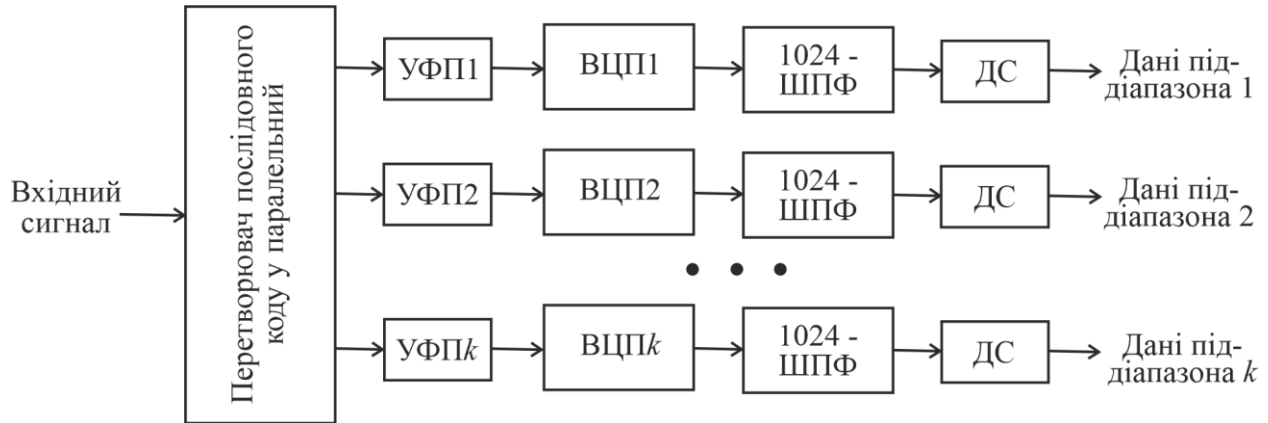


Рис. 5. Структурна схема приймача сигналу F-OFDM (УФП – узгоджений фільтр піддіапазона; ВЦП – видалення циклічного префікса; 1024-ШПФ – 1024-точкове швидке перетворення Фур'є; ДС – детектування сигналу)

Для формування сигналу F-OFDM додається етап фільтрації до існуючої обробки CP-OFDM як на передавальному, так і на приймальному боці.

Результати проведеного дослідження залежностей ймовірності помилки на біт (BER) від відношення сигнал/шум (E_b/N_0) для F-OFDM системи зв'язу з різними видами модуляції приведені на рис. 6. Дослідження залежностей ймовірності помилки на біт (BER) від відношення сигнал/шум (E_b/N_0) для F-OFDM і CP-OFDM систем зв'язу з модуляцією QPSK приведені на рис. 7.

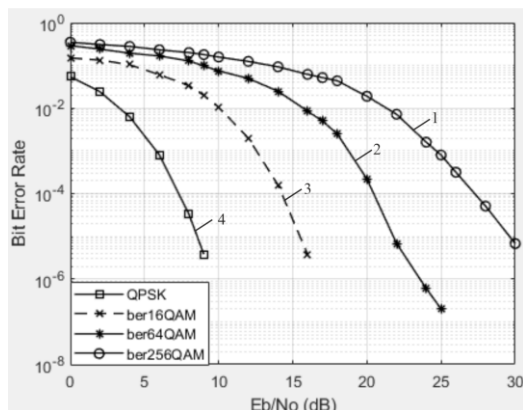


Рис. 6. Залежність ймовірності помилки на біт (BER) від відношення сигнал/шум (E_b/N_0) для F-OFDM системи зв'язу з модуляцією (1 – 256-QAM; 2 – 64-QAM; 3 – 16-QAM; 4 – QPSK)

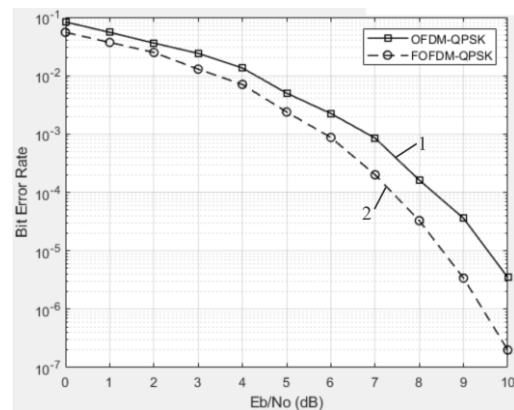


Рис. 7. Залежність ймовірності помилки на біт (BER) від відношення сигнал/шум (E_b/N_0) для: 1 – CP-OFDM системи зв'язу з модуляцією QPSK; 2 – F-OFDM системи зв'язу з модуляцією QPSK

Висновки

У статті проаналізований математичний опис сигналів мультиплексування з ортогональним частотним поділом каналів (CP-OFDM, віконний OFDM, F-OFDM) в області часу і області частоти. Спроектований формуючий КІХ фільтр з смугою пропускання 10 МГц, що обмежує спектр на боці передавача і боці приймача. Проведене порівняння модуляції F-OFDM з модуляцією CP-OFDM. Порівнюючи графіки спектральних густин для схем CP-OFDM і F-OFDM, можна сказати, що сигнал F-OFDM має більш низькі (на 130 дБ) бічні пелюстки, ніж OFDM. Це зменшує позасмугове випромінювання і дозволяє ефективніше використовувати виділений спектр, що призводить до збільшення спектральної ефективності. Проведене дослідження залежностей ймовірності помилки на біт (BER) від відношення сигнал/шум (E_b/N_0) для F-OFDM системи зв'язу з різними видами модуляції. Це дозволяє зробити висновок, що найбільш ефективним є використання модуляції QPSK. Для збільшення швидкості передачі інформації у 4 рази (з 2 біт на символ – QPSK до 8 біт на символ – 256-QAM) необхідно збільшувати відношення сигнал-шум

на боці приймача на 22 дБ для BER=10⁻⁶. Проведене дослідження залежностей ймовірності помилки на біт (BER) від відношення сигнал/шум (Eb/N0) для CP-OFDM і F-OFDM систем зв'язку з модуляцією QPSK. Це дозволяє зробити висновок, що F-OFDM на 1 дБ ефективніше, ніж CP-OFDM для BER=10⁻⁶.

Література

1. Xi Zhang, Ming Jia, Lei Chen, Jianglei Ma, and Jing Qiu, "Filtered-OFDM – Enabler for Flexible Waveform in the 5th Generation Cellular Networks", in Proc.2015 IEEE GLOBECOM, San Diego, CA, 2015, pp. 1-6.
2. Hugu Tulberg et'al "The METIS 5G System Concept: Meeting the 5G Requirements", IEEE Communications Magazine Volume: 54, Issue: 12, Dec 2016.
3. J. Park, E. Lee, S. Park, S. Raymond, S. Pyo and H. Jo, "Modeling and Analysis on Radio Interference of OFDM Waveforms for Coexistence Study," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 35132-35147, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2896280.
4. Пятін І.С. Моделювання спотворень сигналу у каналі передачі / І.С. Пятін, Д.А. Макаришкін // Вісник Хмельницького національного університету. – 2020. – № 5. – С. 39–45.
5. Boiko J., Pyatin I., Karpova L., Eromenko O. (2021) Study of the Influence of Changing Signal Propagation Conditions in the Communication Channel on Bit Error Rate. In: Ageyev D., Radivilova T., Kryvinska N. (eds) Data-Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 69. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-71892-3_4
6. Пятін І.С. Передача управляючої інформації у системах ширококугових телекомунікацій технології 5G / Ю. Бойко, І. Пятін, Л. Карпова І. Пархомей // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». – 2021 – № 1 (38). – С. 82–95. – DOI: <https://doi.org/10.20535/1560-8956.38.2021.233200>
7. Пятін І.С. Дослідження низхідної лінії зв'язку 5G / І.С. Пятін, Ю.М. Бойко // Праці VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Обробка сигналів і негаусівських процесів» 25-26 травня 2021 р., м Черкаси, 2021. – С. 68–70.
8. J. Boiko, V. Tolubko, O. Barabash, O. Eromenko and Y. Havrylko, "Signal processing with frequency and phase shift keying modulation in telecommunications", *Telkomnika (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, vol. 17, no 4, pp. 2025-2038, August 2019.
9. Бойко Ю.М. Особливості квазікогерентної обробки сигналів у засобах телекомунікацій з частотною маніпуляцією / Ю.М. Бойко, І.С. Пятін // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2018. – № 1. – С. 107–119.
10. Бойко Ю. М. Теоретичні аспекти підвищення завадостійкості й ефективності обробки сигналів в радіотехнічних пристроях та засобах телекомунікаційних систем за наявності завад : монографія / Ю. М. Бойко, В. А. Дружинін, С. В. Толюпа. – Київ : Логос, 2018. – 227 с. – URL : <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/6291>.
11. Zhurakovskiy B., Boiko J., Druzhynin V., Zeniv I., and Eromenko O. "Increasing the efficiency of information transmission in communication channels," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 19, no. 3, September 2020, pp. 1306-1315. <http://doi.org/10.11591/ijeecs.v19.i3.ppl1306-1315>.

References

1. Xi Zhang, Ming Jia, Lei Chen, Jianglei Ma, and Jing Qiu, "Filtered-OFDM – Enabler for Flexible Waveform in the 5th Generation Cellular Networks", in Proc.2015 IEEE GLOBECOM, San Diego, CA, 2015, pp. 1-6.
2. Hugu Tulberg et'al "The METIS 5G System Concept: Meeting the 5G Requirements", IEEE Communications Magazine Vol. 54, Issue: 12, Dec 2016.
3. J. Park, E. Lee, S. Park, S. Raymond, S. Pyo and H. Jo, "Modeling and Analysis on Radio Interference of OFDM Waveforms for Coexistence Study," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 35132-35147, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2896280.
4. Piatin I.S. Modeliuvannya spotvorenny syhnalu u kanali peredachi/ I.S. Piatin, D.A. Makaryshkin // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. - 2020. - №5. – S. 39-45.
5. Boiko J., Pyatin I., Karpova L., Eromenko O. (2021) Study of the Influence of Changing Signal Propagation Conditions in the Communication Channel on Bit Error Rate. In: Ageyev D., Radivilova T., Kryvinska N. (eds) Data-Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 69. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-71892-3_4
6. Piatin I.S. Peredacha upravliayuchoi informatsii u systemakh shyrokosmuhovyykh telekomunikatsii tekhnolohii 5G /Yu. Boiko, I. Piatin, L. Karpova I. Parkhomei, // Mizhvidomchyi naukovo-tekhnichnyy zbirnyk «Adaptyvni systemy avtomatichnoho upravlinnia», 2021 – №1 (38). – S. 82-95. DOI: <https://doi.org/10.20535/1560-8956.38.2021.233200>
7. Piatin I.S. Doslidzhennia nyzkhdnoi liniy zviazku 5G / I.S. Piatin, Yu.M. Boiko // Pratsi VIII Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Obrobka syhnaliv i nehausivskykh protsesiv» 25-26 travnia 2021 r., m Cherkasy, 2021 – s.68-70
8. J. Boiko, V. Tolubko, O. Barabash, O. Eromenko and Y. Havrylko, "Signal processing with frequency and phase shift keying modulation in telecommunications", *Telkomnika (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, vol. 17, no 4, pp. 2025-2038, August 2019.
9. Boiko J. M. Osoblyvosti kvazikoherentnoi obrobky syhnaliv u zasobakh telekomunikatsii z chastotnoiu manipulyatsieiu / J.M. Boiko, I.S. Piatin // Telekomunikatsiini ta informatsiini tekhnolohii №1, 2018 – S. 107-119.
10. Boiko J. M. Teoretychni aspekty pidvyshchennia zavadositkosti y efektyvnosti obrobky syhnaliv v radiotekhnichnykh prystroiakh ta zasobakh telekomunikatsiinykh system za naiavnosti zavad : monoghrafija / J. M. Boiko, V. A. Druzhinin, S. V. Tolyupa. – Kyjiv : Loghos, 2018. – 227 s. URL: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/6291>.
11. B. Zhurakovskiy, J. Boiko, V. Druzhynin, I. Zeniv, and O. Eromenko, "Increasing the efficiency of information transmission in communication channels," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 19, no. 3, September 2020, pp. 1306-1315. <http://doi.org/10.11591/ijeecs.v19.i3.ppl1306-1315>.

ТЕХНОЛОГІЇ ХІМІЧНОЇ, ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

DOI 10.31891/2307-5732-2021-301-5-177-187

УДК 602.1:519.85:53.082.9:616-07

МАРЦЕНЮК В. П.

Університет в Бельсько Біла, Польща

ORCID ID: 0000-0001-5622-1038

e-mail: vmartsenyuk@ath.bielsko.pl

СВЕРСТЮК А. С.

Тернопільський національний медичний університет імені І.Я. Горбачевського

ORCID ID: 0000-0001-8644-0776

e-mail: sverstyuk@tdmu.edu.ua

БАГРІЙ-ЗАЯЦЬ О. А.

Тернопільський національний медичний університет імені І.Я. Горбачевського

ORCID ID: 0000-0002-5533-3561

e-mail: bagrijzayats@tdmu.edu.ua

ПАВЛИШИН А. В.

Тернопільський національний медичний університет імені І.Я. Горбачевського

ORCID ID: 0000-0002-5506-7582

e-mail: pavlyshynav@tdmu.edu.ua

БОЙМИСТРУК І. І.

Тернопільський національний медичний університет імені І.Я. Горбачевського

ORCID ID: 0000-0003-3343-3104

e-mail: boymystruk@tdmu.edu.ua

**МОДЕЛЮВАННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ТА БІОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ
ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИМИ РІВНЯННЯМИ**

У роботі розглянуто підходи до моделювання фізико-хімічних та біологічних процесів диференціальними рівняннями. Наведено закон радіоактивного розпаду, закон поглинання іонізуючого випромінювання середовищем, закон розмноження бактерій, закон розчинення лікарської речовини з таблетки, хімічні реакції першого та другого порядку, математична модель Г.І. Марчука, математична модель кібер-фізичної імуносенсорної системи на гексагональній решітці з використанням системи диференціальних рівнянь із запізненням. Представлено результати математичного моделювання у вигляді результатів чисельного моделювання динамічної логіки кібер-фізичної імуносенсорної системи. Отримано фазові площини, решітчасті зображення ймовірності зв'язків антигенів з антитілами, зображення флуоресценціюючих пікселів, електричний сигнал з перетворювача, який характеризує кількість флуоресценціюючих пікселів. З метою підвищення науково-дослідного інтересу студентів при вивченні природничих дисциплін та покращення рівня розуміння навчального матеріалу з дисциплін "Біофізика з фізичними методами аналізу" та "Вища математика" слід на заняттях інформувати студентів про найновітніші відкриття в даній галузі знань, особливу увагу приділяти науковим розробкам сучасних наукових математичних та фізичних шкіл, адже це значною мірою є мотиваційним фактором формування майбутніх фахівців в галузі медицини, фармації, біології. Ознайомлення студентів з актуальними результатами власних наукових досліджень дає змогу зацікавити їх процесом моделювання медико-біологічних процесів з використанням диференціальних рівнянь, мотивуючи їх до власних наукових досліджень та розроблення різного роду біосенсорних пристроїв.

Ключові слова: математичне моделювання, диференціальні рівняння, фізико-хімічні процеси.

MARTSENYUK V. P.

University of Bielsko-Biała, Poland

SVERSTIUK A. S., BAGRIY-ZAYATS O. A., PAVLYSHYN A. V., BOYMISTRUK I. I.

Temopil National Medical University named after I. Ya. Gorbachevsky

MODELING OF PHYSICOCHEMICAL AND BIOLOGICAL PROCESSES DIFFERENTIAL EQUATIONS

The approaches to modeling of physicochemical and biological processes of differential equations are explained in the work. The law of radioactive decay, the law of absorption of ionizing radiation by the environment, the law of reproduction of bacteria, the law of dissolution of medicinal substance from a tablet, chemical reactions of the first and second order, mathematical model G.I. Marchuk are resulted, mathematical model of a cyber-physical immunosensory system on a hexagonal lattice using a system of delayed differential equations. The results of mathematical modeling in the form of the results of numerical modeling of the dynamic logic of the cyber-physical immunosensory system are presented. Phase planes, lattice images of the probability of antigen-antibody binding, images of fluorescent pixels, electrical signal from the transducer, which characterizes the number of fluorescent pixels, were obtained. In order to increase the student's research interest in the study of natural sciences and improve the level of understanding of educational material in the disciplines "Biophysics with physical methods of analysis" and "Higher Mathematics" it is important to inform students about the latest discoveries in this field of knowledge, modern scientific mathematical and physical schools, because it is largely a motivating factor in the formation of future specialists in medicine, pharmacy, biology. Acquainting students with the current results of their own research allows them to be interested in the process of modeling medical and biological processes using differential equations, motivating them to their own research and development of various biosensor devices.

Keywords: mathematical modeling, differential equations, physicochemical processes.

Постановка проблеми

«Біологічна фізика з фізичними методами аналізу» та «Вища математика» входять до переліку обов'язкових дисциплін для студентів медичних та фармацевтичних закладів вищої освіти спеціальності 226 «Фармація, промислова фармація». Відповідно до освітньо-професійних програм, одним із програмних результатів навчання дисциплін є вміння студентів обирати оптимальні методи та способи розв'язування складних та спеціальних задач, відшукуючи шляхи вирішення проблемних ситуацій у професійній діяльності. Кваліфіковане проведення біофармацевтичних та фармакологічних досліджень неможливе без ґрунтовних математичних та фізичних знань.

Застосування математичного моделювання та інформаційних засобів навчання стали невід'ємною частиною наукового-технічного процесу. Широке застосування математики пов'язане з тим, що подальший успіх розвитку всіх наук можливий лише на базі використання точних кількісних методів дослідження, тобто застосування математичного апарату, також математика досягла такого розвитку, який дозволяє створити потужні електронно-обчислювальні машини, які здатні використовувати великі об'єми громіздких обчислень.

Мета дослідження – провести огляд існуючих підходів до моделювання фізико-хімічних та біологічних процесів однорідними диференціальними рівняннями. Запропонувати математичну модель кібер-фізичної імуносенсорної системи на гексагональній решітці з використанням системи диференціальних рівнянь із запізненням. Навести результати математичного моделювання у вигляді результатів чисельного моделювання динамічної логіки кібер-фізичної імуносенсорної системи

Аналіз останніх джерел

Математичні моделі опису біофізичних процесів та явищ є інструментом для змістовного розуміння студентами навчального матеріалу. Більшість фізичних, біологічних, хімічних, медичних процесів описують функціонально залежністю, зокрема, біологічні системи та відповідні їм математичні моделі молекулярного, кінетичного та популяційного рівня, динаміка та умови їх існування і взаємодії були об'єктами дослідження таких вчених, як В. М. Глушков, А.П. Власюк, О.Г. Наконечний, В.П. Марценюк, А. Б. Рубін, Г. Ю. Різніченко, Ю. М. Романовський, Н. В. Степанова, Є. А. Леонтович Я. Г. Сінай, Г. М. Обатуров тощо. Серед видатних досягнень біофізики ХХ століття слід виділити розшифрування просторових структур білка Л. Полігом та подвійної спіралі ДНК Дж. Уотсоном та Ф. Кріком [1]. Проблему математичного моделювання на заняттях з біофізики порушено в роботах Н. Філоненко, А. Коченова, Г. Гнатюк [2], О. І. Олар, О. Ю. Микитюк, В. І. Федів, Д. І. Остафійчук [3].

Спроби використовувати математичного моделювання у біомедичних напрямках розпочалися у 80-х роках ХІХ століття. Ідея кореляційного аналізу, висунута Гальтоном та вдосконалена біологом та математиком Пірсоном, виникла як результат спроб опрацювання біомедичних даних. Починаючи з 40-х років минулого століття математичні методи проникли у медицину і біологію через кібернетику та інформатику. Тому у ХХ ст., крім технічних спеціальностей і природничих наук, математичне моделювання почала широко використовувати медицина у різних її проявах.

Математичне моделювання сприяло розвитку науки й техніки індустріального суспільства, а з появою електронно-обчислювальних засобів обробки інформації привело до бурхливого розвитку сучасного – постіндустріального – суспільства. Моделювання є методом дослідження властивостей певного об'єкта (оригіналу) за допомогою вивчення властивостей іншого об'єкта (моделі), який є зручнішим для дослідження і знаходиться у певній відповідності до першого об'єкта (оригіналу).

Вперше біологічні процеси були описані математичними моделями у 80-х роках ХІХ ст. Спроби опрацювання статистичних біомедичних даних англійським математиком та біологом Карлом Пірсоном у 1900 р. привели до бурхливого використання математичних методів і моделей у біології, хімії, медицині та фармації. Безперечно, моделювання у медицині отримало самостійні функції і стає все більш необхідним у процесі проведення досліджень. Сьогодні моделювання в медицині є тим засобом, який дозволяє встановити глибокі і складні взаємозв'язки між теорією та експериментом. Протягом останнього століття експериментальні методи в медицині почали наштовхуватися на цілий ряд обмежень і виявилось, що проведення деяких досліджень неможливе без моделювання, оскільки втручання в біологічні системи може призводити до неможливості встановлення причин змін, що виникають при цьому; деякі теоретично обґрунтовані експерименти неможливо здійснити внаслідок недостатнього рівня розвитку експериментальної техніки, а також ряд експериментів, які необхідно проводити на людях, слід відхиляти з морально-етичних та правових питань [1]

Завдяки використанню математичних методів та автоматизованих комп'ютерних систем у медицині та фармації суттєво розширилися можливості діагностики та терапії захворювань, здійснення контролю якості лікарських засобів, фармацевтичних субстанцій, лікарської рослинної сировини та допоміжних речовин із використанням фізичних, фізико-хімічних та хімічних методів контролю. При моделюванні процесів, що відбуваються у живих тканинах, у більшості випадків використовують диференціальні рівняння [2]. Створення математичної моделі для реальної біологічної системи неможливе без формалізації процесів, що в ній відбуваються, у вигляді системи математичних співвідношень та введення спеціальних параметрів системи.

На заняттях з біологічної фізики з фізичними методами аналізу та вищої математики студенти знайомляться з класичними математичними моделями опису реальних біологічних систем, такими, як модель динаміки розмноження, модель динаміки епідемії, фармакокінетичними моделями тощо. Диференціальні рівняння ефективно використовують в багатьох прикладних науках, таких, як медицина, біологія, фармація (дослідження хімічних реакцій), опрацювання зображень, матеріалознавство.

Доцільно також з метою розширення наукового світогляду студентів до їх уваги пропонувати сучасні результати наукових досліджень з галузі використання диференціальних рівнянь для опису фізико-хімічних та біологічних процесів.

Виклад основного матеріалу та обґрунтування результатів досліджень

Диференціальне рівняння $\frac{dv}{dx} + p(x)v = 0$ є математичною моделлю для багатьох фізико-хімічних та біологічних процесів і служить першим наближенням за ідеальних умов. Розглянемо змістовні задачі, що приводять до поняття диференційного рівняння та математичної моделі, зокрема на прикладі моделювання процесів лінійними однорідними диференціальними рівняннями першого порядку.

1. Закон радіоактивного розпаду

Кількість атомів радіоактивних елементів (радіоактивних ізотопів або ядер) з часом зменшується (розпадається) – це є результат експериментального спостереження. Нехай на момент часу $t = 0$ є N_0 ядер радіоактивного ізотопу. Експериментально визначено, що активність пропорційна до кількості ядер даного радіоактивного ізотопу, тобто

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N,$$

де λ – стала розпаду.

Дана формула є однорідним лінійним диференціальним рівнянням першого порядку, яке має такий частинний розв'язок:

$$N = N_0 e^{-\lambda t},$$

Ця формула визначає основний закон радіоактивного розпаду.

2. Закон поглинання іонізуючого випромінювання середовищем.

Зменшення інтенсивності іонізуючого випромінювання ΔI при проходженні через тонкий шар середовища пропорційне інтенсивності I та товщині шару Δx : $\Delta I = -\mu I \Delta x$, де μ – коефіцієнт поглинання.

Замінюємо прирости диференціалами й отримуємо диференціальне рівняння закону поглинання:

$$dI = -\mu I dx$$

Після інтегрування цього рівняння отримуємо закон поглинання іонізуючого випромінювання середовищем:

$$I = I_0 e^{-\mu x},$$

де I – інтенсивність іонізуючого випромінювання після проходження шару середовища завтовшки x , $I(x=0) = I_0$.

3. Закон розмноження бактерій.

Швидкість розмноження бактерій dN / dt пропорційна до кількості бактерій N у даний момент часу. Диференціальне рівняння, що характеризує процес розмноження має вигляд:

$$\frac{dN}{dt} = kN,$$

де k – коефіцієнт розмноження.

Інтегральний закон розмноження бактерій описується такою формулою:

$$N = N_0 e^{kt},$$

де $N(t=0) = N_0$.

4. Закон розчинення лікарської речовини з таблетки.

Якщо швидкість розчинення лікарської речовини з таблетки dm / dt пропорційна до кількості лікарської речовини у таблетці m , то

$$\frac{dm}{dt} = -km,$$

де k – стала швидкості розчинення.

Закон розчинення лікарської речовини з урахуванням початкової умови $m(t=0) = m_0$ описується такою формулою:

$$m = m_0 e^{-kt}.$$

5. Хімічні реакції першого порядку: $A \rightarrow$ продукт реакції

Нехай при $t = 0$ початкова концентрація речовини A дорівнює a , за час t концентрація речовини A стане $(a - x)$.

Кінетика хімічних реакцій першого порядку описується таким диференціальним рівнянням:

$$\frac{dx}{dt} = k_1(a - x)$$

де k_1 – константа швидкості реакції першого порядку.

Розв’язок цього диференціального рівняння записуємо у такому вигляді:

$$x = a(1 - e^{-k_1 t})$$

6. Хімічні реакції другого порядку: $A+B \rightarrow$ продукт реакції.

Нехай a — початкова концентрація речовини A ; b — початкова концентрація речовини B при $t = 0$.

За час t відповідні концентрації стануть такими: $(a - x)$ та $(b - x)$.

Кінетика хімічних реакцій другого порядку описується таким диференціальним рівнянням:

$$\frac{dx}{dt} = k_2(a - x)(b - x),$$

де k_2 – константа швидкості хімічної реакції другого порядку.

Якщо $a = b$, то розв’язок даного рівняння має такий вигляд: $x = a \left(1 - \frac{1}{1 + k_2 a t} \right)$.

Якщо $a \neq b$, то розв’язок даного рівняння записуємо так: $x = \frac{ab(e^{(b-a)k_2 t} - 1)}{be^{(b-a)k_2 t} - a}$.

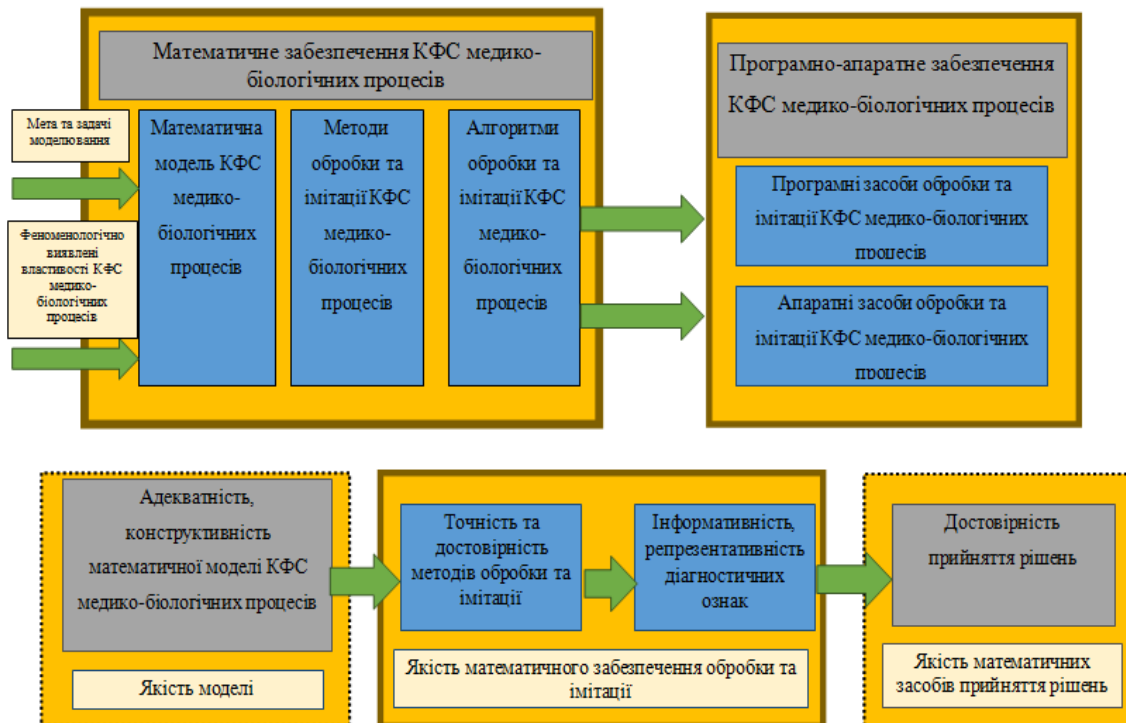


Рис. 1. Етапи розроблення та створення КФС медико-біологічних процесів

7. Математична модель Г.І. Марчука та використання її в кіберфізичних системах медико-біологічних процесів

Важливим етапом проектування кіберфізичних систем (КФС) медико-біологічних процесів є створення їх математичних моделей, які б адекватно відображали важливі, з точки зору завдань дослідження, сторони просторово-часової структури чутливих елементів досліджуваних систем.

Якість математичної моделі біосенсора суттєво визначає ефективність методів його опрацювання в КФС медико-біологічних процесів, зумовлює рівень інформативності та репрезентативності діагностичних ознак та зумовлює структуру програмної та апаратної складових проектованої інформаційної системи. Процедура створення КФС підпорядковується такому алгоритму: розробляється математична модель медико-біологічних процесів, розробляються методи аналізу та опрацювання досліджуваних процесів на основі розробленої моделі, проектується система розпізнавання образів (діагностична система), створюється необхідне програмне та апаратне забезпечення, в якому втілюються результати попередніх етапів (рис. 1).

У КФС якість та ефективність методів автоматизованого опрацювання, суттєво зумовлюється адекватністю їх математичних моделей.

Математична модель Г.І. Марчука, крім концентрації антигенів та антитіл, враховує популяцію антитілотвірних клітин (плазмоклітин) C , а також ступінь пошкодження органа m . В даній моделі [3–13] в якості збудників захворювання використовуються антигени, які нейтралізуються антитілами.

Рівняння, що визначають математичну модель захворювання Г.І. Марчука, мають вигляд

$$\begin{aligned}\frac{dV}{dt} &= (\beta - \gamma F)V, \\ \frac{dC}{dt} &= \xi(m)\alpha V(t-\tau)F(t-\tau) - \mu_c(C - C_0), \\ \frac{dF}{dt} &= \rho C - (\mu_f + \eta \gamma V)F, \\ \frac{dm}{dt} &= \sigma V - \mu_m m\end{aligned}$$

з початковими умовами при $t \in [-\tau, 0]$

$$V(t) = V_0, F(t) = F_0, C(t) = C_0, m(t) = 0$$

У наведених формулах β – коефіцієнт розмноження антигенів; γ – коефіцієнт, що визначає ймовірність нейтралізації антигенів антитілами; α – коефіцієнт, що зумовлює ймовірність зустрічі антиген-антитіло; μ_c – коефіцієнт, обернений до часу життя плазмоклітин; ρ – швидкість вироблення антитіл однією плазмоклітиною; μ_f – коефіцієнт, обернено пропорційний до часу розпаду антитіл; η – кількість антитіл, що вимагається на нейтралізацію одного антигена; σ – коефіцієнт, що визначає швидкість загибелі клітин за рахунок пошкоджуючої дії антигена; μ_m – коефіцієнт, що враховує швидкість відновлення пошкодженого органа; τ – фаза запізнення (час, за який здійснюється формування каскаду плазмоклітин); $\xi(m)$ – неперервна незростаюча функція ($0 \leq \xi(m) \leq 1$), що характеризує порушення нормального функціонування імунної системи через значне пошкодження органа-мішені.

Перераховані параметри додатні та є специфічними для різних видів антигенів, органів, а також організмів.

8. Математична модель кібер-фізичної імуносенсорної системи на гексагональній решітці, яка ґрунтуються на системі диференціальних рівнянь із запізненням

8.1. Решітчаста модель взаємодії антиген-антитіло для гексагонального масиву імунопікселів

В роботі [13] побудовано математичну модель імуносенсора в класі диференціальних рівнянь із запізненням на гексагональній решітці і отримано умови стійкості її ендемічного стану рівноваги.

Розглянуто модель імуносенсора на основі гексагональної решітки. При цьому для нумерації імунопікселів (i, j, k) , $i, j, k = -N, N$, $i + j + k = 0$ використовується кубічна система координат [14].

Нехай $V_{i,j,k}(t)$ – концентрація антигенів, $F_{i,j,k}(t)$ – концентрація антитіл в імунопікселі (i, j, k) ; $i, j, k = -N, N$, $i + j + k = 0$.

Модель ґрунтується на таких біологічних припущеннях для довільного імунопікселя (i, j, k) .

1. Маємо деяку константу народжуваності $\beta > 0$ для популяції антигенів.
2. Антигени нейтралізує антитілами з деякою ймовірнісною швидкістю $\gamma > 0$.
3. Популяція антигенів прагне до деякої межі насичення зі швидкістю $\delta_v > 0$.
4. Маємо деяку дифузію антигенів з шести сусідніх пікселів $(i+1, j, k-1)$, $(i+1, j-1, k)$, $(i, j-1, k+1)$, $(i-1, j, k+1)$, $(i-1, j+1, k)$, $(i, j+1, k-1)$ (рис. 2) із швидкістю дифузії $D\Delta^{-2}$, где $D > 0$ і $\Delta > 0$ є відстанню між пікселями.
5. Маємо деяку постійну смертності антитіл $\mu_f > 0$.
6. В результаті імунної відповіді збільшується щільність антитіл з ймовірнісною швидкістю $\eta \gamma$.
7. Популяція антитіл прагне до деякого рівня насичення зі швидкістю $\delta_f > 0$.
8. Імунна відповідь настає з деякою постійною затримкою в часі $\tau > 0$.

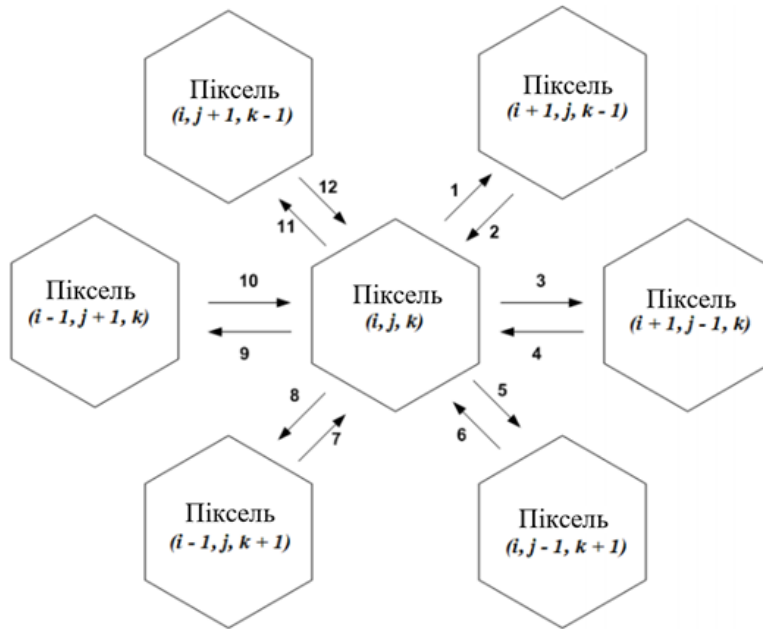


Рис. 2. Гексагональна решітка, яка пов'язує шість сусідніх пікселів в моделі з використанням кубічних координат

$$\begin{aligned}
 & 1, 3, 5, 8, 9, 11 \left(\frac{D}{\Delta^2} v_{i,j,k}(t) \right); 2 \left(\frac{D}{\Delta^2} v_{i+1,j,k-1}(t) \right); 4 \left(\frac{D}{\Delta^2} v_{i+1,j-1,k}(t) \right); \\
 & 6 \left(\frac{D}{\Delta^2} v_{i,j-1,k+1}(t) \right); 7 \left(\frac{D}{\Delta^2} v_{i-1,j,k+1}(t) \right); 10 \left(\frac{D}{\Delta^2} v_{i-1,j+1,k}(t) \right); 12 \left(\frac{D}{\Delta^2} v_{i,j+1,k-1}(t) \right).
 \end{aligned}$$

На основі цього розглянуто дуже просту конструкцію моделі антиген-антитіло із запізненням для гексагонального масиву імунопікселів, яка ґрунтується на добре відомій моделі Марчука [15, 16] і використовує просторовий оператор \hat{S} , запропонований в [17].

$$\begin{aligned}
 \frac{dV_{i,j,k}(t)}{dt} &= (\beta - \gamma F_{i,j,k}(t - \tau)) - \delta_v V_{i,j,k}(t - \tau) V_{i,j,k}(t) + \hat{S}\{V_{i,j,k}\} \\
 \frac{dF_{i,j,k}(t)}{dt} &= (-\mu_f + \eta \gamma V_{i,j,k}(t - \tau) - \delta_f F_{i,j,k}(t) F_{i,j,k}(t)) F_{i,j,k}(t)
 \end{aligned} \tag{1}$$

Модель (1) задана початковими функціями (2):

$$\begin{aligned}
 V_{i,j,k}(t) &= V_{i,j,k}^0(t) \geq 0, \quad F_{i,j,k}(t) = F_{i,j,k}^0(t) \geq 0, \quad t \in [-\tau, 0), \\
 V_{i,j,k}(0), \quad F_{i,j,k}(0) &> 0.
 \end{aligned} \tag{2}$$

Для гексагонального масиву використовується дискретна дифузія для просторового оператора.

$$\hat{S}\{V_{i,j,k}\} = \begin{cases} D\Delta^{-2} [V_{i+1,j,k-1} + V_{i+1,j-1,k} + V_{i,j-1,k+1} + V_{i-1,j,k+1} + V_{i-1,j+1,k} + V_{i,j+1,k-1} - 6nV_{i,j,k}] \\ i, j, k \in \{-N+1, N-1\}, \quad i+j+k=0. \end{cases} \tag{3}$$

Кожна колонія піддається впливу антигенів, вироблених в шести сусідніх колоніях, які розділені рівними відстанями Δ .

Використовується гранична умова $V_{i,j,k} = 0$ для пікселів (i, j, k) таких, що $i \in \{-N, N\} \vee j \in \{-N, N\} \vee k \in \{-N, N\}$; $i+j+k=0$.

8.2. Математичне моделювання динамічної логіки кіберфізичної імуносенсорної системи

Для математичного моделювання динамічної логіки КФІСС використовується синтаксис, який запропонований А. Платцером для загальної КФС [18] у вигляді мови програмування ГП. У випадку КФІСС перший рівень ГП є динамічною програмою, яка визначається наступною граматикою

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{dV_{i,j,k}(t)}{dt} = (\beta - \gamma F_{i,j,k}(t - \tau) - \delta_v V_{i,j,k}(t - \tau)) V_{i,j,k}(t) + \hat{S}\{V_{i,j,k}\}, \\
 \frac{dF_{i,j,k}(t)}{dt} &= (-\mu_f + \eta \gamma V_{i,j,k}(t - \tau) - \delta_f F_{i,j,k}(t) F_{i,j,k}(t)) F_{i,j,k}(t) \& \Phi_t
 \end{aligned} \tag{4}$$

У формулі (4) Φ_t є еволюційним доменним обмеженням у вигляді формули логіки першого порядку

$$\begin{aligned} \Phi_t &\stackrel{\text{def}}{=} V^{\min} \leq V_{i,j,k}(n) \leq V^{\max} \\ &\wedge F^{\min} \leq F_{i,j,k}(n) \leq F^{\max} \wedge i, j, k = \overline{-N, N} \wedge t > 0, \\ &i + j + k = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

В результаті зв'язування антигенів з антитілами в імунопікселі відбувається явище флуоресценції. Функціонування імунопікселя (i, j, k) визначається двома станами. А саме, S_{fl} є станом флуоресценції та S_{nonfl} є одним із нефлуоресцентних станів.

Інтенсивність флуоресценції пропорційна кількості контактів між антигенами та антитілами, тобто $k_{fl}V_{i,j,k}(t)F_{i,j,k}(t)$. Припускається, що піксель (i, j, k) знаходиться у стані флуоресценції, якщо

$$k_{fl}V_{i,j,k}(t)F_{i,j,k}(t) \geq \Theta_{fl},$$

де $\Theta_{fl} > 0$ є деяким пороговим значенням зв'язування, при якому відбувається явище флуоресценції.

Використавши в синтаксисі логіки першого порядку співвідношення задоволення $s| = L$ для формули логіки першого порядку L та стану S , можна визначити для конкретних пікселів (i, j, k) ; $i, j, k = \overline{-N, N}$, $i + j + k = 0$ стани S_{fl} і S_{nonfl} , як

$$\begin{aligned} s_{fl}| &= k_{fl}V_{i,j,k}(n)F_{i,j,k}(n) \geq \Theta_{fl}, \\ s_{nonfl}| &= k_{fl}V_{i,j,k}(n)F_{i,j,k}(n) < \Theta_{fl} \end{aligned} \quad (6)$$

Дискретні зміни відбуваються в комп'ютерних програмах, коли вони приймають нові значення для змінних.

Така ситуація відбувається у випадку виникнення явища флуоресценції в пікселі (i, j, k) , $i, j, k = \overline{-N, N}$, $i + j + k = 0$. У стані флуоресценції змінній $S_{fl,i,j,k}$ присвоюється значення 1. Це веде до дискретної, стрибкоподібної зміни, оскільки значення $S_{fl,i,j,k}$ змінюється миттєво.

8.3. Комп'ютерне моделювання динамічної логіки кібер-фізичної імуносенсорної системи

З метою комп'ютерного моделювання КФІСС використано мову програмування R та середовище розробки R Studio. Це пов'язано з тим, що, незважаючи на велике різноманіття мов програмування, які використовуються при розробці КФС (Assembly, C, C++, D, Java, JavaScript, Python, Ada та ін. [19]) мова R широко використовується в даний час у багатьох галузях, що займаються машинним навчанням і з чим будуть пов'язані подальші дослідження. Візуалізація даних в комп'ютерному моделюванні здійснена за допомогою пакету ggplot.

Чисельні експерименти на основі комп'ютерного моделювання проводилися із врахуванням цілого натурального числа N , яке характеризує кількість пікселів в гексагональній решітці. Розглянемо модель (15) при $N = 4$, $\beta = 2\chi\mathbb{B}^{-1}$, $\gamma = 2\frac{\text{мл}}{\chi\mathbb{B} \cdot \text{мкг}}$, $\mu_f = 1\chi\mathbb{B}^{-1}$, $\eta = \frac{0.8}{\gamma}$, $\delta_v = 0.5\frac{\text{мл}}{\chi\mathbb{B} \cdot \text{мкг}}$, $\delta_f = 0.5\frac{\text{мл}}{\chi\mathbb{B} \cdot \text{мкг}}$, $n = 0.9$, $D = 0.2$, $\Delta = 0.3$. було реалізовано для різних значень τ .

Результат комп'ютерного моделювання моделі (15) при $\tau = 0.25$ з набором значень параметрів, які представлені вище, наведено на рис. 3.

Згідно рис. 3 спостерігаємо якісні зміни поведінки імунопікселів та моделі КФІСС в цілому. Аналізуючи фазові діаграми популяції антигенів щодо антитіл (рис. 3) можна зробити висновок, що при $\tau = 0.25$ виникає біфуркація Хопфа. Для теоретичного обґрунтування виникнення біфуркації Хопфа необхідно обчислити відповідну пару чисто уявних розв'язків характеристичного рівняння лінеаризованої системи (15). Результати чисельного моделювання узгоджені з теоретичними результатами на основі теореми про біфуркацію Хопфа [20]. При цьому розв'язок системи (15) прагне до стійкого граничного циклу з двома локальними екстремумами (один локальний максимум і один локальний мінімум) в циклі.

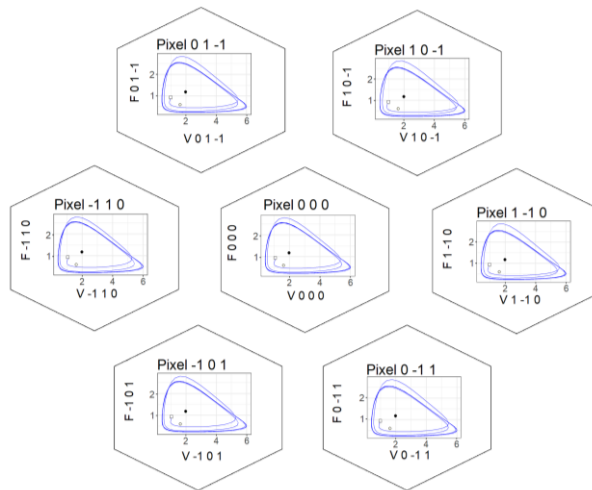


Рис. 3. Результати чисельного моделювання системи (15) при $\tau = 0.25$.

Зображення фазових площин в координатах $(V_{i,j,k}, F_{i,j,k})$ для пікселя $(0,0,0)$ і його шести сусідніх пікселів. Позначення: \square – початковий стан, \circ – ідентичний сталий стан, \bullet – неідентичний сталий стан

Для комп’ютерного моделювання кібер-фізичної моделі імуносенсора було використано решітчасті графіки. Спочатку побудовано відповідні графіки, на яких для кожного пікселя представлено ймовірність контакту антигенів з антитілами, як $V_{i,j,k} \times F_{i,j,k}$ при $\tau = 0.25$ (рис. 4).

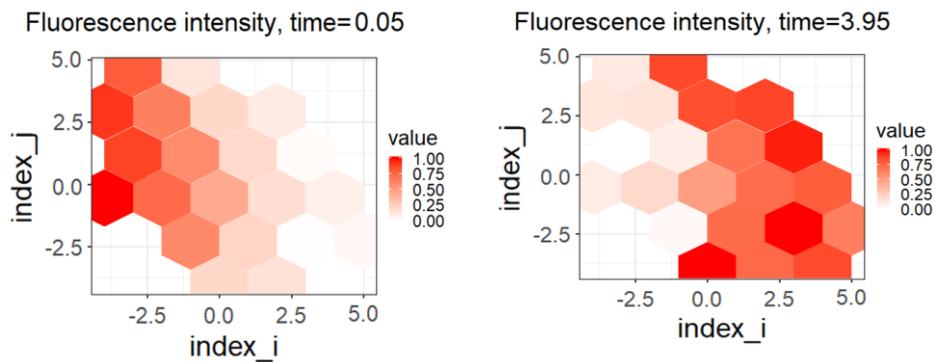


Рис. 4. Решітчасті зображення ймовірності зв’язків антигенів з антитілами в пікселях системи (15) при $\tau = 0.25$

На другому етапі комп’ютерного моделювання КФІСС отримано решітчасті графіки флуоресціюючих пікселів на основі виконання умови (20), які наведені на рис. 5.

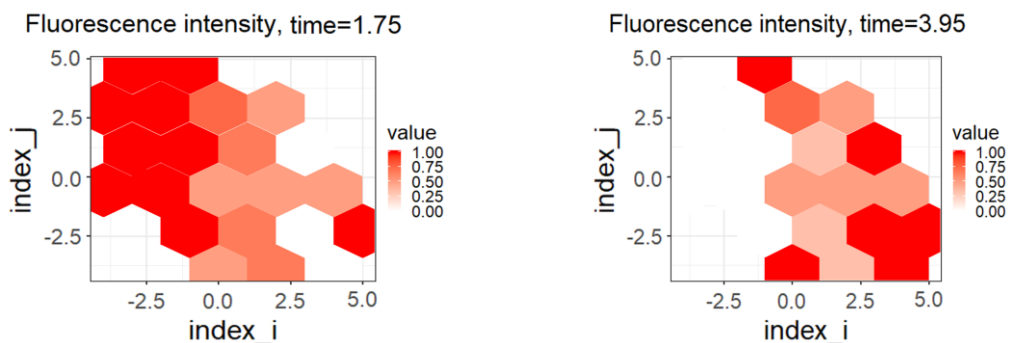


Рис. 5. Зображення флуоресценціюючих пікселів системи (15) при $\tau = 0.25$

В якості прикладу завершального етапу комп’ютерного моделювання КФІСС отримано вигляд електричного сигналу перетворювача, який характеризує число флуоресціюючих пікселів в залежності від різного значення запізнення в часі τ (рис. 6). Для чисельного моделювання КФІСС було використано порогове значення для флуоресценції $\Theta_{fl} = 1,5$.

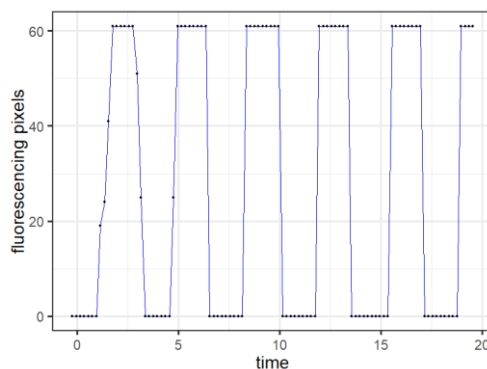


Рис. 6. Електричний сигнал з перетворювача, який характеризує кількість флуоресціюючих пікселів при $\tau = 0.25$

Як показали результати чисельного аналізу, флуоресціюючі стани в імунопікселях змінюються відповідно до законів дискретної динаміки.

Висновки

У роботі розглянуто підходи до моделювання фізико-хімічних та біологічних процесів диференціальними рівняннями: закон радіоактивного розпаду, закон поглинання іонізуючого випромінювання середовищем, закон розмноження бактерій, закон розчинення лікарської речовини з таблетки, хімічні реакції першого та другого порядку, математична модель Г.І. Марчука, математична модель кібер-фізичної імуносенсорної системи на гексагональній решітці з використанням системи диференціальних рівнянь із запізненням. Представлено результати математичного моделювання у вигляді результатів чисельного моделювання динамічної логіки кібер-фізичної імуносенсорної системи. Отримано фазові площини в координатах $(V_{i,j,k}, F_{i,j,k})$ для пікселя $(0,0,0)$ і його шести сусідніх пікселів, решітчасті зображення ймовірності зв'язків антигенів з антитілами, зображення флуоресценціюючих пікселів, електричний сигнал з перетворювача, який характеризує кількість флуоресціюючих пікселів.

Отже, з метою підвищення науково-дослідного інтересу студентів при вивченні природничих дисциплін та покращення рівня розуміння навчального матеріалу з дисциплін «Біофізика з фізичними методами аналізу» та «Вища математика» слід на заняттях інформувати студентів про найновітніші відкриття в даній галузі знань, особливу увагу приділяти науковим розробкам сучасних наукових математичних та фізичних шкіл, адже це значною мірою є мотиваційним фактором формування майбутніх фахівців в галузі медицини, фармації, біології. Ознайомлення студентів з актуальними результатами власних наукових досліджень дає змогу зацікавити їх процесом моделювання медико-біологічних процесів з використанням диференціальних рівнянь, мотивуючи їх до власних наукових досліджень та розроблення різного роду біосенсорних пристроїв, включаючи швидке тестування на різні штами COVID-19 [21].

Література

1. Олар О. І., Микитюк О. Ю., Федів В. І., Остафійчук Д. І. Методи математичного моделювання як важливий розділ знань для студентів медичних та фармацевтичних спеціальностей. Наукова промисловість Європейського континенту – 2013 : зб. матеріалів ІХ Міжнар. наук.-практ. конф. – Прага : Publishing House “Education and Science”, 2013. – Режим доступу : <https://core.ac.uk/download/pdf/144954141.pdf>.
2. Філоненко Н., Коченов А., Гнатюк І. Математичне моделювання в фізиці. Наукові записки. – Вип. 10. – Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти. Частина 2. – Кіровоград : РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2016. – С. 89–92.
3. Martsenyuk V.P., Sverstiuk A.S., Klos-Witkowska A., Horkunenkeno A.B., Rajba S. Vector of Diagnostic Features in the Form of Decomposition Coefficients of Statistical Estimates Using a Cyclic Random Process Model of Cardiosignal. *The 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, 18–21 September*. Metz, 2019. Vol. 1. P. 298–303.
4. Марценюк В.П., Сверстюк А.С. Комп'ютерна модель кібер-фізичної імуносенсорної системи з використанням решітчастих диференціальних рівнянь із запізненням на гексагональній решітці. *Науковий журнал Радіоелектроніка, інформатика, управління*. 2019. № 2 (49). С. 131–139.
5. Martsenyuk V., Klos-Witkowska A., Sverstiuk A. Stability investigation of biosensor model based on lattice difference equations. *Difference Equations and Discrete Dynamical Systems with Applications. Springer Proceedings in Mathematics and Statistics. 24th ICDEA, Dresden, Germany*. 2020. Vol. 312. P. 297–322.
6. Nakonechnyi O., Martsenyuk V., Sverstiuk A. On Application of Kertesz Method for Exponential Estimation of Neural Network Model with Discrete Delays. In: *Zawiślak S., Rysiński J. (eds) Engineer of the XXI Century. Mechanisms and Machine Science. Springer, Cham. Projekt interdyscyplinary projektem XXI wieku*. 2020. Vol. 70. P. 165–176.
7. Марценюк В.П., Сверстюк А.С., Дзядевич С.В., Семенець А.В., Паляниця Ю.Б., Сидоров О.П. Математична модель імуносенсорів для моніторингу навколишнього середовища. Матеріали Першого

міжнародного україно-німецького симпозиуму Громадське здоров'я в соціальному і освітньому просторі – виклики сьогодення і перспективи розвитку 25–26 вересня 2019 р: Тернопіль, 2019. С. 7–10.

8. Марценюк В.П., Сверстюк А.С., Дорош Н.В., Семенець А.В., Кучвара О.М., Паляниця Ю.Б., Кравець Н.О., Климук Н.Я. Розробка математичної моделі кіберфізичної біосенсорної системи для фізичної реабілітації. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції Перспективи розвитку медичної та фізичної реабілітації на різних рівнях надання медичної допомоги, 10–11 жовтня 2019 р.: Тернопіль, 2019. С. 116–119.

9. Марценюк В.П., Сверстюк А.С., Семенець А.В., Андрущак І.Є., Кучвара О.М., Паляниця Ю.Б., Багрій-Заяць О.А., Горкуненко А.Б. Математична модель кіберфізичної біосенсорної системи для клініко-лабораторної діагностики. Збірник тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції Прикладні аспекти морфології експериментальних і клінічних досліджень, 10–11 жовтня 2019 р.: Тернопіль, 2019. С. 116–119.

10. Martsenyuk V. Cyber-physical model of the immunosensor system at the hexagonal lattice with the use of differential equations of the population dynamics / A. Sverstiuk // Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries. – 2019. – № 1. – p.75-83.

11. Сверстюк А.С. Моделювання кібер-фізичної імуносенсорної системи на прямокутній решітці з використанням решітчастих диференціальних рівнянь із запізненням / А.С. Сверстюк // Сенсорна електроніка та мікросистемні технології. – 2019. – № 2. – С. 53–65.

12. Сверстюк А.С. Про кібер-фізичну модель імуносенсорної системи на прямокутній решітці з використанням різницевих рівнянь популяційної динаміки / А.С. Сверстюк // Вісник ТНТУ. – 2018. – № 4. – С. 147-161.

13. Sverstiuk A.S. Research of Global Attractability of Solutions and Stability of the Immunosensor Model Using Difference Equations on the Hexagonal Lattice / A.S. Sverstiuk // “Innovative biosystems and bioengineering”. – 2019. – Vol. 3, № 1. – С. 17-26. doi: 10.20535/ibb.2019.3.1.157644.

14. Інтернет-ресурс: <https://www.redblobgames.com/grids/hexagons/>.

15. C.C. McCluskey, “Complete global stability for an SIR epidemic model with delay — distributed or discrete,” Nonlinear Analysis: Real World Applications, vol. 11, no. 1, pp. 55–59, Feb. 2010. doi: 10.1016/j.nonrwa.2008.10.014. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.nonrwa.2008.10.014>.

15.1 Nakonechny and V. Marzeniuk, “Uncertainties in medical processes control,” Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, vol. 581, pp. 185–192, 2006, cited By 2. doi: 10.1007/3-540-35262-7_11. [Online]. Available: https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-53749093113&doi=10.1007%2f3-540-35262-7_11&partnerID=40&md5=03be7ef103cbbc1e94cacbb471daa03f.

15.1.1 Prindle, P. Samayoa, I. Razinkov, T. Danino, L. S. Tsimring, and J. Hasty, “A sensing array of radically coupled genetic ‘biopixels,’” Nature, vol. 481, no. 7379, pp. 39–44, Dec. 2011. doi: 10.1038/nature10722. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1038/nature10722>.

15.2 Platzer, “Differential dynamic logic for hybrid systems.,” J. Autom. Reas., vol. 41, no. 2, pp. 143–189, 2008, ISSN: 0168-7433. DOI: 10.1007/s10817-008-9103-8.

16. Martsenyuk V. Stability, bifurcation and transition to chaos in a model of immunosensor based on lattice differential equations with delay / A. Klos-Witkowska, A. Sverstiuk // Electronic Journal of Qualitative Theory of Differential Equations: No. 2018(27), p. 1-31. DOI: 10.14232/ejqtde.2018.1.27.

17. Hale J. K., Lunel S. M. V. Introduction to functional differential equations. Springer Science & Business Media, 2013, vol. 99.

18. Suhad Abbas Abid, Ahmed Ahmed Muneer, Israa M.S. Al-Kadmy, Anas A. Sattar, Amany Magdy Beshbishy, Gaber El-Saber Batiha, Helal F. Hetta. Biosensors as a future diagnostic approach for COVID-19, Life Sciences, Volume 273, 2021, 119117, ISSN 0024-3205, <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2021.119117>.

References

1. Olar O. I., Mykytiuk O. Yu., Fediv V. I., Osta fiichuk D. I. Metody matematychnoho modeliuвання yak vazhlyvyi rozdil znan dla studentiv medychnykh ta farmatsevtichnykh spetsialnostei. Naukova promyslovist Yevropeiskoho kontynentu – 2013 : zb. materialiv IX Mizhnar. nauk.-prakt. konf. – Praha : Publishing House “Education and Science”, 2013. – Rezhym dostupu : <https://core.ac.uk/download/pdf/144954141.pdf>.

2. Filonenko N., Kochenov A., Hnatiuk I. Matematychno modeliuвання v fizytsi. Naukovi zapysky. – Vyp. 10. – Seriya: Problemy metodyky fizyko-matematychnoi i tekhnolohichnoi osvity. Chastyna 2. – Kirovohrad : RVV KDPU im. V. Vynnychenka, 2016. – S. 89–92.

3. Martsenyuk V.P., Sverstiuk A.S., Klos-Witkowska A., Horkunenko A.B., Rajba S. Vector of Diagnostic Features in the Form of Decomposition Coefficients of Statistical Estimates Using a Cyclic Random Process Model of Cardiosignal. The 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, 18–21 September. Metz, 2019. Vol. 1. P. 298–303.

4. Martsenyuk V.P., Sverstiuk A.S. Kompiuterna model kiber-fizychnoi imunosensornoj systemy z vykorystanniam reshitchastykh dyferentsialnykh rivnyan iz zapiznenniam na heksahonalnij reshitti. Naukovyi zhurnal Radioelektronika, informatyka, upravlinnia. 2019. № 2 (49). S. 131–139.

5. Martsenyuk V., Klos-Witkowska A., Sverstiuk A. Stability investigation of biosensor model based on lattice difference equations. Difference Equations and Discrete Dynamical Systems with Applications. Springer Proceedings in Mathematics and Statistics. 24th ICDEA, Dresden, Germany. 2020. Vol. 312. P. 297–322.

6. Nakonechnyi O., Martsenyuk V., Sverstiuk A. On Application of Kertesz Method for Exponential Estimation of Neural Network Model with Discrete Delays. In: Zawislak S., Rysiński J. (eds) Engineer of the XXI Century. Mechanisms and Machine Science. Springer, Cham. Projekt interdyscyplinary projektem XXI wieku. 2020. Vol. 70. P. 165–176.

7. Martseniuk V.P., Sverstiuk A.S., Dziadevych S.V., Semenets A.V., Palianytsia Yu.B., Sydorov O.P. Matematychna model imunosensoryv dlia monitorynhu navkolyshnoho sere dovysshcha. Materialy Pershoho mizhnarodnoho ukraino-nimetskoho sympoziumu Hromadske zdorovia v sotsialnomu i osvithnomu prostori – vyklyky sohodennia i perspektyvy rozvytku 25–26 veresnia 2019 r. Temopil, 2019. S. 7–10.
8. Martseniuk V.P., Sverstiuk A.S., Dorosh N.V., Semenets A.V., Kuchvara O.M., Palianytsia Yu.B., Kravets N.O., Klymuk N.Ia. Rozrobka matematychnoi modeli kiberfyzichnoi biosensomoi systemy dlia fizychnoi reabilitatsii. Materialy Vseukraïnskoi naukovo-praktychnoi konferentsii Perspektivy rozvytku medychnoi ta fizychnoi reabilitatsii na ryznykh rinvniakh nadannia medychnoi dopomohy, 10–11 zhovtnia 2019 r.: Temopil, 2019. S. 116–119.
9. Martseniuk V.P., Sverstiuk A.S., Semenets A.V., Andrushchak I.Ie., Kuchvara O.M., Palianytsia Yu.B., Bahrii-Zaiats O.A., Horkunenko A.B. Matematychna model kiberfyzichnoi biosensomoi systemy dlia kliniko-laboratomoï diahnozyky. Zbirnyk tez dopovidei Vseukraïnskoi naukovo-praktychnoi konferentsii Prykladni aspekty morfolohii eksperymentalnykh i klinichnykh doslidzhen, 10–11 zhovtnia 2019 r.: Temopil, 2019. S. 116–119.
10. Martsenyuk V. Cyber-physical model of the immunosensor system at the hexagonal lattice with the use of differential equations of the population dynamics / A. Sverstiuk // Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries. – 2019. – № 1. – p.75-83.
11. Sverstiuk A.S. Modeliuvannia kiber-fyzichnoi imunosensomoi systemy na priamokutnii reshitti z vykorystanniam reshitcha stykh dyferentsialnykh rinvian iz zapiznenniam / A.S. Sverstiuk // Sensorna elektronika ta mikrosystemni tekhnolohii. – 2019. – № 2. – S. 53–65.
12. Sverstiuk A.S. Pro kiber-fyzichnu model imunosensomoi systemy na priamokutnii reshitti z vykorystanniam rinvnykh rinvian populiatsiinoï dynamiky / A.S. Sverstiuk // Visnyk TNTU. – 2018. – № 4. – S. 147-161.
13. Sverstiuk A.S. Research of Global Attractability of Solutions and Stability of the Immunosensor Model Using Difference Equations on the Hexagonal Lattice / A.S. Sverstiuk // “Innovative biosystems and bioengineering”. – 2019. – Vol. 3, № 1. – S. 17-26. doi: 10.20535/ibb.2019.3.1.157644.
14. Internet-resurs: <https://www.redblobgames.com/grids/hexagons/>.
15. C.C. McCluskey, “Complete global stability for an SIR epidemic model with delay — distributed or discrete,” *Nonlinear Analysis: Real World Applications*, vol. 11, no. 1, pp. 55–59, Feb. 2010. doi: 10.1016/j.nonrwa.2008.10.014. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.nonrwa.2008.10.014>.
- 15.1 Nakonechny and V. Marzeniuk, “Uncertainties in medical processes control,” *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, vol. 581, pp. 185–192, 2006, cited By 2. doi: 10.1007/3-540-35262-7_11. [Online]. Available: https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-53749093113&doi=10.1007%2F3-540-35262-7_11&partnerID=40&md5=03be7ef103cbb1e94cacbb471daa03f.
- 15.1.1 Prindle, P. Samayoa, I. Razinkov, T. Danino, L. S. Tsimring, and J. Hasty, “A sensing array of radically coupled genetic ‘biopixels,” *Nature*, vol. 481, no. 7379, pp. 39–44, Dec. 2011. doi: 10.1038/nature10722. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1038/nature10722>.
- 15.2 Platzer, “Differential dynamic logic for hybrid systems,” *J. Autom. Reas.*, vol. 41, no. 2, pp. 143–189, 2008, ISSN: 0168-7433. DOI: 10.1007/s10817-008-9103-8.
16. Martsenyuk V. Stability, bifurcation and transition to chaos in a model of immunosensor based on lattice differential equations with delay / A. Klos-Witkowska, A. Sverstiuk // *Electronic Journal of Qualitative Theory of Differential Equations*: No. 2018(27), r. 1-31. DOI: 10.14232/ejqtde.2018.1.27.
17. Hale J. K., Lunel S. M. V. *Introduction to functional differential equations*. Springer Science & Business Media, 2013, vol. 99.
18. Suhad Abbas Abid, Ahmed Ahmed Muneer, Israa M.S. Al-Kadmy, Anas A. Sattar, Amany Magdy Beshbishy, Gaber El-Saber Batiha, Helal F. Hetta. Biosensors as a future diagnostic approach for COVID-19, *Life Sciences*, Volume 273, 2021, 119117, ISSN 0024-3205, <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2021.119117>.

Рецензія/Peer review : 08.09.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.10.2021 р.

МИХАЙЛОВА Н. В.

Східноукраїнський національний університет ім. В.Даля, м. Северодонецьк

ПРИВАЛА В. О.

Хмельницький національний університет

ORCID ID: 0000-0003-3465-6369

pva2012hnu@gmail.com

ОБҐРУНТУВАННЯ І РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ІЗОЛЮЮЧОГО КОСТЮМУ ДЛЯ РОБІТНИКІВ ХІМІЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

У роботі викладено основні підходи щодо процесу проектування ізолюючих костюмів, які призначені для забезпечення роботи слюсарів-ремонтників під час виконання чищення резервуарів для транспортування хімічно агресивних речовин і сполук. В публікації виконано обґрунтування вибору методики побудови конструкції майбутнього захисного виробу із матеріалів з полімерним покриттям. Вперше запропоновано систему конструктивних прибавок для проектування ізолюючих костюмів.

Ключові слова: хімічна промисловість, закриті ємності, безпека життя, умови праці, захисний одяг, етапи проектування, шкідливі умови, агресивне середовище, ізолюючий костюм.

MIHAILOVA NINA V.

Eastern National University. Volodymyr Dahl, m. Severodonetsk

PRIVALA VALERIY O.

Khmelnitsky National University

SUBSTANTIATION AND DEVELOPMENT OF THE STRUCTURE OF THE INSULATING SUIT FOR CHEMICAL INDUSTRY WORKERS

At the domestic enterprises of the chemical industry, the issue of providing special clothing for protection against aggressive factors, is always relevant. This is due to the constant development of the chemical industry and the creation of new compounds and materials. For the normal exploitation of chemical containers at each chemical enterprise, there are brigades of locksmiths and apparatusists who, in the presence of gas rescuers, regularly carry out regular and repair work, preparation of containers for receiving and transporting, as well as cleaning from the remains of chemical products. Key words: chemical industry, closed tanks, safety of life, working conditions, protective clothing, design stages, harmful conditions, aggressive environment, insulating suit.

According to the results of the analysis of the properties of modern materials for the production of protective suits for workers in the chemical industry, the most suitable materials are those with a polymer coating. However, the process of creating a design and making modern protective clothing from such materials is associated with the solution of many design problems. This publication discusses in detail the practical approach to solving them.

Key words: chemical industry, closed tanks, safety of life, working conditions, protective clothing, design stages, harmful conditions, aggressive environment, insulating suit.

Постановка проблеми

На вітчизняних підприємствах хімічної промисловості питання забезпечення спеціальним одягом для захисту від агресивних середовищ завжди є актуальним. Це пов'язано з постійним розвитком хімічної промисловості та створенням нових хімічних сполук і матеріалів.

Як саму сировину для хімічних підприємств, так і готову продукцію, доставляють у великих ємностях за допомогою автомобільного або залізничного транспорту. Для нормальної експлуатації таких ємностей на кожному хімічному підприємстві є бригади слюсарів-апаратників, які постійно проводять регламентні і ремонтні роботи, підготовку ємностей до прийому і транспортування, а також очищення від залишків хімічної продукції. Очищення від забруднень може проводитися за наявності залишків агресивних середовищ різної концентрації.

З огляду на можливість присутності небезпечних і шкідливих виробничих факторів (НШВФ) вітчизняні слюсарі-апаратники екіпровані кислотозахисним сукопним костюмом (куртка, штани), рукавицями і гумовими чоботами. Крім зазначених засобів індивідуального захисту (ЗІЗ), робітник надягає рятувальний пояс, до якого кріпиться страхувальна мотузка, а також дихальний шланг від протигаза ПШ-1 або ПШ-2 [1, 2].

В результаті аналізу умов праці при очищенні ємностей від залишків хімічно активних речовин було встановлено, що ні сукопний костюм встановленого зразка, ні спеціальний костюм «Л-1», які видаються відповідно до «Табелю оснащення аварійними засобами», не відповідають таким основним захисним вимогам, як хемостійкість, динаміка при низьких температурах, зручність і надійність в експлуатації. Крім того, вони мають низький ступінь захисної ефективності [3]. На нашу думку, вирішенням цієї задачі може бути створення спеціального ізолюючого костюму (ІК).

Аналіз останніх джерел

Сучасний світовий ринок з розробки і реалізації виробничого захисного одягу для використання в різноманітних шкідливих умовах праці постійно розвивається і періодично пропонує нові конструктивні і технічні рішення [4–8]. Проте близько 80 % такого одягу спрямовані на створення захисту тільки від вологи та переохолодження. Що стосується комплексного захисту від впливу цілої низки хімічно агресивних

речовин, які присутні на хімічних підприємствах, то створення такого одягу вимагає особливих матеріалів і відповідних методів для роботи з ними. В результаті аналізу матеріалів для ІК обрано матеріали з полімерним покриттям, які дозволяють надати необхідний комплексний захист слюсарям-апаратникам хімічних підприємств [4, 6, 7].

Разом з тим, матеріали з полімерним покриттям мають наступні особливостей, які необхідно враховувати при моделюванні і конструюванні ізолюючих костюмів:

– матеріали з полімерним покриттям виключають теплову обробку, тому отримати об'ємні форми можна тільки завдяки конструкції;

– унеможлиблюється використання деяких видів швів (розпрасований, запрасований та ін.), а фіксація швів з'єднання можлива тільки шляхом настроювання (або розстроювання) їх припусків;

– через значну жорсткість зазначених матеріалів драпируемість теж унеможлиблюється.

Процес розробки художньо-конструкторського рішення нових моделей одягу включає наступні етапи: вивчення і аналіз моделі; підбір відповідної базової основи конструкції, уточнення базової основи і перенесення на неї модельних особливостей; перевірка правильності розробки конструкції моделі [9–11].

При створенні конструкції основ ІК із матеріалів з полімерним покриттям необхідну об'ємну форму отримують за рахунок використання різних виточок та вертикальних або горизонтальних розрізів певної конфігурації. При цьому не рекомендується велика кількість швів, оскільки їх наявність значно збільшує витрати часу на їх обробку, зокрема на їх обов'язкову герметизацію за рахунок проклеювання. При конструюванні ізолюючих костюмів необхідно пам'ятати, що деталі виробу потрібно проектувати без використання посадки і відтягнення деталей (вшивання рукава в пройму, каптура в горловину та ін.) [12–14].

Особливу увагу при розробці деталей ІК необхідно звернути на створення об'ємної форми у верхній частині виробу не порушуючи його посадку на опорну поверхню (лінію плеча). В даний час, в швейній промисловості немає будь-якої системи конструювання подібних виробів індивідуального захисту (ІЗ), що ускладнює розробку їх конструкцій і підготовку відповідного виробництва. Технічні розрахунки конструкції, в основному, розробляються на основі розмірної типології (ОСТ 17-325-86).

Метою роботи є: з урахування вище викладеного матеріалу, підтверджено нагальну необхідність в розробці нових видів індивідуального захисту для робітників хімічних виробництв. Конструкція ІК, його маса і її розподіл по поверхні тіла не повинні викликати обмеження рухливості і працездатності людини, перешкоджати ефективному виконанню роботи, пересуванню працюючих і виходу з об'єкта в разі аварійної ситуації. Вибір конструкції ізолюючого костюму повинен проводитися з урахуванням особливостей умов праці, в яких передбачається їх використання, що дозволяє створити конструкцію, яка забезпечує безпеку і гігієну праці та не заважає рухам людини [2].

Виклад основного матеріалу

Першим етапом роботи є побудова базової конструкції майбутнього виробу. Для її побудови використана методика ЦОТШЛ, а також рекомендації ЦНШП з конструювання спеціального одягу, технічні умови ТУ 17-08-216-84 «Основні параметри базових конструкцій спеціального одягу. Комбінезони чоловічі», ОСТ 17-325-86 «Типові фігури чоловіків. Розмірні ознаки для проектування одягу».

Розміри деталей одягу і довжину окремих конструктивних відрізків визначено відповідно до розмірних ознак або встановлено розрахунковим способом на основі провідних розмірних ознак. При цьому слід зазначити, що форма ІК не зовсім точно повторює форму поверхні тіла людини і має відносно щільне прилягання тільки на опорних ділянках.

При конструюванні ІК необхідно врахувати свободу рухів, дихання і створити повітряний прошарок для забезпечення шкірного дихання, що безпосередньо впливатиме на якість теплообміну. Крім того слід передбачити певний зазор між тілом людини і ІК для тимчасового накопичення відпрацьованого повітря, яке виходить на зовні (за межі ізолюючого костюму) через клапана скидання надлишкового тиску. З цією метою слід передбачити технічні надбавки до деяких параметрів конструкції.

Основним припуском при конструюванні виробничого одягу є припуск на вільне облягання P_c , який можна розглядати як мінімально необхідний припуск на вільне облягання P_{min} плюс величина, що враховує динаміку руху (ДДР):

$$P_c = P_{min} + ДДР, \quad (1)$$

Величину мінімально-необхідного припуску на свободу дихання і руху для ІК розраховують виходячи з максимальних змін розмірів тіла в динаміці. Нормальний теплообмін, а також шкірне дихання, неможливі без наявності в одязі повітряного прошарку. В ізолюючих костюмах, виготовлених з матеріалів з полімерним покриттям, внаслідок відсутності повітропроникності і незначній деформації цих матеріалів, загальну величину припуску на вільне облягання збільшують для підтримки нормального теплообміну.

В результаті робочої діяльності людини змінюються деякі фізичні розміри костюму, що характеризується динамічними приростами величин окремих розмірних ознак, які впливають на конструкцію виробу в цілому. Ця особливість важлива при розробці конструкції ІК, які повинні забезпечувати не тільки захист від особливо небезпечних шкідливих речовин (ОНШР), а й зручність при роботі. Під час проведення робіт з очищення ємностей від залишків ОНШР ряд розмірних ознак (ширина спини, довжина спини до талії, висота плеча коса, відстань від лінії талії до площини сидіння, відстань від

лінії талії до коліна) мають значне збільшення параметрів, а отже, частини спецодягу прилегли до цих ділянок тіла будуть відчувати найбільшого розтягнення.

У конкретних умовах підприємства ЗАТ «Об'єднання» Азот»м Северодонецьк, Луганської області були проведені експерименти по виявленню рівнів вмісту шкідливих речовин в робочій зоні і визначені характерні руху робочих під час очищення емностей. В результаті визначено топографію зносу діючого спеціального одягу (суконні костюми) та встановлено площу їх ураження [1, 2].

В ході дослідження характерних поз і рухів при роботі в закритих емностях і частоти їх повторюваності, виявлено 11 основних поз, які мають найбільший вплив на зміну ділянок по поверхні тіла і визначено відсоток їх повторюваності [2]. При виборі збільшень використовувалися дані досліджень: Савельєвої І.М., Коблякової Є.Б., Дейнеки І. Г., Остапенко Н.В., Колосніченко М.В. та ін. [15–18].

Основні значні зміни величин приросту (табл. 1) спостерігаються на ділянках спини, пройми і відстаней від лінії талії до лінії сидіння та інші. Вивчення характеру основних рухів дозволяє створити зручний ізолюючий костюм, з точки зору правильного вибору і розподілу припуску на вільне облягання по ділянках спинки, пройми і переду, тим самим забезпечивши відповідність конструкції характеру роботи. Таким чином, ІК тільки в тому випадку будуть відповідати своєму призначенню, якщо при конструюванні будуть правильно враховані умови праці.

Таблиця 1

Величини динамічних приростів

Номер динамічної пози	Характеристика динамічної пози відповідного робочого руху	Вимірювання фігури	Позначення	Величина динамічного збільшення	
				%	см
1	2	3	4	5	6
1	Корпус розташовується горизонтально з упором на лікті і коліна	Довжина спинки до лінії талії	Д _{ст}	12,0	5,8
		Ширина спини	Ш _с	42,6	8,7
		Відстань від лінії талії до площини сидіння	Д _с	45,6	9,0
		Обхват руки в ліктьовому суглобі	О _{лок}	20,0	5,5
		Обхват ноги в колінному суглобі	О _{ноги}	4,4	1,9
		Відстань від лінії талії до коліна	Д _{ткол}	14,4	5,4
2	Положення сидячи навпочіпки, руки зігнуті в ліктях і витягнуті вперед	Довжина спинки до лінії талії	Д _{ст}	9,0	4,5
		Ширина спини	Ш _с	7,5	4,5
		Відстань від лінії талії до площини сидіння	Д _с	30,6	9,0
		Обхват талії	О _т	4,4	1,9
		Обхват стегна	Об	5,7	9,0
		Обхват ноги в колінному суглобі	О _{ноги}	14,4	5,4
		Довжина ноги	Д _{ноги}	12,0	8,7
		Відстань від лінії талії до коліна	Д _{ткол}	8,0	3,9
3	Положення стоячи на колінах, руки зігнуті в ліктях і витягнуті вперед	Довжина спинки до лінії талії	Д _{тс}	9,0	4,5
		Ширина спини	Ш _с	7,5	1,5
		Відстань від лінії талії до площини сидіння	Д _с	30,5	6,1
		Висота плеча коса	В _{пк}	16,0	7,8
		обхват стегна	Об	5,7	9,0
		Обхват талії	О _т	3,2	2,9
		Обхват руки в ліктьовому суглобі	О _{лок}	14,4	5,7
4	Повний нахил тулуба вперед: голова нахилена вниз, ноги злегка зігнуті в колінному суглобі, руки опущені вниз.	Довжина спини до лінії талії	Д _{тс}	12,0	5,8
		Висота плеча коса	В _{пк}	16,0	7,8
		Відстань від талії до підягодичної складки	Д _с	45,6	9,0
		Відстань від талії до коліна	Д _{ткол}	4,3	2,5
5	Рука зігнута в ліктьовому суглобі під кутом 90°, передпліччя і кисть руки спрямовані вперед	Відстань від пахвовій западини до ліктя	Д _{лл}	11,8	2,6
		Відстань від пахвовій западини до кисті	Д _{лк}	9,2	4,2
6	Руки горизонтально витягнуті вперед, долоні стикаються один з одним	Ширина спини	Ш _с	39,9	7,5

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6
7	Рука зігнута в ліктьовому суглобі під кутом 90° і розташована в горизонтальній площині	Відстань від пахвової западини до кисті Обхват руки в ліктьовому суглобі Обхват плеча	$D_{лок}$ $O_{лс}$ $O_{п}$	24,1 20,0 8,8	14,1 5,5 2,8
8	Корпус нахилений вперед під кутом 30° до вертикалі. Руки трохи зігнуті в ліктях і витягнуті вперед	Довжина спини до лінії талії Ширина спини Відстань від лінії талії до площини сидіння Обхват талії Висота плеча коса	$D_{тс}$ $Ш_{с}$ $D_{с}$ $O_{т}$ $V_{пк}$	9,0 33,8 30,5 4,9 16,3	4,5 6,8 6,0 2,2 7,8
9	Руки підняті вгору, долоні сходяться одна з іншого	Відстань від лінії талії до заднього кута пахвової западини	$O_{гп}$	51,6	8,8
10	Корпус нахилений від вертикалі на кут 300 вперед, ноги розсунуті на широкий крок, руки зігнуті в ліктях і витягнуті вперед	Довжина спинки до лінії талії Ширина спини Відстань від лінії талії до площини сидіння Обхват ноги в колінному суглобі Обхват стегна	$D_{тс}$ $Ш_{с}$ $D_{с}$ $O_{кол}$ $O_{б}$	9,0 13,0 30,5 9,0 5,7	4,5 2,7 9,0 3,3 9,0
11	Ходьба	Обхват талії Обхват ноги в колінному суглобі Обхват руки в ліктьовому суглобі Відстань від лінії талії до площини сидіння Довжина талії до коліна	$O_{т}$ $O_{кол}$ $O_{лок}$ $D_{с}$ $D_{ткол}$	4,9 4,4 20,0 30,5 8,0	3,9 1,9 5,5 9,0 4,6

Згідно проведеного аналізу праці, слюсаря, які виконують роботу за очищенні закритих емностей, біля 28 % робочого часу проводять в робочих позах, при яких відбувається посилення механічного впливу в області коліна і ліктя. Розрахунок конструкції ізолюючого костюма представлений в таблиці 2, а саму конструкцію зображено і на рис. 1–3.

Таблиця 2

Розрахунок конструкції основних частин ізолюючого костюма

№ п/п	Умовне позначення конструктивної ділянки	Величина, см
1	2	3
Побудова спинки і полички комбінезону		
1	АГ	31,0 ↓
2	АТ	54,0 ↓
3	ТО	108,0 ↓
4	ТЯ	$108,0 - (83,0 - 4,0) = 29,0 ↓$
5	АА ₁	$\frac{1}{4} 58,0 - 1,5 = 13,0 →$
6	А ₁ А ₂	3,5 ↑
7	А ₂ А ₃	$16,0 + 7,5 = 23,5 →$
8	ГГ ₁	$\frac{1}{4} 108,0 + 12,0 = 39,0 →$
9	Г ₁ Г ₂	$\frac{1}{2} \left(\frac{54,0}{4} \right) = 7,0 ←$
10	Г ₂ П	$31,0 : 3,0 = 10,3 ↑$
11	ЯЯ ₁	$\frac{50,0}{2} + 10,0 = 35,0 →$
12	ЯЯ ₂	7,5 ←
13	Я ₂ Я ₃	$44,0 : 2 = 22,0 →$
14	Я ₃ Н	77,0 ↓
15	НН ₁ = НН ₂	12,5 ↔
16	НН ¹ = Н ₁ Н ₁ ¹ = Н ₂ Н ₂ ¹	3,0 ↓
17	Я ₂ К	$\frac{1}{2} 77,0 = 38,5 ↓$

Продовження табл. 2

1	2	3
18	КК ₁	2,0 →
19	ЯБ	3,0 ↙
20	АШ	15,5 ↓
21	ШШ ₁	$\frac{4}{5} 13,0 = 10,4 \rightarrow$
22	Ш ₁ Ш ₁ ¹	4,5
23	Т ₁ Т ₂	1,0 ↑
24	Т ₂ Т ₃	2,0 ↑
25	ТТ ₅	10,0 ↑
26	Т ₄ Т ₅	$\frac{1}{2} 38,0 = 19,0 \leftarrow$
27	Т ₄ Т ₆	1,0 ↓
28	ЯЯ ₄	11,0 ←
29	Я ₄ Я ₅	2,0 ↓
30	К ₁ К ₂	5,0 ←
31	Я ₅ Я ₆	$\frac{1}{2} 38,5 = 19,35 \downarrow$
32	Я ₆ Я ₇	2,5 →
33	Н ₂ Н ₃	5,0 ←
34	Н ₃ Н ₃ ¹	3,0 ↓
Побудова конструкції рукава		
1	А ₃ З	62,0 →
2	ЗР	5,0 →
3	РР ₁	18,0 ↓
4	З ₁ Р ₁	5,0 →
5	А ₃ Ж ₁	34,4 ↓
6	З ₁ Ж ₁	65,0 ←
7	З ₁ Л	$\frac{1}{2} 65,0 = 32,5 \leftarrow$
8	ЛЛ ₁	1,0 ↓
Побудова конструкції бічної частини каптура		
1	ОО ₁	8,0 ↑
2	О ₁ О ₂	16,0 ↑
3	ОВ	27,0 ←
4	ОА	14,0 ←
5	АА ₁	3,0 ↑
6	ВВ ₁	19,0 ↑
7	В ₁ В ₂	21,0 ↑
8	В ₁ Б	9,0 →
9	ББ ₁	6,0 ↑
10	Б ₂ Б ₃	4,0 ←
11	Б ₃ Б ₅	4,0 ↓
12	Б ₂ Б ₄	5,0 →
13	Б ₄ К	$\frac{1}{2} 20,0 = 10,0$
14	КК ₁	4,0 →
Побудова конструкції середній частині каптура		
1	ОВ	14,0 ←
2	ОО ₁	2,0 ↑
3	ВВ ₁	52,0 ↑
4	В ₁ О ₂	6,0 →
Побудова конструкції основної частини панчохи		
1	ОО ₁	3,0 ↑
2	О ₁ О ₂	70,0 ↑
3	О ₂ О ₃	1,0 ↓
4	ОВ	38,5 →

Продовження табл. 2

1	2	3
5	ОН	$\frac{1}{2} 38,5 = 19,2 \rightarrow$
6	ВН ₁	0,7 ←
7	Н ₁ К ₀	1,7 ←
8	ВВ ₁	11,0 ↑
9	В ₁ В ₂	6,0 ↑
10	В ₁ К	9,0 ←
11	В ₂ К ₁	11,5 ←
12	К ₁ К ₂	$\frac{1}{2} 6,5 = 3,25 \downarrow$
13	К ₂ К ₃	1,5 →
Побудова конструкції сліду панчохи		
1	ОО ₁	32,0 ↑
2	ОН	7,2 →
3	НН ₁	3,6 ←
4	Н ₁ Н ₂	1,5 ↑
5	НН ₃	16,0 ↑
6	Н ₃ Н ₄	10,0 ↑
7	О ₁ В	5,0 →
8	ВВ ₁	2,5 ↓

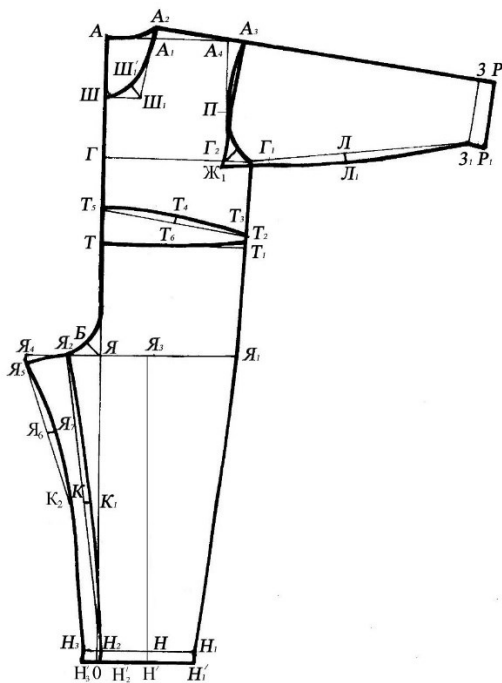


Рис. 1. Конструкція комбінезону: пілочка, спинка, рукав.

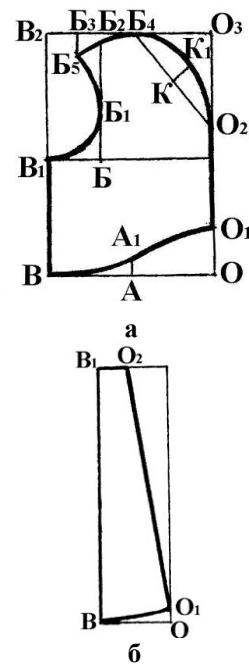
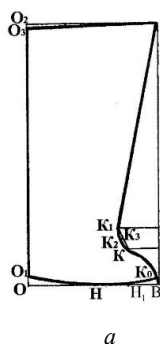
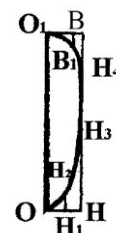


Рис. 2. Конструкція каптура:
а – бічна частина каптура;
б – середня частина каптура



а



б

Рис. 3. Конструкція панчохи: а – основна частина панчохи; б – слід панчохи

Висновки

Відповідно до аналізу умов праці слюсарів-апаратників, які займаються підготовкою та очищенням закритих ємностей від залишків мінеральних кислот, аміаку, лугів і розчинів солей на їх основі, згідно зі сформованими технічними вимогами до засобів індивідуального захисту, та з урахуванням топографії впливу ОНШР, запропоновано конструкторське рішення ізолюючого костюма, який передбачається виготовляти із матеріалів з полімерним покриттям. Конструкція даного ІК представлена у вигляді комбінезону з вшивними рукавами з поглибленою проймою, каптуром, герметичними панчолами, які повністю захищають робітника від впливу шкідливих речовин, а особливо від їх газоподібної фази. Ізолюючий костюм передбачається доукомплектувати засобами індивідуального захисту органів дихання, що зробить даний виріб повністю автономним. Експериментальним і розрахунковим методами вперше запропоновано систему конструктивних прибавок для проектування даних ізолюючих костюмів.

Література

1. Михайлова Н.В. Дослідження матеріалів, які використовують для виготовлення захисного одягу робітників-апаратників та слюсарів хімічної промисловості / Михайлова Н.В., Привала В.О. // Вісник ХНУ. – 2018. – №1. – С. 124–129.
2. Михайлова Н.В. Аналіз умов праці робітників, які виконують очищення закритих ємностей від хімічно агресивних речовин / Михайлова Н.В., Привала В.О. // Вісник ХНУ. – 2017. – №2. – С. 96–103.
3. Костюм защитный Л-1 (ОЗК) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://specprom-kr.com.ua/specodezhda/kostyum-zashchitnyj-l-1-ozk>
4. Виды спецодежды для защиты от химически агрессивных сред [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://pcgroup.ru/blog/vidy-specodezhdy-dlya-zaschity-ot-himicheskii-agressivnyh-sred/>
5. Требования к эксплуатации спецодежды при работе на химических производствах [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.znakcomplex.ru/poleznosti/example/specodezhda/trebovaniya-k-ekspluatatsii-specodezhdy-pri-rabote-na-ximicheskix-proizvodstvax.html>
6. Спецодежда и обувь с защитой от химических веществ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://forma-odezhda.ru/encyclopedia/specodezhda-i-obuv-s-zaschitoj-ot-himicheskix-vecshestv/>
7. Защитные костюмы «Lakeland» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.rabo/service.ru/images/doc/lakeland_1.pdf
8. Укрпрофзащита [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://http://ukrprofzahyst.com.ua/ru/odezhda-khimzaschity>
9. Голінько В.І. Проектування засобів індивідуального захисту працюючих : навч. посіб. / В.І. Голінько, Л.Д. Третьякова, С.І. Чеберячко. – Дніпро : НГУ, 2017. – 181 с.
10. Третьякова Л. Д. Новітні рішення проблеми індивідуального захисту працівників атомних електричних станцій: Монографія / Л. Д. Третьякова. – К.: Основа, 2016. – 216 с.
11. McLellan T. M. Protective clothing ensembles and physical employment standards / T. M. McLellan, G. Havenith. // Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism. – 2016. – Vol. 41. – P. 121–130.
12. Гаврилова О.Е. Требования к проектированию изделий легкой промышленности и современных композиционных материалов / Гаврилова О.Е., Никитина Л.Л. // Вестник – Казан. –технол. ун-та 2012. – № 15 – С.177-180.
13. Фаткуллина Р.Р. Предпроектный анализ при разработке спецодежды с использованием полимеров / Фаткуллина Р.Р., Зиятдинова Д.Р. // Вестник – Казан. – технол. ун-та. – 2011. - №16. – С. 154-156.
14. Гафурова Н. Т. Принципы и методы художественного проектирования спецодежды / Н. Т. Гафурова, Д. И. Сайлиева, Ж. И. Исмоилов. // Молодой ученый. - 2015.- № 8 (88). - С. 217-220
15. Дейнека І. Г. Розвиток теорії та практичне підвищення надійності кислотозахисного одягу працівників машинобудівних підприємств : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : спец. 05.26.01 «Охорона праці» / І. Г. Дейнека ; Східноукр. нац. ун-т ім. В. Даля. – Луганськ, 2011. – 38 с.
16. Дизайн-проекування виробів спеціального призначення : навч. посіб. / Н.В. Остапенко, М.В. Колосніченко, Т.В. Луцкер та ін. – К. : КНУТД, 2016. – 320 с.
17. Richard Horrocks Handbook of Technical Textiles / A. Richard Horrocks, Subhash C. Anand., 2016. – 452 P. – (Book - 2nd Edition).
18. S Ashdown. Sizing in Clothing / S Ashdown., 2017. – 408 с. – (1st Edition).

References

1. Mikhailova NV Research of materials used for the manufacture of protective clothing for hardware workers and locksmiths of the chemical industry / Mikhailova NV, Privala VO. // Visnyk of KhNU. - 2018. - №1. - P. 124–129.
2. Mikhailova NV Analysis of working conditions of workers who perform cleaning of closed tanks from chemically aggressive substances / Mikhailova NV, Privala VO .. // Visnyk of KhNU. - 2017. - №2. - P. 96–103.
3. Protective suit L-1 (OZK) [Electronic resource]. - Access mode: <https://specprom-kr.com.ua/specodezhda/kostyum-zashchitnyj-l-1-ozk>.
4. Types of overalls for protection against chemically aggressive environments [Electronic resource]. - Access mode: <https://pcgroup.ru/blog/vidy-specodezhdy-dlya-zaschity-ot-himicheskii-agressivnyh-sred/>.
5. Requirements for the operation of overalls when working in chemical industries [Electronic resource]. - Access mode: <http://www.znakcomplex.ru/poleznosti/example/specodezhda/trebovaniya-k-ekspluatatsii-specodezhdy-pri-rabote-na-ximicheskix-proizvodstvax.html>.

6. Overalls and footwear with protection against chemicals [Electronic resource]. - Access mode: <https://forma-odezhda.ru/encyclopedia/specodezhda-i-obuv-s-zacshitoj-ot-himicheskikh-vecshestv/>
7. Protective suits "Lakeland" [Electronic resource]. - Access mode: https://www.raboservice.ru/images/doc/lakeland_1.pdf
8. Ukrprofzashchita [Electronic resource]. - Access mode: <http://ukrprofzahyst.com.ua/ru/odezhda-khimzaschity>
9. Golinko VI Design of personal protective equipment for workers: textbook. way. / В.І. Голінько, Л.Д. Третякова, С.І. Чеберячко; Ministry of Education and Science of Ukraine, Nat. hom. un-t. - Dnipro: NMU, 2017. - 181 p.
10. Tretyakova LD New solutions to the problem of individual protection of employees of nuclear power plants: Monograph / LD Tretyakova. - К.: Основа, 2016. - 216 с.
11. McLellan T. M. Protective clothing ensembles and physical employment standards / T. M. McLellan, G. Havenith. // Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism. - 2016. - Vol. 41. ó P. 121–130.
12. Гаврилова О.Е. Requirements for the design of light industry products and modern composite materials / Gavrilova OE, Nikitina LL // Vestnik - Kazan. - Technol. University 2012. - №15 - P.177-180.
13. Fatkullina RR Pre-design analysis in the development of overalls using polymers / Fatkullina RR, Ziyatdinova DR // Vestnik - Kazan. - technolog. un-ta. - 2011. - №16. - P. 154-156.
14. Gafurova NT Principles and methods of artistic design of overalls / NT Gafurova, DI Saylieva, JI Ismoilov. // Young scientist. - 2015. - № 8 (88). - P. 217-220
15. Deineka IG Development of the theory and practical increase of reliability of acid-protective clothes of workers of machine-building enterprises: author's ref. dis. ... Dr. Tech. Science: special. 05.26.01 "Labor protection" / IG Deineka; East Ukrainian nat. Univ. V. Dahl. - Lugansk, 2011. - 38 p.
16. Design of special purpose products: textbook. way. / H.B. Ostapenko, MV Kolosnichenko, TV Lutsker et al. - К.: КНУТД, 2016. - 320 с.
17. A. Richard Horrocks Handbook of Technical Textiles / A. Richard Horrocks, Subhash C. Anand., 2016. - 452 R. - (Book - 2nd Edition).
18. S Ashdown. Sizing in Clothing / S Ashdown., 2017. - 408 p. - (1st Edition).

Рецензія/Peer review : 29.09.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.10.2021 р.

РІПКА Г. А.

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0172-867X>e-mail: Textiles.snu@gmail.com

ЗАСОРНОВА І. О.

Хмельницький національний університет

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6655-5023>e-mail: izasomova@gmail.com

СПОСІБ ОЦІНКИ ВПЛИВУ КОНТУРІВ ВИШИТОГО ЕЛЕМЕНТА НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТКАНИНИ

У 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 руйнівною є границя системи «тканина – вишивка». Запропоновано обирати хвилеподібний 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, великій 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 це 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 спецшколи, 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).

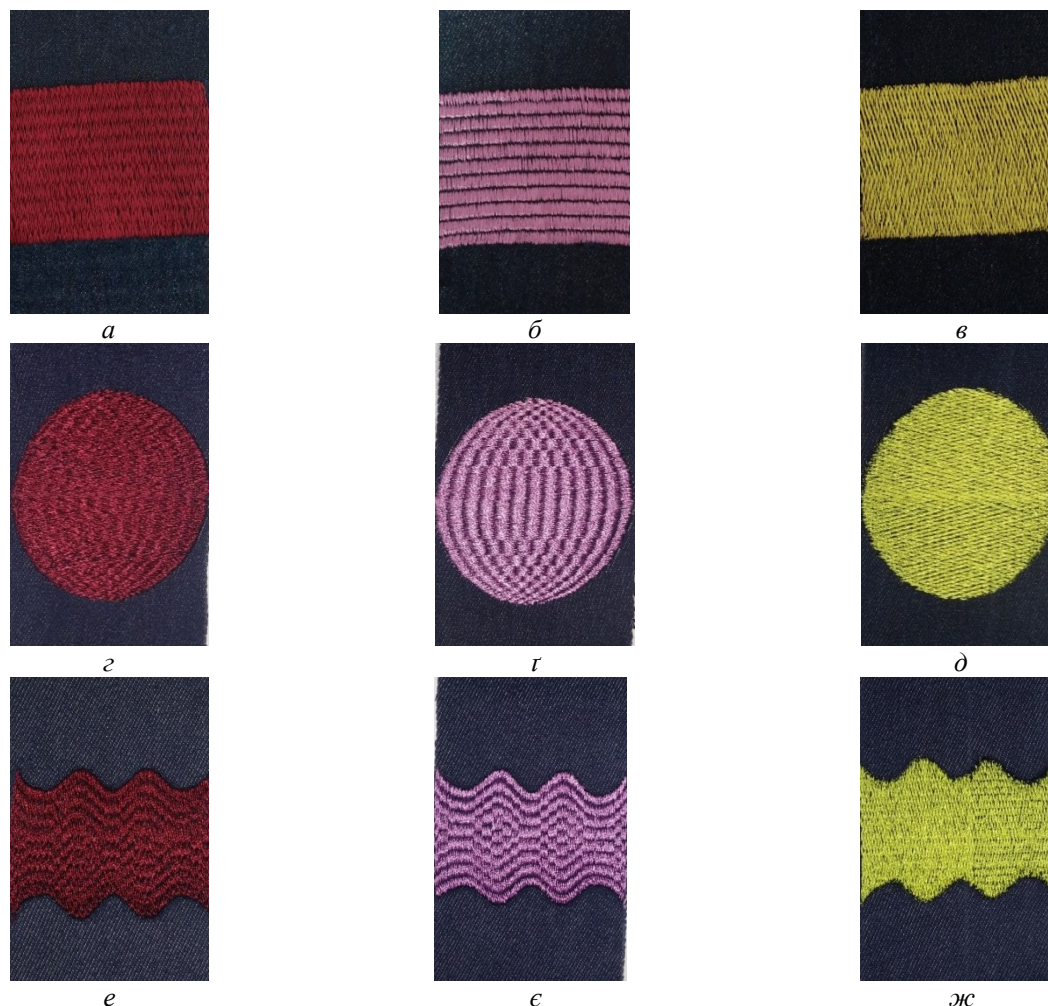


Рис. 1. Вихідні зразки форми вишитих елементів: а – прямокутник (S); б – прямокутник (Z); в – прямокутник (T); г – коло (S); д – коло (Z); е – коло (T); ж – хвилеподібний контур (S); з – хвилеподібний контур (Z); и – хвилеподібний контур (T)

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 основи; 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 основи (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.

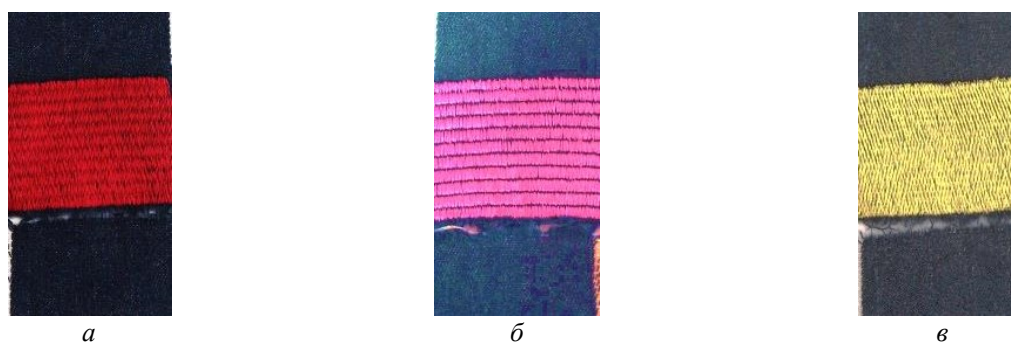


Рис. 2. Руйнування прямолінійного контуру вишивки різними типами стібків:
а – сатин; б – зигзаг; в – татамі

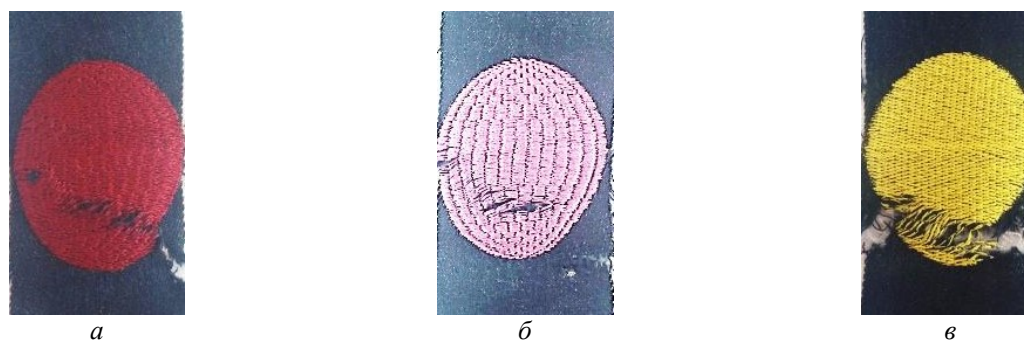


Рис. 3. Руйнування дугової лінії контуру вишивки різними типами стібків:
а – сатин; б – зигзаг; в – татамі

Якщо вишитий рисунок представляє собою прямокутник з хвилеподібними 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 хвилеподібної 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 утоку (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 лінії 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. *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. – Сергиев Посад : ООО «Джуссофт», 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. Zasnova I.O. Practical usage of program module “VISHIVANKA” for filling some part of embroidery ornament with double cruciform elements / I.O. Zasnova // Tendencies and innovations the textile and fashion industry, 8–10 November, 2018. – Plovdiv, Bulgaria. – P. 273–277.
11. Slavinskaya A. Capsular approach to celebrity of ethnic embroidery in formation of modern wardrobe / A. Slavinskaya, O. Syrotenko, I. Zasnova, O. Zasnova // *Vlakna & Textil*. – 2019. – Volume 26(4). – P. 69–83.
12. Artemenko A. Costume Design in for hospitality establishments staff on the basis of analysis the Slavic Snakes ornamentation / A. Artemenko, O. Yakymchuk, D. Yakymchuk, N. Myrhorodska, I. Zasnova // *Vlakna & Textil*. – 2018. – Volume 25(1). – P. 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*. – 2018. – Volume 28(3). – P. 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*. – 2020. – Vol. 27(4). – P. 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*. – 2019. – No 4(08). – P. 9–20.
16. Материалы текстильные. Ткани и шпучные 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. Riabchykov M.L. Rozrakhunok ta konstruiuvannia mashyn lehkoipromyslovosti / M.L. Riabchykov, I.H. Deineka. – L. : SNU im. V. Dalia, 2010. – 264 s.
2. Materialy z сайту TOV «Epsima, NVP», м. Zhytomyr [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://epsima.com>.
3. Ripka H.A. Obgruntuvannia kryteriiv otsinky ruinuвання zrazkiv materialu vyshyvannyh holkamy / H.A. Ripka, Ye.O. Mazniev, A.A. Mychko // *Tekhnolohicheskyi audyt y rezervy proyzvodstva*. – 2015. – № 2/4(22). – S. 39–44.
4. Patent 98638 Ukrainy, MPK G 01N 15/08(2006.01). Spisib vyznachennia stupenia ruinuвання tekstylnoho materialu (okrim netkanykh i trykotazhnykh polotnen) mashynnoiu holkoiu / Mychko A.A., Deineka I.H., Ripka H.A., Mazniev Ye.O. ; zaivnyk i patentovlasnyk Skhidnoukrainskyi natsionalnyi universytet imeni Volodymyra Dalia № u2014 03509 ; zaivyl. 07.04.2014 ; opubl. 12.05.2015. biu l. № 9, 4 s.
5. Wael A. Hashima. The mechanical vibrations of the sewing machines needle. Part 2: the free longitudinal vibrations. *Vlakna & Textil*. Volume 27(4). 2020. pp. 17–25.
6. Tihomirov V.L. Graficheskij redaktor vyshivok GR3. Rukovodstvo polzovatelya vyshivalnogo avtomata «Lika-5» / V.L. Tihomirov. – K. : SisTeh, 2002. – 60 s.
7. Proskumin Yu.I. Programmyj kompleks dlya sozdaniya i redaktirovaniya dizajnov mashinnoj vyshivki “Urfinus-professional”. Rukovodstvo polzovatelya po upravleniyu vyshivannyh mashinami Happy i Velles. – Sergiev Posad : OOO «Dzhussoft», 2012. – 177 s.
8. Kozhnina G.S. Lazer prihodit v mir vyshivki / G.S. Kozhnina // *Shvejnaya promyshlennost*. – 2006. – № 2. – S. 50–51.
9. Materialy z сайту TOV «Epsima, NVP», м. Zhytomyr [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://epsima.com>
10. Zasomova I.O. Practical usage of program module “VISHIVANKA” for filling some part of embroidery ornament with double cruciform elements / I.O. Zasomova // *Tendencies and innovations the textile and fashion industry*, 8–10 November, 2018. – Plovdiv, Bulgaria. – P. 273–277.
11. Slavinskaya A. Capsulal approach to celebrity of ethnic embroidery in formation of modern wardrobe / A. Slavinskaya, O. Syrotenko, I. Zasomova, O. Zasomov // *Vlakna & Textil*. – 2019. – Volume 26(4). – P. 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. Zasomova // *Vlakna & Textil*. – 2018. – Volume 25(1). – P. 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*. – 2018. – Volume 28(3). – P. 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*. – 2020. – Volume 27(4). – P. 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*. – 2019. – No 4(08). – P. 9–20..
16. Materialy tekstilnye. Tkani i shtuchnye izdeliya. Metody opredeleniya razryvnyh harakteristik pri rastyazhenii : GOST 3813-72 (ISO 5081-77, ISO 5082-82). – [Dejstvuyushij s 1973-01-01]. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2002. – 20 с. – (Межгосударственный стандарт).

Рецензія/Peer review : 23.09.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.10.2021 р.

ЛЕЩИШИН М. М.

Київський національний університет технологій та дизайну

ORCID ID: 0000-0003-1497-0094

e-mail: marfichuk@gmail.com

ТВЕРДОТІЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ КОЛОДКИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВЗУТТЯ ПІДВИЩЕНОЇ КОМФОРТНОСТІ

У роботі запропонований удосконалений метод коригування існуючих колодок за допомогою накладок, виготовлених методом тривимірного друку і закріплених у антропометричних зонах, які потребують коригування повноти для окремих споживачів. Саме коригування колодок за допомогою друкованих накладок з полімерних матеріалів та впровадження їх у роботу значно знизить вартість та скоротить термін виготовлення взуття за індивідуальним замовленням.

Ключові слова: індивідуальна колодка, накладки, 3D друк, індивідуальний пошив взуття.

LESHCHYSHYN M. M.

Kyiv National University of Technologies and Design

SOLID-BODY SIMULATION OF SHOE LAST ELEMENTS FOR MANUFACTURE OF SHOES OF HIGH COMFORT

Purpose. Investigate the process of adjusting the shape of the shoe last by modeling solid elements (individual overlays) made by 3D printing.

Methodology. We used a three-dimensional graphic environment Delcam Crispin with the use of modules ShoeMaker, LastMaker, PowerShape, which provide a full cycle of design processes of shoe production from processing scans of the feet, modeling the top design to the design of the last; Ultimaker Cura slicer to customize the printing of prototypes, made of different polymeric materials. The FDM method for 3D printing was used to study the adjustment of a shoe last with a printed cover.

Results. The proposed sequence of adjusting the shape of the lasts using solid modeling in CAD environments Delcam Crispin LastMaker and PowerShape allows for design and technological preparation for the manufacture of corrective lasts by 3D printing. The end result of the last adjustment process is a digital copy of the prototype last, which can be used to model shoes in the 3D space of modern CAD. To achieve improved performance in the use of lasts made by 3D printing, the physical and mechanical properties of polymeric materials were determined, experimental tensile studies of samples obtained by 3D printing on an upgraded bursting machine 2167 P-50. Elastan D70 was chosen from the researched materials, which satisfies the physical and mechanical characteristics for the production of the last cover and subsequent operation of the product.

Scientific novelty. Adjustment of the form and the sizes of a block is carried out at the expense of use of overlays made by a method of 3D printing which considers deviations of the sizes and the form of a block and foot of the individual customer.

Practical value. The paper proposes an improved method of adjusting existing lasts with the help of printed overlays in anthropometric areas, which require completeness adjustment for individual consumers. It is the adjustment of the last with the help of printed lasts made of polymeric materials that will significantly reduce the production time, reduce the cost and commissioning of shoe lasts to individual order.

Key words: individual shoe last, overlays, 3D printing, individual order shoes.

Постановка завдання

Сучасний покупець потребує конкурентоспроможних властивостей взуття, яке б не тільки приваблювало зовнішнім виглядом, але й відповідало високим споживчим властивостям, зокрема, комфортним, експлуатаційним, і функціональним. Важлива роль даних вимог забезпечується на стадії проектування майбутньої моделі. В цьому процесі є ефективне застосування САПР, в тривимірному графічному середовищі Delcam Crispin із застосуванням модулів ShoeMaker, LastMaker, PowerShape, які забезпечують повний цикл проектних процесів взуттєвого виробництва від обробки сканів стоп, моделювання конструкції верху до проектування колодки, форми низу та шаблонів деталей. При цьому важливою задачею є досягнення у споживача відчуття внутрішнього комфорту взуття, яке тісно пов'язане з проектуванням взуттєвої колодки як при масовому виробництві, так і при індивідуальному замовленні.

В даний час починає поширюватися новий метод отримання деталей – 3D друк [1, 2]. Процес створення цілісних тривимірних об'єктів практично будь-якої геометричної форми на основі цифрової моделі називають «адитивним виробництвом» або 3D друком. 3D друк заснований на концепції побудови об'єкта послідовно нанесеними шарами, що відображають контури моделі [3–5].

Для будь-якого бізнесу витрати – це важлива частина, тому що вони впливають на прибуток, і збереження витрат на низькому рівні суттєво важливе. 3D друк методом FDM дозволяє знизити виробничі витрати, оскільки виробництво за цією технологією дешевше, ніж при використанні інших методів 3D друку.

Використання адитивних технологій дозволяє суттєво зменшити витрати на отримання прототипів починаючи з початкових етапів прототипування (чорнові прототипи) закінчуючи повноцінними моделями, які в повному обсязі задовольняють дослідника. Таким чином, при використанні тривимірного друку для коригування форми колодок у виробництві взуття за індивідуальним замовленням необхідно забезпечити ряд вимог до отриманих деталей: точність, відповідність параметрам шорсткості і міцності.

Аналіз останніх джерел

Постійно зростаюча конкуренція на взуттєвому ринку змушує виробників вдаватися до розширення асортименту продукції та підвищення ефективності виробництва шляхом нових методик та автоматизації процесів конструкторської підготовки виробництв. Зарубіжний досвід проектування колодок в середовищі спеціалізованих САПР рекомендує поєднувати автоматизоване проектування з натурним моделюванням, коли прототип майбутньої моделі виточується вручну, а залучення комп'ютерних технологій зводиться до виконання певних технічних задач коригування параметрів моделі [6]. Однак в такому випадку частково ігноруються антропометричні, біомеханічні та інші вимоги до форми колодки.

3D-принтери з технологією 3D-друку поступово освоюють сферу виробництва одягу та взуття. Також технологія 3D-друку дозволяє використовувати для виготовлення одного предмета виробів легкої промисловості кілька різних матеріалів. Такий підхід дозволяє вирішити проблеми, пов'язані з міцністю і еластичністю виробів, що виготовляються. Відомі світові бренди, такі як Nike, Adidas, Reebok, Under Armour, New Balance, уже використовують 3D-технології при виробництві взуття.

Існує багато праць присвячених технологіям 3D-друку і 3D-принтерам. З них випливає, що вихідною сировиною для виготовлення деталей та виробів є полімерні матеріали у вигляді прутка різного діаметру [7].

Метою роботи є розробка методу коригування форми взуттєвої колодки за допомогою моделювання твердотільних елементів (індивідуальних накладок) виготовлених 3D друком, що значно зменшить термін виготовлення індивідуального взуття, вартість виготовлення колодки та зменшить кількість полімерних відходів.

Виклад основного матеріалу

Для визначення комфортності колодок українських виробників, було проведено антропометричні дослідження стоп чоловіків віком від 29–45 років у кількості 110 осіб.

Обмірювання проводилися на сучасному 3D сканері In Foot 3D, який дозволяє отримати копію поверхні стопи, її розмірні дані та плантограму.

На основі безконтактних обмірів за допомогою 3D сканера стопи та сканованих існуючих колодок українських виробників (Zotti, JB Plast та Lviv Plast), відповідного 43 розміру узгоджених за фасоном було отримано порівняльні параметри (табл. 1). На рис. 1 представлена сканована та імпортована поверхня стопи замовника (розміром 275 мм) та обраної колодки в середовищі LastMaker.

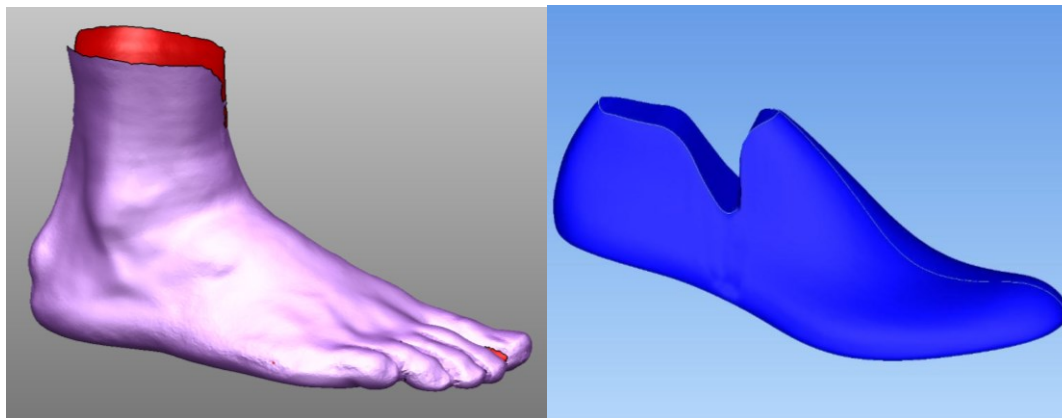


Рис. 1. Скановані за допомогою 3D-сканера стопа та колодка

Таблиця 1

Порівняльний аналіз антропометричних параметрів стопи і параметрів колодок (приклад)

Параметр	Обмір стопи	Існуюча колодка 1 (Zotti)	Існуюча колодка 2 (JB Plast)	Існуюча колодка 3 (Lviv Plast)	Відхилення колодки 1 від стопи (1-2)	Відхилення колодки 2 від стопи (1-3)	Відхилення колодки 3 від стопи (1-4)	
	1	2	3	4	5	6	7	
1	Довжина стопи, мм	275,0	290,0	292,0	294,0	-15,0	-17,0	-19,0
2	Довжина до кінця 5 пальця, мм	243,0	242,0	244,0	243,0	1,0	-1,0	0
3	Довжина до вн. пучка, мм	190,0	187,0	191,0	189,0	3,0	-1,0	1,0

Продовження табл. 1

		1	2	3	4	5	6	7
4	Довжина до зовн. пучка, мм	181,0	179,5	177,8	182,0	1,5	3,2	-1,0
5	Обхват пальців, мм	214,8	215,6	215,0	215,0	-0,8	-,02	-0,2
6	Обхват пучків, мм	289,0	275,0	274,0	278,0	14,0	15,0	11,0
7	Обхват через згин та п'яту, мм	360,0	351,0	350,0	352,0	9,0	10,0	8,0
8	Обхват підйому, мм	301,0	287,0	289,0	285,5	14,0	12,0	13,5
9	Висота I пальця, мм	25,0	27,0	26,0	27,0	-2	-1	-2

Проведений порівняльний аналіз обмірів стопи і існуючої колодки показав, що при виготовленні взуття за індивідуальним замовленням виникає необхідність суттєво коригувати взуттєві базові колодки, а саме в охоплюючих параметрах. Найбільші відмінності параметрів – в області охоплення пучків і підйому (рис. 2).

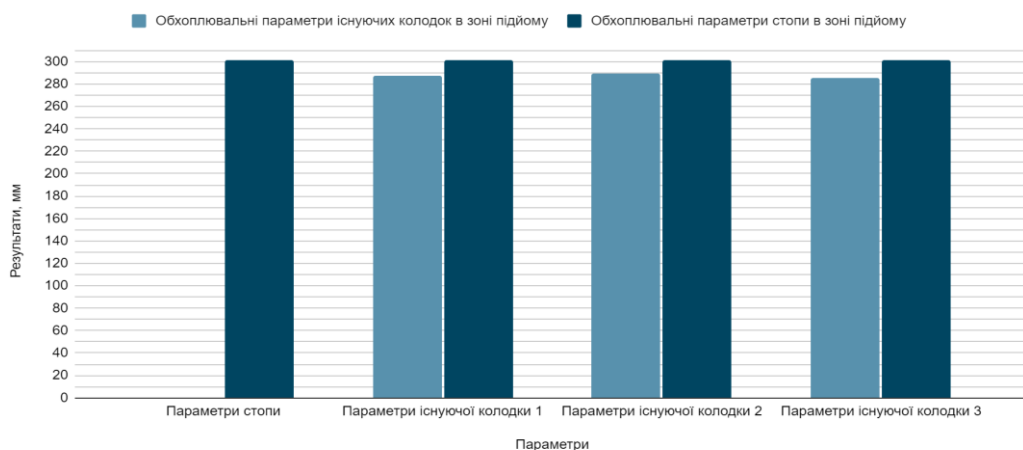


Рис. 2. Порівняльний аналіз відхилень параметрів стопи з параметрами існуючих колодок у зоні підйому

Отримавши 3D-модель стопи та колодки, доцільно оцінити та визначити антропометричні зони коригування колодки індивідуальними накладками під окремого споживача (рис. 3).

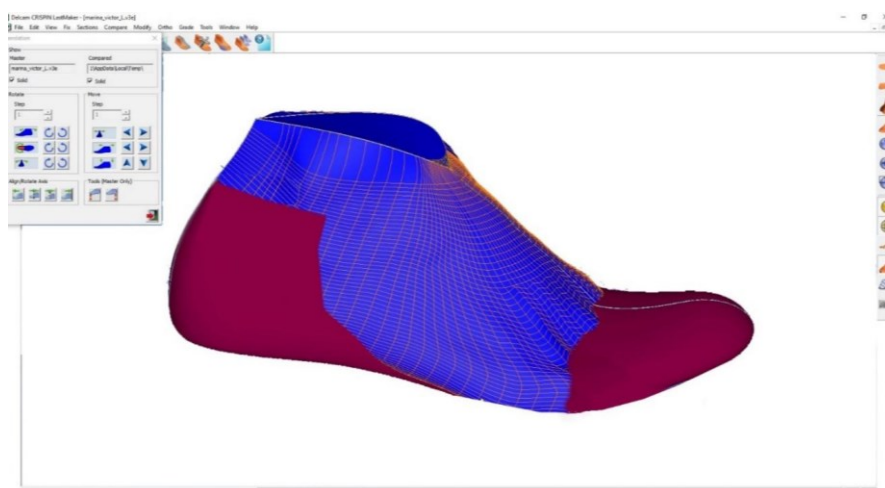


Рис. 3. Співставлення існуючої колодки та стопи замовника

Проаналізувавши цифрові моделі існуючої стопи та колодки, можна зробити висновок, що найбільш раціональним способом забезпечення відповідності розмірів колодки і стопи замовника є

відкоригувати взуттєву колодку у невідповідних з стопою антропометричних зонах за допомогою «личин» у вигляді накладок у зоні зовнішнього пучка та підйому, на існуючій узгодженій взуттєвій колодці. Це мінімізує термін виготовлення нової індивідуальної колодки та знизить вартість виробництва взуття, оскільки таким чином можна використовувати одну і ту ж колодку для різних замовників, змінюючи тільки індивідуальні накладки на колодку.

Для моделювання додаткових елементів колодки відповідного розміру, які б забезпечили підвищення комфорту внутрішнього простору взуття, використовували програмні модулі LastMaker і PowerShape у графічному середовищі Delcam Crispin [8].

Порівнявши скани стопи замовника та колодки, за допомогою модуля LastMaker, проведено дослідження необхідної величини коригування колодки у зоні прямого підйому та зовнішнього пучка. За допомогою функції «Расширенные настройки», програма дозволяє шляхом інтерактивної зміни коригувати колодку в окремих антропометричних зонах, перетинах та контурах.

Функцією «Изменить верх сечений» модифікуємо поверхню взуттєвої колодки шляхом редагування поперечних перерізів у антропометричних ділянках стопи.

Результати коригування взуттєвої колодки поперечного перерізу у зоні прямого підйому наведено на рис. 4.

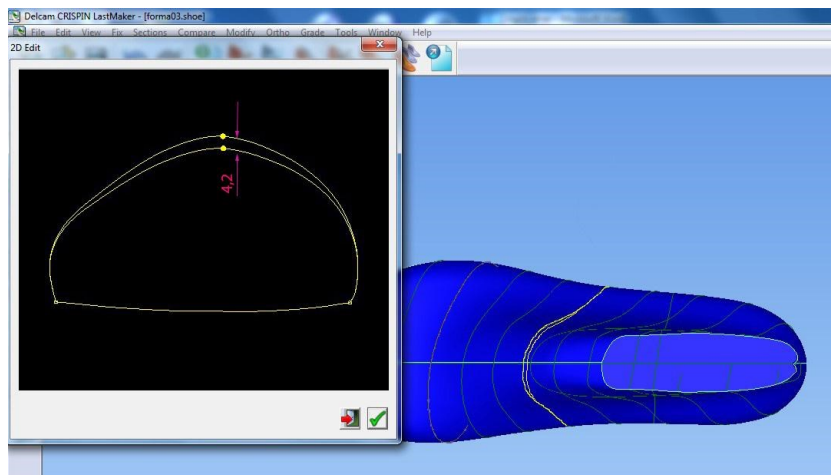


Рис. 4. Коригування зони прямого підйому на одну повноту

За допомогою програмного комплексу Power Shape, для тривимірного і твердотілого моделювання, застосовуючи функцію «Віднімання поверхні», віднімаємо спроектовану накладку на колодці (враховуючи різницю висоти у зоні прямого підйому стопи з існуючою колодкою), та отримуємо твердотілу модель накладки готову до 3D друку, зберігаючи її в STL-форматі (рис. 5).

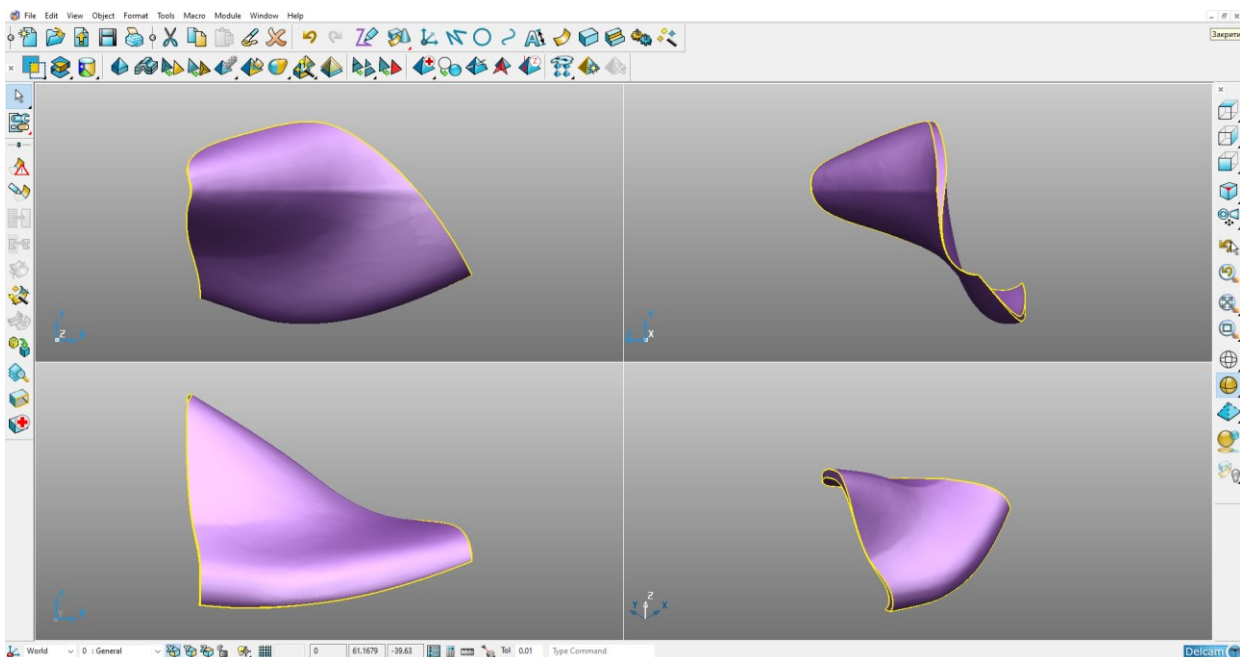


Рис. 5. Спроекована антропометрична накладка на колодку у графічному середовищі Delcam Crispin

Для досягнення підвищення експлуатаційних характеристик у використанні накладок, доцільно виготовити їх за допомогою 3D-друку, дослідивши матеріали. Сучасні 3D принтери мають можливість

створювати моделі різної складності з різних видів пластиків, за доступною вартістю та швидким терміном виконання. В роботі були досліджені фізико механічні властивості пластиків для 3D-друку. Дослідження виконано відповідно до стандартних методів статичного випробування пластмас на розтяг [9–11].

Для дослідження використовували 5 видів пластику для 3D-друку, параметри друку підбирали за рекомендованими технічними характеристиками для кожного матеріалу (табл. 2). Надруковані досліджувані зразки представлені на рис. 2.

Таблиця 2

Параметри друку досліджуваних зразків

№ з/п	Вид пластику	Температура друку, °С	Температура платформи, °С	Заповнення лінії, %	Швидкість друку, мм/с	Щільність кришки підтримки, %
1	Elastan D70	250	90	100	50	24
2	PETg	240	80	100	40	24
3	PLA	235	80	100	45	24
4	ABS	250	90	100	50	24
5	PCTG	225	85	100	40	24

Далі зразки зважувалися на електронних вагах, дані вказані у табл. 3, і випробовувалися на розрив на випробувальній модернізованій розривній машині 2167 P-50. Отримані графіки напруження-деформації при розтягненні зразків з досліджуваних матеріалів, представлені на рис. 6.



Рис. 6. Надруковані досліджувані зразки з різних видів пластику:
1 – Elastan D70; 2 – PETg; 3 – PLA; 4 – ABS; 5 – PCTG

Таблиця 3

Дослідження ваги полімерних зразків

№ з/п	Вид пластику	Товщина нитки, мм	Вага досліджуваного зразка, г
1	Elastan D70	1,75	5,3
2	PETg	1,75	6,8
3	PLA	1,75	6,0
4	ABS	1,75	5,8
5	PCTG	1,75	6,0

З отриманих експериментальних даних на розтяг полімерних матеріалів було побудовано графік, на якому показано межі міцності досліджуваних пластиків (рис. 7).

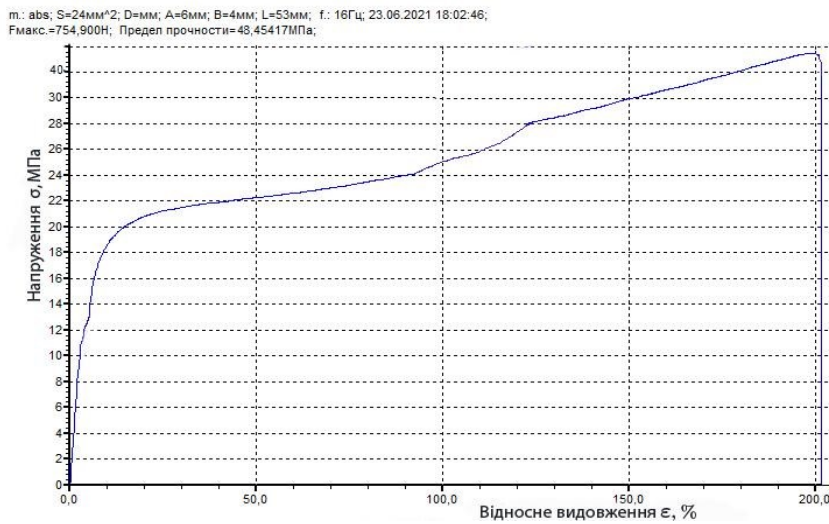


Рис. 7. Графік напруження-деформація при розтягненні зразка із Elasthan D70

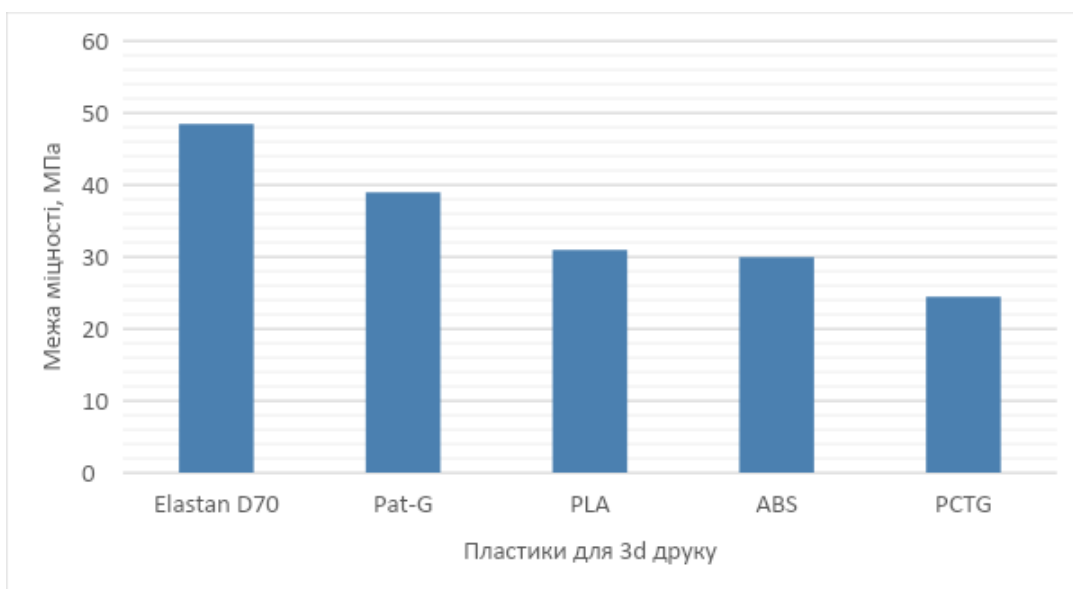


Рис. 8. Графік меж міцності досліджуваних пластиків

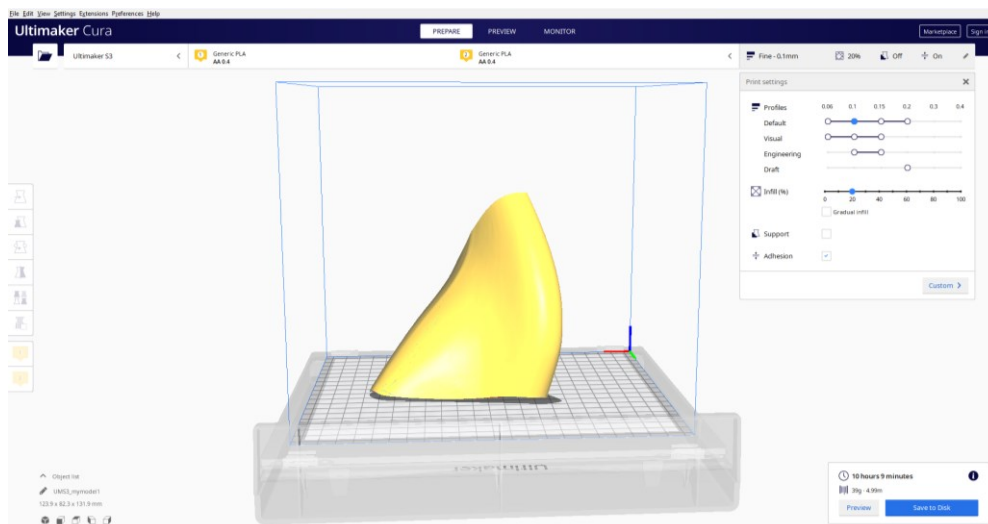


Рис. 9. Готове 3D зображення накладки у слайсері Ultimaker Cura

З досліджених матеріалів було обрано Elasthan який має необхідні фізико-механічні характеристики для виготовлення накладки на колодку та подальшу експлуатацію виробу.

Нижче наведено зображення досліджуваної накладки на взуттєву колодку у слайсері Ultimaker Cura, необхідну для забезпечення підвищення комфорту взуття для індивідуального замовлення, підібрані необхідні налаштування та розрахований час друку деталі (рис. 9, табл. 4).

Таблиця 4

Параметри друку накладки з пластику Elastan D70

Параметри друку	Стандарті значення	Використані налаштування для друку накладки
	D 70	D 70
Температура друку	230–260 °C	250 °C Оптимальна температура друку, при ній полімер с екструдера виходить рівномірно.
Температура платформи	90–110 °C	90 °C якщо вибрати нижчу, то перший шар полімера не щільно приклеюється до платформи. Вища на декілька десятих градуса температура призведе, до того, що полімер не встигне остигати і буде плисти.
Напрямок друку	горизонтальний, вертикальний x-y, вертикальний z	горизонтальний
Заповнення лінії	10-100	20
Обдув	+	+
Швидкість друку	30–80 мм/с	50 мм/с Оптимальна швидкість друку, при ній полімер рівномірно остигає і чітко накладається шар за шаром.
Усадка при друку, %	0,7	0,7
Щільність кришки підтримки, %	20–30	24

Нижче (рис. 10) зображені надруковані з пластику Elastan D70 індивідуальні накладки на праву та ліву колодки.

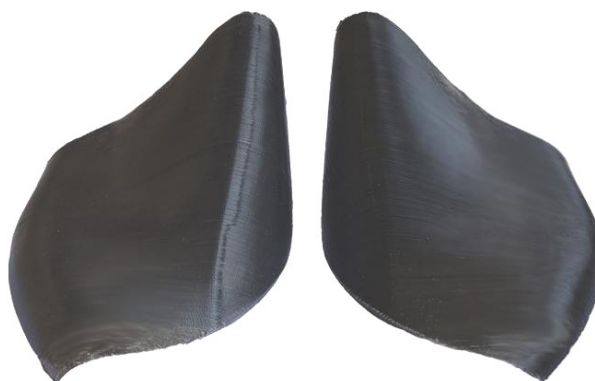


Рис. 10. Друкована індивідуальна накладка 3D друком



Рис. 11. Прикріплена друкована накладка на колодку

Отриману індивідуальну друковану накладку кріпимо на існуючу колодку за допомогою скоб, що забезпечить стійкість накладки на колодці (рис. 11).

Висновки

Запропонована послідовність коригування форми колодок за допомогою твердотілого моделювання в середовищах САПР Delcam Crispin LastMaker і Power Shape дозволяє здійснити конструкторсько-технологічну підготовку для виготовлення коригуючих накладок методом 3D друку. Кінцевим результатом процесу коригування колодки є отримана цифрова копія прототипу накладки, яку можна застосовувати для моделювання взуття в 3D-просторі сучасних САПР. Для досягнення підвищення експлуатаційних характеристик у використанні накладок, виготовлених за допомогою 3D друку, визначали фізико-механічні властивості полімерних матеріалів, були проведені експериментальні дослідження розтягу зразків, отриманих методом 3D друку на модернізованій розривній машині 2167 P-50. З досліджених матеріалів було обрано Elastan D70, який має задовільні фізико-механічні характеристики для виготовлення накладки на колодку та забезпечує подальшу експлуатацію виробу. Запропонована методика коригування колодок дозволяє виготовити комфортне взуття за індивідуальними антропометричними даними та суб'єктивними відчуттями замовника-споживача.

Література

1. 3D-печать: третья индустриальноцифровая революция. Часть 1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://bloggerator.org/page/3dpechat-industrialno-cifrovajarevoljucija-3d-printer-makerbot-cenaopisanie-perspektivy-1> .
2. 3D-модели для 3D-принтера [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://3dtoday.ru/3d-models/>
3. Янсон Х.А. Биомеханика нижней конечности. Гл. 3 / Янсон Х.А. – Рига : Зинатне, 1975. – С. 159–207.
4. Скворцов Д.В. Клинический анализ движений. Гл. 1 / Скворцов Д.В. – М. : НМФ «МБН», 1996. – С. 10–30.
5. Перераспределение давления : учебное пособие, курс 3. – 31 с.
6. MA X., Luximon A. Design and manufacture of shoe lasts. International journal of advanced manufacturing technology, September 2013. P. 177–196.
7. Яременко Д. А. Методика исследования, диагностика и ортопедическое снабжение при статических деформациях стоп / Яременко Д. А. – Харьков, 1984. – 45 с.
8. Орловський Б.В. CALS-технології об'єктно-орієнтованого проектування і виготовлення взуття на засадах програмного комплексу Delcam CRISPIN / Б.В. Орловський // Вісник КНУТД. – 2012.– № 1. – С. 22–33.
9. Plastics – Determination of tensile properties – Part 1: General principles : ISO 527-1:2012. Publication Date 15-February-2012. Brussels: ISO, 2012. 23 p.
10. Plastics – Determination of tensile properties – Part 2: Test conditions for moulding and extrusion plastics: ISO 527-2:2012. Publication Date 15-February-2012. Brussels: ISO, 2012. 11 p.
11. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics : ASTM D638-14. West Conshohocken, PA: ASTM International. 2014. 11 p.

References

1. 3D-pechat: tretya industrialnocifrovaya revolyuciya. Chast 1 [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : <http://bloggerator.org/page/3dpechat-industrialno-cifrovajarevoljucija-3d-printer-makerbot-cenaopisanie-perspektivy-1> .
2. 3D-modeli dlya 3D-printera [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : <http://3dtoday.ru/3d-models/>
3. Yanson H.A. Biomechanika nizhnej konechnosti. Gl. 3 / Yanson H.A. – Riga : Zinatne, 1975. – S. 159–207.
4. Skvorcov D.V. Klinicheskij analiz dvizhenij. Gl. 1 / Skvorcov D.V. – M. : NMF «MBN», 1996. – S. 10–30.
5. Pereraspredelenie davleniya : uchebnoe posobie, kurs 3. – 31 s.
6. MA X., Luximon A. Design and manufacture of shoe lasts. International journal of advanced manufacturing technology, September 2013. R. 177–196.
7. Yaremenko D. A. Metodika issledovaniya, diagnostika i ortopedicheskoe snabzhenie pri staticheskikh deformacijah stop / Yaremenko D. A. – Harkov, 1984. – 45 s.
8. Orlovskiy B.V. CALS-tekhnologii obektno-orientovanoho proektuvannia i vyhotovlennia vzuttia na zasadakh prohrannoho kompleksu Delcam CRISPIN / B.V. Orlovskiy // Visnyk KNUVD. – 2012.– № 1. – S. 22–33.
9. Plastics – Determination of tensile properties – Part 1: General principles : ISO 527-1:2012. Publication Date 15-February-2012. Brussels: ISO, 2012. 23 p.
10. Plastics – Determination of tensile properties – Part 2: Test conditions for moulding and extrusion plastics: ISO 527-2:2012. Publication Date 15-February-2012. Brussels: ISO, 2012. 11 p.
11. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics : ASTM D638-14. West Conshohocken, PA: ASTM International. 2014. 11 p.

Рецензія/Peer review : 13.09.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.10.2021 р.

МАРТИРОСЯН І. А.

Одеська національна академія харчових технологій

ORCID ID: 0000-0003-3733-3004

e-mail: miaviva@ukr.net

ПАХОЛЮК О. В.

Луцький національний технічний університет

ORCID ID: 0000-0002-3484-0468

e-mail: o.pakholiuk@lntu.edu.ua

НІКОЛАЙЧУК Л. Г.

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного, м. Львів

ORCID ID: 0000-0003-2693-6635

e-mail: nikolayhuk74@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ БАВОВНЯНО-ПОЛІЕСТЕРОВИХ ТКАНИН З БІОЦИДНОЮ ОБРОБКОЮ

У роботі розглянуто можливості застосування для антимікробного оброблення одягових целюлозовмісних текстильних матеріалів, нових біоцидних препаратів тиосульфатної структури та оцінка змін деяких їх механічних властивостей. Досліджено вплив біоцидної обробки на розривальні характеристики тканин різного волокнистого складу. Для біоцидної обробки застосовані нові біоцидні препарати тиосульфатної структури – етилтиосульфанилат (ЕТС), метилтиосульфанилат (МТС) та алілтиосульфанилат (АТС). Показано ефективність та доцільність застосування названих біоцидів. У результаті аналізу отриманих експериментальних даних встановлено, що ЕТС, АТС, МТС не тільки захищають тканини від небажаних мікробіологічних руйнувань, але й не призводять до погіршення фізико-механічних властивостей досліджуваних тканин. Доведено, що після обробки тканин не відбувається значного зменшення розривального навантаження.

Ключові слова: біоцидні препарати, антимікробна обробка, бавовняно-поліестерові тканини, механічні властивості, екологічна безпека.

MARTYROSIAN I. A.

Odesa National Academy of Food Technologies

PAKHOLIUK O. V.

Lutsk National Technical University

NIKOLAYCHUK L. G.

Hetman Petro Sahaidachnyi National Ground Forces Academy, Lviv

INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF COTTON-POLYESTER FABRICS WITH BIOCIDAL TREATMENT

This article is devoted to the study of some aspects of increasing the biostability of cellulose-containing textile materials with new ecological biocidal products. This paper considers the study of the possibility of application for antimicrobial treatment of clothing cellulose-containing textile materials, new biocidal products of thiosulfonate structure and evaluation of changes in some of their mechanical properties. The influence of biocidal treatment on the rupture characteristics of tissues of different fibrous composition has been studied. New biocidal preparations of thiosulfonate structure of domestic production are used for biocidal treatment, which are synthetic analogues of natural phytoncides – garlic, onion and certain types of cabbage – ethylthiosulfanilate (ETS), methylthiosulfanilate (MTS) and allylthiosulfanilate (ATS). The aim of the article is to study the effect of new biocidal drugs of thiosulfonate structure on the change of the main mechanical properties that determine wear resistance.

The efficiency and expediency of the use of these biocides are shown. As a result of the analysis of the received experimental data it is established that new biocidal drugs ETS, ATS, MTS not only protect fabrics from undesirable microbiological destructions, but also do not lead to deterioration of physical and mechanical properties of investigated fabrics. As a result of treatment with biocidal products of thiosulfonate structure of pure cotton and cotton-polyester fabrics for special purpose clothing, there is no significant reduction in the breaking load. This is due to the fact that when treated with the studied biocidal products as a result of modification there is no increase in the mutual mobility of cellulose macromolecules, so the possibility of load redistribution within the fiber and tensile strength fall on more structural elements.

Keywords: biocidal products, antimicrobial treatment, cotton-polyester fabrics, mechanical properties, ecological safety.

Постановка проблеми

Для надання необхідної біостійкості текстильним целюлозовмісним матеріалам та виробам можуть використовуватись як традиційні біоцидні препарати, так і поліфункціональні кремнійорганічні, фторорганічні, формальдегідні препарати, а також деякі марки синтетичних і деякі види рослинних барвників, лікарських та інших препаратів [1, 2]. Вибір рецептурно-технологічних режимів поверхневої модифікації текстильних матеріалів біоцидними препаратами залежить від багатьох чинників, а саме [3]:

- видового та родового складу наявних на текстильних матеріалах мікроорганізмів;
- цільового призначення та волокнистого складу текстильного матеріалу, а також реальних умов його експлуатації;
- особливостей хімічної будови та властивостей самих біоцидних препаратів;
- способів оброблення текстильних матеріалів біоцидними препаратами (просочування, набивання та ін.).

Крім значного впливу на зовнішній вигляд тканин (зміни стійкості забарвлення і білизни), підвищення їх зносостійкості (надання антимікробних властивостей, зниження водовбиральності та набуття водотривкості), антимікробне оброблення бавовняно-поліестерових тканин може здійснювати суттєвий вплив на зміну механічних властивостей текстильних матеріалів, змінювати їх стійкість до дії різноманітних зношувальних факторів, таких як тертя, дія сонячного опромінення, мокрі обробки, вплив мікроорганізмів тощо.

Аналіз останніх досліджень

Дослідженню причин зміни механічних властивостей одягових текстильних матеріалів, в результаті біоцидних обробок присвячено обмежена кількість робіт. Аналіз літературних джерел [3–6] дозволяє зробити висновок про те, що у фахових наукових виданнях немає систематизованих узагальнених даних про вплив різних типів біоцидних препаратів на зміну механічних властивостей різних за волокнистим складом, будовою і видом обробки одягових текстильних матеріалів. Більше того, наведені результати досліджень стосуються лише зміни розривних характеристик тканин.

Враховуючи умови експлуатації текстильних матеріалів спеціального призначення, нами розглянуто вплив нових біоцидних препаратів тіосульфатної структури, які є синтетичними аналогами природних фітонцидів (часнику, цибулі, морської капусти): етилтіосульфанілат (ЕТС), метилтіосульфанілат (МТС), алілтіосульфанілат (АТС) на зміну основних механічних властивостей, визначаючих зносостійкість.

Формулювання цілей

Використовуючи для антимікробного оброблення досліджуваних тканин нові типи біоцидних препаратів тіосульфатної структури, авторами ставились наступні завдання:

- загальмувати розвиток патогенних та волокно-руйнуючих мікроорганізмів шкідливих для людини на досліджуваних тканинах і спеціальному одязі з них;
- створити ефективний захист названих тканин і одягу з них, від мікробіологічної деструкції в процесі їх експлуатації;
- мінімізувати негативний вплив антимікробного оброблення досліджуваних тканин препаратами тіосульфатної структури на погіршення їх механічних, фізичних і естетичних властивостей.

Виклад основного матеріалу

З метою обґрунтування необхідності використання нових типів біоцидних препаратів тіосульфатної структури у вітчизняному текстильному виробництві, представлялось доцільність, окрім оцінки біостійкості тканин, яка висвітлена у наших попередніх роботах, оцінити вплив названих препаратів на можливу зміну (погіршення) механічних властивостей цих тканин.

Вітчизняний ринок текстильних матеріалів для виготовлення спецодягу представлений, в основному, целюлозовмісними тканинами – бавовна+поліестер. Тому для нашого дослідження обрано 4 варіанти текстильних матеріалів: варіант 1 – «Toctals Fabrics» (Голландія); варіант 2, 4 – ВАТ «Тернопільське об'єднання «Текстерно» (Україна); варіант 3 – ПрАТ «Черкаський шовковий комбінат», характеристика яких наведена у наших попередніх роботах [7, 8].

Для захисту целюлозовмісних текстильних матеріалів і виробів одягового призначення від негативної дії волокно-руйнуючих і патогенних мікроорганізмів нами були обрані нові біоцидні препарати, які успішно застосовуються для антимікробного захисту в інших галузях промисловості, а саме: етилтіосульфанілат (ЕТС) – етиловий біоцид; алілтіосульфанілат (АТС) – аліловий біоцид; метилтіосульфанілат (МТС) – метиловий біоцид.

Ці біоцидні препарати з багатовекторними фармакодинамічними проявами для захисту промислових товарів та лікування дерматомікозів, зокрема синтетичні аналоги природних фітонцидів, синтезовані на кафедрі технології біологічно активних сполук, фармації та біотехнології Національного університету «Львівська політехніка», д.х.н. професором Лубенець В.І.

Характеристики міцності на розрив (розривальне навантаження (Рр, кгс) зразків тканин із робочими розмірами елементарної проби 25×50 мм вимірювалися на розривальній машині РТ-250М-2 за стандартною методикою. Для досліджень відбиралось не менше 5 проб кожного матеріалу стандартних розмірів. Гарантійна похибка коефіцієнта варіації (мс) знаходилась у межах 0,5 – 1,5 %. Показники розривальних характеристик досліджуваних бавовняних та бавовняно-поліестерових тканин представлено в табл. 1.

Аналіз даних табл. 1 показує, що розривальне навантаження одягових бавовняно-поліестерових тканин залежить від їх структурних показників і перш за все, від міцності волокон, що входять у структуру текстильного матеріалу, а також від лінійної густини пряжі або ниток. Вплив типу обробки на зміну механічних властивостей бавовняно-поліестерових і бавовняних тканин представлено в табл. 2. В результаті біоцидної обробки чисто бавовняної та бавовняно-поліестерових одягових тканин спеціального призначення препаратами тіосульфатної структури, не відбувається помітного зниження розривального навантаження.

Варіанти 2, 3 та 4 одягових тканин виготовлені зі змішаної пряжі із вмістом поліестерових волокон. Поліестерові волокна у структурі текстильного матеріалу покращують його зносостійкість, незмиальність, розривні характеристики. Застосування змішаної крученої пряжі в основі, дозволяє знизити вартість виготовлення текстильного матеріалу за рахунок вилучення із технологічного процесу виготовлення тканин операцій шліхтування та розшліхтовування.

Таблиця 1

Характеристика механічних властивостей бавовняно-поліестерових тканин без оброблення

Назва зразка	Розривальне навантаження, Н		Видовження на момент розірвання, %	
	основа	уток	основа	уток
Бавовняна тканина без обробки (100 %)	754	429	26,0	30,5
Бавовняно-поліестерова (50/50) без обробки	906	501	22	30,0
Бавовняно-поліестерова (35/65) без обробки	915	485	17,3	26
Бавовняно-поліестерова (20/80) без обробки	630	336	19,2	31,5

Таблиця 2

Характеристика механічних властивостей оброблених бавовняно-поліестерових тканин

Назва зразка	Розривальне навантаження, Н		Видовження на момент розірвання, %	
	основа	уток	основа	уток
Бавовняна тканина оброблена ЕТС	767	432	26,0	14,6
Те ж, МТС	763	430	17,1	15,5
Те ж, АТС	763	429	17,9	15,1
Бавовняно-поліестерова (50/50) оброблена ЕТС	908	499	12,5	18,4
Те ж, МТС	908	500	9,7	21,0
Те ж, АТС	905	501	11,5	21,0
Бавовняно-поліестерова (35/65) оброблена ЕТС	918	485	10,7	20,2
Те ж, МТС	919	484	11,0	26,6
Те ж, АТС	918	487	8,9	20,7
Бавовняно-поліестерова (20/80) оброблена ЕТС	630	337	13,8	20,7
Те ж, МТС	631	335	14,7	20,8
Те ж, АТС	630	338	13,7	23,4

Бавовняно-поліестерова тканина з вмістом 80 % поліестеру у своєму складі, характеризується дещо нижчим розривальним навантаженням у порівнянні з чисто бавовняною тканиною. Це пояснюється тим, що при розтягненні, окремі компоненти пряжі фактично окремо приймають участь у розриванні тканини. У таких тканинах, спочатку рвуться бавовняні волокна, які мають менше подовження, а потім – поліестерові, які володіють більш високим подовженням при розриві.

Вид біоцидного тіосульфатного препарату здійснює помітний вплив на зміну показників видовження на момент розірвання досліджуваних текстильних матеріалів. При цьому встановлено, що у випадку застосування для оброблення етилового, алілового та метилового біоциду, відбувається деяке підвищення розривального видовження за основою і незначне зниження за утком для бавовняно-поліестерових тканинах, з переважальним вмістом поліестеру. Величина подовження тканини, особливо на початку її розтягування, знаходиться у прямій залежності від щільності ниток. У свою чергу, кількість згинів визначається переплетенням тканини, тому тканини полотняного переплетення, для якого характерна велика кількість згинів ниток, будуть мати найбільше подовження.

Виявлено також, що визначальний вплив на розривальне навантаження досліджуваних матеріалів має щільність тканини. Це підтверджує зіставлення щільності ниток за основою і утком до розривального навантаження. Збільшення щільності ниток за основою призводить до збільшення розривального навантаження за основою [9, 10]. Із збільшенням щільності ниток в текстильному матеріалі збільшуються кути обхвату ниток, і відповідно, площа тертя, зв'язаність елементів тканини збільшується, збільшується сила взаємного тиску між нитками основи і утку та ступінь зчеплення волокон у пряжі, внаслідок чого зростає міцність тканини.

Висновки

В результаті біоцидної обробки біоцидними препаратами тіосульфатної структури чисто бавовняної та бавовняно-поліестерових одягових тканин спеціального призначення не відбувається помітного зниження розривального навантаження. Це пояснюється тим, що при обробленні досліджуваними біоцидними препаратами в результаті модифікації не відбувається підвищення взаємної рухомості макромолекул целюлози, тому можливість перерозподілу навантаження всередині волокна і розривне зусилля припадає на більшу кількість структурних елементів. Винятком є четвертий зразок – бавовняно-поліестерова тканина, з вмістом волокон 20/80, в якій розривальне навантаження за утком, знаходиться на межі стандартного значення. Такий низький показник розривального навантаження за утком, пояснюється волокнистим складом текстильного матеріалу, який має більш рихлу структуру і менший ступінь скручування.

Аналіз отриманих результатів дозволяє зробити наступні узагальнюючі висновки:

- найбільш виправдано використовувати біоцидні препарати тіосульфатної структури для антимікробного оброблення чисто бавовняної та бавовняно-поліестерових одягових тканин спеціального призначення, оскільки при такому обробленні гарантується збереження механічних властивостей бавовняно-поліестерових тканин;
- встановлено, що основним резервом підвищення довговічності тканин є їх біоцидна обробка тіосульфатними препаратами, які гарантують найбільш повне і ефективне використання потенційного ресурсу волокнистої основи цих тканин.

Література

1. Пахолук О.В. Використання деяких поліфункціональних обробних препаратів для захисту текстильних целюлозовмісних матеріалів від мікробіологічних пошкоджень / О.В. Пахолук, Г.О. Пушкар та ін. // Вісник Хмельницького національного університету. – 2019. – № 1. – С. 100–104.
2. Пахолук О.В. Проблеми формування та оцінювання біостійкості текстильних целюлозовмісних матеріалів / О.В. Пахолук, Г.О. Пушкар, І.С. Галик, Б.Д. Семак // Вісник Хмельницького національного університету. – 2019. – № 5. – С. 109–113.
3. Галик І. С. Проблеми формування та оцінювання екологічної безпечності текстилю : монографія / І. С. Галик, Б. Д. Семак. – Львів : Видавництво Львівської комерційної академії, 2014. – 488 с.
4. Martirosyan I. Investigation on stability of textile materials for overalls processed by new biocidal preparation / I. Martirosyan, V. Lubenets, O. Peredriy // Technological Complexes. Scientific journal. – 2018. – № 1(15). – P. 53–59.
5. Демкович О.В. Ресурсозберігаюча технологія вибілювання лляних платтяно-сорочкових тканин / О.В. Демкович, С.О. Поліщук // Вісник Київського національного університету технології і дизайну. – 2009. – № 2. – С. 104–108.
6. Демкович О. Шляхи розширення асортименту льоновомісних товарів / О. Демкович, Б. Семак // Товари і ринки : міжнародний науково-практичний журнал. – 2007. – № 1. – С. 31–36.
7. Martirosyan I., Pakholiuk O., Semak B., Lubenets V., Peredriy O. (2020). Investigation of Wear Resistance of Cotton-Polyester Fabric with Antimicrobial Treatment. In: Tonkonogiy V. et al. (eds) Advanced Manufacturing Processes. InterPartner 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. pp 433–441. DOI: 10.1007/978-3-030-40724-7_44.
8. Пахолук О.В. Нові технології ефективного захисту текстилю від мікробіологічних пошкоджень / І.А. Мартиросян, Б.Д. Семак, О.З. Комаровська-Порохнявець, В.І. Лубенець, С.А. Памбук // Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології. – 2019. – Т. 17. – № 4. – С. 621–636.
9. Peredriy Oksana, Pakholiuk Olena, Martirosyan Irina. Thermal properties of coatings based on full aluminosiloxane polymer. Materials Research Express. 2020. Volume. 7. Number 1. 015342. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab6c97>.
10. Мартиросян І.А. Вплив біоцидного оброблення целюлозовмісних текстильних матеріалів на зміну їх властивостей / І.А. Мартиросян, О.В. Пахолук, В.І. Лубенець // Вісник Хмельницького національного університету. – 2018. – № 6. – С. 94–99.

References

1. Pakholiuk O.V. Vykorystannya deiakykh polifunktsionalnykh obrobnykh preparativ dlia zakhystu tekstylnykh tselulozovm isnykh materialiv vid mikrobiolohichnykh poshkodzen / O.V. Pakholiuk, H.O. Pushkar ta in. // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. – 2019. – № 1. – S. 100–104.
2. Pakholiuk O.V. Problemy formuvannya ta otsiniuvannya biostiikosti tekstylnykh tselulozovm isnykh materialiv / O.V. Pakholiuk, H.O. Pushkar, I.S. Halyk, B.D. Semak // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. – 2019. – № 5. – S. 109–113.
3. Halyk I. S. Problemy formuvannya ta otsiniuvannya ekolohichnoi bezpechnosti tekstyliu : monohrafiia / I. S. Halyk, B. D. Semak. – Lviv : Vydavnytstvo Lvivskoi komertsii noi akademii, 2014. – 488 s.
4. Martirosyan I. Investigation on stability of textile materials for overalls processed by new biocidal preparation / I. Martirosyan, V. Lubenets, O. Peredriy // Technological Complexes. Scientific journal. – 2018. – № 1(15). – P. 53–59.
5. Demkovych O.V. Resursozberhailiucha tekhnolohiia vybiluvannya llianykh plattiano-sorochkovykh tkanyn / O.V. Demkovych, S.O. Polishchuk // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii i dyzainu. – 2009. – № 2. – С. 104–108.
6. Demkovych O. Shliakhy rozshyrennia asortymentu lonovm isnykh tovariv / O. Demkovych, B. Semak // Tovary i rynky : mizhnarodnyi naukovo-praktychny zhurnal. – 2007. – № 1. – S. 31–36.
7. Martirosyan I., Pakholiuk O., Semak B., Lubenets V., Peredriy O. (2020). Investigation of Wear Resistance of Cotton-Polyester Fabric with Antimicrobial Treatment. In: Tonkonogiy V. et al. (eds) Advanced Manufacturing Processes. InterPartner 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. pp 433–441. DOI: 10.1007/978-3-030-40724-7_44.
8. Pakholiuk O.V. Novi tekhnolohii efektyvnoho zakhystu tekstyliu vid mikrobiolohichnykh poshkodzen / I.A. Martirosyan, B.D. Semak, O.Z. Komarovska-Porokhniavets, V.I. Lubenets, S.A. Pambuk // Nanosystemy, nanomaterialy, nanotekhnolohii. – 2019. – Т. 17. – № 4. – S. 621–636.
9. Peredriy Oksana, Pakholiuk Olena, Martirosyan Irina. Thermal properties of coatings based on full aluminosiloxane polymer. Materials Research Express. 2020. Volume. 7. Number 1. 015342. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab6c97>.
10. Martirosyan I.A. Vplyv biotsydnoho obrobлення tselulozovm isnykh tekstylnykh materialiv na zminu yikh vlastyvostei / I.A. Martirosyan, O.V. Pakholiuk, V.I. Lubenets // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. – 2018. – № 6. – S. 94–99.

ПЕЛИК Л. В.

Львівський торговельно-економічний університет

ORCID ID: 0000-0002-3365-0312

e-mail: lpelyk@gmail.com

ПЕЛЕХ Ю. А.

Хмельницький кооперативний торговельно-економічний інститут

ORCID ID: 0000-0002-2818-9381

e-mail: annasofiya12@gmail.com

ВПЛИВ ЖОРСТКОСТІ ТА НЕЗМИНАЛЬНОСТІ НА ОЦІНЮВАННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

У статті досліджено показники жорсткості та незмінності котоніновмісних і змішаних тканин різних за волокнистим складом. Проаналізовано їх вплив на гігієнічні властивості швейного одягу. Встановлено, що зі збільшенням вмісту у складі котоніновмісних тканин волокон поліестеру та бавовни умовна жорсткість зменшується. Доведено, що на жорсткість текстильних матеріалів впливають їх волокнистий склад, структура, властивості волокон і ниток, а також структура й обробка самого матеріалу. Причиною збільшення коефіцієнта незмінності є зсідання тканини після перших циклів прання, що супроводжується підвищенням лінійної густини тканини; зменшення ступеня полімеризації целюлози, і, як наслідок, деструкція целюлозних волокон та вимивання з поверхні текстильного матеріалу.

Ключові слова: умовна жорсткість, поверхнєве заповнення, заповнення за масою, коефіцієнт умовної жорсткості.

PELYK LESIA V.

Lviv University of Trade and Economics

PELEH YULIA A.

Khmelnyskyi Cooperative Trade and Economic Institute

THE INFLUENCE OF RIGIDNESS AND CONSTANCY ON THE ASSESSMENT OF WEAR RESISTANCE OF TEXTILE MATERIALS

The article examines the indicators of stiffness and immutability of cottonine-containing and mixed tissues of different fibrous composition. Their influence on hygienic properties of sewing clothes is analyzed. Fabrics for summer clothes should be stiff enough, as this affects the underwear space. At the same time, the presence of lignin in the bast fibers gives the cotton-containing fabrics increased rigidity, which negatively affects the draping of the fabrics and the sewing of products in silhouette. Stiffness, relief and heterogeneity of flax fiber gives mixed cotton-containing fabrics the optimal structure for the manufacture of clothing in the summer range. The permanence of the fabric affects the quality of the product, its service life and consumption costs. Among the important factors that affect the rate of indelibility of the material itself. The ability of a textile material to restore its original appearance depends on the elastic properties and elastic deformations with a rapid period of relaxation. Elongation at the time of breaking linen and hemp yarn does not exceed 3%, cotton - 6%. The share of elastic deformation in the total elongation of the fibers is insignificant. Therefore, products made of natural cellulose fabrics are not resistant to wrinkling. The addition of polyester fibers increases the elasticity of tissues and immutability. The reasons for the increase in the coefficient of immutability are: fabric shrinkage after the first cycles of washing, accompanied by an increase in the linear density of the fabric; reducing the degree of polymerization of cellulose, and, as a consequence, the destruction of cellulose fibers and leaching from the surface of the textile material.

Keywords: conditional stiffness, surface filling, filling by weight, conditional stiffness coefficient.

Постановка проблеми

В останні роки значно збільшився попит на лляні та льоновомісні тканини завдяки їхнім гігієнічним та експлуатаційним властивостям: високій гігроскопічності, міцності, повітропроникності та незначному питомому поверхневому електричному опору. Лляні тканини часто імітують використовуючи суміші з синтетичними та бавовняними волокнами. Останнім часом перспективним напрямком у текстильній промисловості стало застосування котоніновмісних тканин. Котонін отримують, як правило, шляхом переробки низькосортного волокна та відходів (коротке волокно, очіс). Головними перевагами використання котоніну є більш низька собівартість та збереження унікальних гігієнічних властивостей волокна. Перспективним напрямом вирішення цього завдання є теоретичне та експериментальне дослідження нових альтернативних способів створення продукції високої якості, а також впровадження інноваційних технологій на основі досягнень вітчизняної науки. На самопочуття людини впливає рівень жорсткості текстильного матеріалу. Відомо, що легкі матеріали з гладкою поверхнею швидше прилипають до зволоженого тіла людини, послаблюючи при цьому потовиділення. М'яка бавовняна тканина більше прилипає до вологої шкіри людини. Сила прилипання для лляних тканин становить 75-78 гс, а у бавовняній тканині – 105–110 гс при однаковій площі контакту.

Тканини для літнього одягу повинні бути достатньо жорсткими, оскільки це впливає на підодяговий простір. Водночас присутність у луб'яних волокнах лігніну, надає котоніновмісним тканинам підвищеної

жорсткості, що негативно впливає на драпірувальність тканин та пошиття виробів за силуетом. Жорсткість, рельєфність та неоднорідність льняного волокна надає змішаним бавовняно-льняним тканинам оптимальну структуру для виготовлення одягу саме літнього асортименту.

Незминальність тканини впливає на якість виробу, термін його експлуатації та витрати при споживанні. Серед важливих чинників, які впливають на показник незминальності тканини, є склад сировини та вид оздоблення. Для збільшення коефіцієнта незминальності, тканини з вмістом більше 50 % целюлозних волокон необхідно піддавати заключному оздобленню механічним або хімічним способом (малозминальна або малозсідаюча обробка). Саме жорсткість матеріалу впливає на його здатність чинити опір згину.

Постановка завдання. Метою статті було дослідження жорсткості та незминальності платтяно-костюмних текстильних матеріалів різних за волокнистим складом.

Вклад основного матеріалу

Об'єктами досліджень слугували платтяно-костюмні тканини, які виготовлялися на ткацьких верстатах СТБ-4-180 та Picanoli-8-190 у виробничих умовах ПРАТ «Едельвіка» (м. Луцьк). За базові зразки було взято льноно-поліестерово-бавовняні тканини (вар. 1 та 3). Платтяно-костюмні тканини були виготовлені у виробничих умовах на Луцькому ПРАТ «Едельвіка». Досліджувані платтяно-костюмні тканини відрізнялися за такими ознаками: за волокнистим складом: льноно-бавовняні (вар. 4), льноно-поліестерово-бавовняні (вар. 1-3, 5, 6), бавовняно-конопляна (вар. 7), рамі-бавовняна (вар. 8) та конопляно-бавовняно-льноно-поліестерова тканини (вар. 9); за поверхневою густиною та товщиною; за видами оздоблення: відварені (вар. 2, 5, 7) та відбілені (вар. 1, 3, 4, 6, 8, 9). Жорсткість та незминальність досліджуваних платтяно-костюмних тканин визначались за стандартною методикою. Результати дослідження жорсткості бавовняно-льняних платтяно-костюмних тканин наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Параметри будови текстильних матеріалів з луб'яних волокон та характеристика умовної жорсткості

Вар. зразка	Товщина, мм	Поверхнева густина, г/м ²	Поверхнєве заповнення тканини, E _s , %	Об'ємна маса, мг/мм ³	Заповнення за масою, E _g , %	Умовна жорсткість, мкН·см ²		Коефіцієнт умовної жорсткості
						основа	уток	
1	0,42	140	55,13	0,333	30,0	4,38	4,32	1,01
2	0,40	140	55,75	0,350	30,2	3,54	4,00	0,88
3	0,38	114	54,73	0,300	27,0	3,60	3,44	1,05
4	0,34	140	72,56	0,412	47,9	7,52	8,02	0,94
5	0,42	150	62,92	0,357	35,5	4,61	5,90	0,78
6	0,44	165	63,59	0,375	37,7	7,08	7,53	0,94
7	0,85	301	77,97	0,354	42,7	11,44	12,85	0,89
8	0,36	135	73,05	0,375	44,6	5,09	5,18	0,98
9	0,41	166	70,58	0,405	40,3	14,54	17,69	0,82

Відомо, що жорсткість текстильних матеріалів залежить від виду переплетення, а саме за рахунок кількості зв'язків між системами ниток основи та утку. Всі досліджувані зразки мають полотняне переплетення. Тому визначальними чинниками, які впливають на показник жорсткості у є сировинний склад, лінійна густина пряжі, лінійне заповнення та заповнення за масою. Високі показники умовної жорсткості спостерігаємо у вар. 9 (14,54 мкН·см²·10³ за основою та 17,69 мкН·см²·10³ за утком) та вар. 7 (11,44 мкН·см²·10³ за основою та 12,85 мкН·см²·10³ за утком), що пояснюється природньою жорсткістю конопляних волокон. Відомо, що вміст лігніну у конопляному волокні становить 9,3 %, що на 44% більше за вміст лігніну у льняному волокні. Крім того вар. 7 серед досліджуваних зразків містить за основою та за утком пряжу найбільшої лінійної густини 57,4 текс×2 та має найбільшу товщину матеріалу 0,85 мм.

Аналіз таблиці 3.7 показує, що зі збільшенням у складі бавовняних волокон, які не містять у своєму складі лігніну, жорсткість матеріалу зменшується. Тау, у вар. 4 умовна жорсткість становить 7,52 мкН·см²·10³ за основою та 8,02 мкН·см²·10³ за утком при максимальному серед досліджуваних зразків заповненню за масою 55,7 % та високому поверхневому заповненні 72,56 %. У вар. 8 показник жорсткості є нижчим, ніж у вар. 4, і становить: за основою – 5,09 мкН·см²·10³ та за утком – 5,18 мкН·см²·10³, при меншому заповненні за масою 46,6 та найменшою серед використовуваних у дослідних зразках лінійною густиною пряжі рамі в утку 27,8 текс.

Найменший показники умовної жорсткості спостерігаємо у вар. 3 3,60 мкН·см²·10³ по основі та 3,44 мкН·см²·10³ по утку, що можна пояснити найменшими значеннями поверхневим заповненням тканини 54,73 % та заповненням за масою 27,0 %. Водночас причиною низького показника умовної жорсткості є додавання поліестерових волокон у склад тканини. У вар. 1 умовна жорсткість складає 4,38 мкН·см²·10³ за основою та 4,32 мкН·см²·10³ за утком, у вар. 2 – 3,54 мкН·см²·10³ та 4,00 мкН·см²·10³ відповідно, при

низькому поверхневому заповненні 55,13 %, 55,75 % відповідно, низькому заповненні за масою 31,0 % та 30,6 % відповідно.

Вміст поліестерових волокон у вар. 1 становить 50%, у вар. 2 – 55 %. Коефіцієнт жорсткості у вар. 1 коефіцієнт становить 1,01, при лінійному заповненні 34,32 % за основою та 31,68 % за утком, а у вар. 3 – 1,05, при лінійному заповненні 31,83 % за основою та 33,60 % за утком. Лінійне заповнення розглянутих варіантів за основою та утком знаходиться в однакових межах.

Здатність текстильного матеріалу відновлювати первинний вигляд залежить від пружних властивостей і еластичних деформацій зі швидким періодом релаксації. Видовження на момент розірвання лляної та конопляної пряжі не перевищує 3 %, бавовняної – 6 %. Частка пружної деформації у загальному подовженні волокон незначна. Тому вироби з натуральних целюлозних тканин нестійкі до зминання. Додавання поліестерових волокон збільшує пружність тканин та незмиральність. Результати дослідження незмиральності котоніновмісних тканин представлені в табл. 2.

Таблиця 2

Характеристика незмиральності досліджуваних котоніновмісних та змішаних тканин

Вар. зразка	Товщина, мм	Число ниток на 100 мм		Умовна жорсткість, мкН·см ² ·10 ³		Коефіцієнт умовної жорсткості	Коефіцієнт незмиральності, %			
		основа	уток	основа	уток		вихідні дані		після 60 циклів прання	
							основа	уток	основа	уток
1	0,42	130	120	4,38	4,32	1,01	54,4	54,2	59,4	61,1
2	0,40	152	150	3,54	4,00	0,88	71,4	67,2	64,1	64,1
3	0,38	152	180	3,60	3,44	1,05	54,4	48,3	59,3	58,3
4	0,34	217	160	7,52	8,02	0,94	34,7	25,0	42,8	24,7
5	0,42	130	125	4,61	5,90	0,78	55,0	29,2	58,9	30,0
6	0,44	130	135	7,08	7,53	0,94	59,4	31,4	72,2	28,3
7	0,85	109	133	11,44	12,85	0,89	31,3	37,2	31,9	34,2
8	0,36	202	200	5,09	5,18	0,98	35,8	23,9	24,4	47,2
9	0,41	131	204	14,54	17,69	0,82	51,1	26,4	62,5	30,0

Аналіз таблиці 2 показав, що низькі показники коефіцієнта незмиральності спостерігаємо у вар. 8 (35,8 % за основою та 23,9 % за утком), при товщині 0,36 мм та вар. 4 (34,7 % за основою та 25,0 % за утком), при товщині 0,34 мм, оскільки вони виготовлені з натуральних целюлозних волокон. Вар. 7 також виготовлений з целюлозної, а саме бавовняно-конопляної пряжі, проте характеризується більшим коефіцієнтом незмиральності за утком 37,2 % та більшою товщиною 0,85 мм, в порівнянні з вар. 4 та вар. 8. У вар. 6 показник коефіцієнта незмиральності становить (59,4 % по основі та 31,4 % по утку), при умовній жорсткості (7,08 мкН·см²·10³ за основою та 7,53 мкН·см²·10³ за утком) і є вищим, ніж у вар. 5 (55,0 % за основою та 29,2 % за утком), при умовній жорсткості (4,61 мкН·см²·10³ за основою та 5,90 мкН·см²·10³ за утком).

У вар. 2 спостерігається найбільший коефіцієнт незмиральності (71,4 % за основою та 67,2 % за утком) та найбільший коефіцієнт незмиральності після 60 циклів прання (64,1 % за основою та 64,1 % за утком), за низької умовної жорсткості (3,54 мкН·см²·10³ та 4,00 мкН·см²·10³). Це можна пояснити найбільшим вмістом поліестерових волокон у складі тканини. Зі збільшенням поліестерових волокон у складі тканини показник незмиральності збільшується. Спостерігаємо збільшення коефіцієнта незмиральності після прання у вар. 1 (на 9,2 % за основою та на 10,7 % за утком), у вар. 3 (на 10,0 % за основою), вар. 5 (на 7,09 % за основою), вар. 9 (на 21,5 % за утком). За вказаними напрямками варіантів описаних вище, зразки тканин виготовлені з змішаної котоніновмісної пряжі лінійної густини 29,4 текс×2.

Висновки

Змішані тканини отримують шляхом змішування натуральних і синтетичних волокон. Змішування, практично не впливає на комфортність натуральної тканини, яка визначається ступенем безпечності тканини для організму людини, та дозволяє надати їм додаткові фізико-механічні та експлуатаційні властивості – міцність, зносостійкість, незмиральність, візуальні ефекти.

Проведені дослідження показали, що зі збільшенням вмісту у складі котоніновмісних тканин волокон поліестеру та бавовни умовна жорсткість зменшується. Зі зменшенням показника поверхневого заповнення та заповнення за масою показник умовної жорсткості збільшується. Доведено, що на жорсткість текстильних матеріалів впливають їх волокнистий склад, структура, властивості волокон і ниток, а також структура й обробка самого матеріалу.

Причиною збільшення коефіцієнта незмиральності є: зсідання тканини після перших циклів прання, що супроводжується підвищенням лінійної густини тканини; зменшення ступеня полімеризації целюлози, і, як наслідок, деструкція целюлозних волокон та вимивання з поверхні текстильного матеріалу.

Література

1. Л. В. Пелик Дослідження зносостійкості льономісних текстильних матеріалів / Л. В. Пелик, Д.Ю. Шелька, А.А. Сокальська // Вісник Львівського торговельно-економічного університету. – 2020. Вип. 23. – С. 5–10.
2. Pelyk L.V., Pelekh Yu.A. Wearing out process of textile materials made of thermoresistant fibers and its impact on the filtering capacity of the hose filters. Advanced technologies in education, industry and the environment. Monograph: edited by Olga Paraska, Norbert Radek, Oleg Synyuk. Kielce University of Technology, Kielce, Poland, 2020. 297 p.
3. Пелик Л.В. Матеріалознавство та основи технологій виробництва товарів : навчально-наочний посібник / Л.В. Пелик, І.С.Полікарпов, Р.В. Кирильчук та ін. – Львів : Видавництво Львівської комерційної академії, 2015. – 108 с.
4. Захаренко В.О. Матеріалознавство та основи технології виробництва товарів : навч. посіб. / В.О. Захаренко. – Харків : ХДУХТ, 2016 – 195 с.

References

1. L. V. Pelyk Doslidzhennia znosostiikosti lonovmisnykh tekstylnykh materialiv / L. V. Pelyk, D.Iu. Shelka, A.A. Sokalska // Visnyk Lvivskoho torhovelno-ekonomichnoho universytetu. – 2020. Vypusk 23. – S. 5–10.
2. Pelyk L.V., Pelekh Yu.A. Wearing out process of textile materials made of thermoresistant fibers and its impact on the filtering capacity of the hose filters. Advanced technologies in education, industry and the environment. Monograph: edited by Olga Paraska, Norbert Radek, Oleg Synyuk. Kielce University of Technology, Kielce, Poland, 2020. 297 p.
3. Pelyk L.V. Materialoznavstvo ta osnovy tekhnolohii vyrobnytstva tovariv : navchalno-naochnyi posibnyk / L.V. Pelyk, I.S.Polikarpov, R.V. Kyrylchuk ta in. – Lviv : Vydavnytstvo Lvivskoi komertsii noi akademii, 2015. – 108 s.
4. Zakharenko V.O. Materialoznavstvo ta osnovy tekhnolohii vyrobnytstva tovariv : navch. posib. / V.O. Zakharenko. – Kharkiv : KhDUKhT, 2016 – 195 s.

Рецензія/Peer review : 02.10.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.10.2021 р.

НЕЧІПОР С. В., БАШТИНСЬКА А. В.

Українська інженерно-педагогічна академія

ORCID ID: 0000-0003-3497-9889

e-mail: nechiporsvetlana@gmail.com

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЄКТУВАННЯ ВИРОБІВ-ТРАНСФОРМЕРІВ ДЕМІСЕЗОННОГО ВЕРХНЬОГО ЖІНОЧОГО ОДЯГУ ЗІ ШТУЧНОЇ ШКІРИ

У роботі описано особливості проектування виробів-трансформерів демісезонного верхнього жіночого одягу зі штучної шкіри. Деталізовано процес проектування, конструктивні та технологічні особливості таких виробів зі штучної шкіри, наведено рекомендації щодо процесу проектування.

Ключові слова: виріб-трансформер, штучна шкіра, трансформація, жіночий одяг, швейний виріб.

NECHIPOR SVITLANA V., BASHTINSKA ALINA V.

Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy

DESIGN FEATURES OF TRANSFORMING DEMISEASON OUTER WOMEN'S CLOTHES MADE OF ARTIFICIAL LEATHER

The garment industry task is to make products from materials that do not harm the environment and can be used in different life situations (turned into products for different purposes or assortment and used in different weather conditions). Therefore, the work is devoted to transforming clothes. The artificial leather from which it is proposed to make clothes is a modern ecological material, therefore this material is chosen as an example in work. The analysis of scientific researches concerning features of clothes transformation is carried out. It is determined that the issue of transformation of garments requires additional study. The article highlights the design of garments for women's outerwear made of artificial leather, which can be transformed; certain properties of artificial leather that affect special approaches to the design of such clothing; technological features of processing of some types of transformational from artificial leather are defined. Based on the properties of artificial leather and taking into account the requirements for transforming clothes, the collection of transforming clothes of demi-season women's outerwear was designed. The logical structure of designing products-transformers from artificial leather is developed. The method of transformation (connection-disconnection) and accessories (buttons, tape- "zipper") are chosen. Assembly schemes of processing product knots that undergo transformation are developed. Development of product cut de tails of a collection from the main material is executed. The efficiency of the developed collection is investigated by determining the coefficients of functional use of products. A comparative analysis of the results is performed. The relevance and functionality of the designed products-transformers are investigated. Issues for further research in this area are identified.

Key words: transforming clothes, artificial leather, transformation, women's clothing, garment.

Постановка проблеми

Глобалізація економіки, розвиток продукції світових брендів, різноманітність глянцевого журналістики та розповсюдження їх через мережу Інтернет впливають на споживчі смаки покупців швейних виробів. Фахівці індустрії моди вважають, що саме такий шлях розвитку дизайну швейних виробів є доречним, оскільки дає розвиватися модним трендам, стилям, конструктивним та технологічним новинкам.

Завдання дизайнера – завчасно виявляти напрямки розвитку дизайну швейних виробів щодо зміни середовища та способу життя людей, їх споживчих потреб. Кожен із видатних модельєрів, таких як К. Шанель, К. Діор, К. Балансіага, Ів Сен-Лоран тощо, підходив до проектування одягу з інноваційним баченням трендів моди. Одним із напрямків сучасного дизайну одягу є розробка виробів - трансформерів. Такі вироби дозволяють власнику самому ставати дизайнером та створювати різні образи залежно від потреби. Людина відчуває свободу вибору, адже може виявити свій смак, розвинути фантазію. Купуючи один виріб насправді споживач отримує кілька варіантів, які можуть бути використані у різних життєвих ситуаціях та умовах. Особливо такий одяг цінується під час подорожей, коли необхідно мати кілька виробів різного асортименту.

Проектування швейних виробів, здатних до трансформації, на підприємствах здійснюється за алгоритмом типового процесу проектування. Він має за мету зменшення витрат часу на проектування та виготовлення швейних виробів, з врахуванням потреб великої кількості споживачів продукції. Результатом цих процесів стали розроблені різноманітні системи моделей швейних виробів. Загальною метою їх створення є забезпечення різноманітності виробів за асортиментом. Система моделей урізноманітнюється за рахунок модифікації моделей. З точки зору споживача, моделі-модифікації мають значні переваги над іншими виробами. З позиції проєктувальника модель зазнає мінімальних конструктивних і композиційних змін [1].

Ринкові відносини та глобальна економічна ситуація диктують нові вимоги до швейного виробництва: гнучкість (здатність підприємства до швидкої переорієнтації виробництва, можливість швидкого переходу на випуск продукції іншого асортименту та моделей); оптимальність (уміння функціонувати при різних умовах стану економіки, випускаючи високоякісні швейні вироби з термінами виготовлення, які визначені планом); економічність (здатність до випуску швейних виробів, які можуть виконувати різноманітні функції та використовуватись за різних погодних умов, економічна привабливість для споживачів). Це спонукає до випуску продукції, яка є універсальною у використанні. Швейні вироби - трансформери і є тим видом продукції, який може забезпечити функціональні та економічні вимоги

покупців [1, 2]. Проектування виробів-трансформерів уже розглядалось та висвітлено в роботах таких науковців, як Акілова З. Т., Захаркевич В. О., Кошевко С. Г., Нагорна З. В., Пашкевич К. Л., Петушкова Г. І., Славінська А. Л., Червінська Т. В. та ін. Однак, питання залишається актуальним та недостатньо вивченим щодо конкретизації та деталізації питань трансформації з врахуванням певного асортименту та властивостей матеріалів, з яких виготовляються швейні виробу.

Аналіз останніх досліджень

Науковці багато уваги приділяють вивченню питань трансформації в одязі. Так, Пашкевич К. у роботі [2] розглядає застосування сучасних методів для проектування колекцій одягу складних форм, розглядає проектування виробів-трансформерів шляхом визначення модулів рівнів підпорядкованості конструктивних ознак виробу (асортимент, конструкція, цільова функція).

Славінська А., Кошевко С. та Кулешова С. у роботі [1] розглядають фактори, які впливають на сегментацію виробу. Серед них конфігурація елементів; спряженість елементів; додаткові особливості сегментації стану; орієнтація оздоблювальних елементів; призначення одягу; кратність членувань, модельні особливості, просторова форма та силуетні особливості рукава. Зосереджено увагу на тому, що при проектуванні ліній членування слід враховувати особливості технологічної обробки трансформуючих елементів. Зауважено, що виріб-трансформер складається зі стабільної (основна частина виробу, до якої приєднуються елементи) та мобільної частини виробу (блок чи деталь, яка від'єднується).

Практично перевірено, що трансформуючі елементи найкраще розташовуються на стабільних ділянках виробу (плечовий пояс, ділянка лінії грудей, талії, стегон), де лінія членування з трансформуючим елементом не зазнає додаткової деформації розтягування та стискання). Лінії членування найкраще розташовувати по прямих (або близьких до такого розташування) лініях. Розташування ліній трансформації в навкісному напрямку на етапі проектування має враховувати загальну вагу трансформуючого елемента, який до неї прикріплюється та враховувати можливу деформацію. Таке розташування найбільше використовується у легкому одязі з невеликою загальною вагою оздоблювального чи трансформуючого елемента та з врахуванням необхідності додаткового зміцнення стабільного елемента з метою забезпечення нерозтягуваності краю на етапі обробки та у процесі експлуатації.

Використання фурнітури для від'єднання-приєднання трансформуючих вузлів (кнопки, гудзики, тасьма-«блискавка», стрічка, гачки та петлі, блочки тощо) та засобів фіксації (застібка «велкро», куліски, еластична тасьма, фіксатори шнурів тощо) має базуватись на детальному проектуванні місць кріплення на ділянках стабільної (середньої) товщини, які розташовані орієнтовно посередині припуска чи деталі, яка є технологічним вузлом трансформації [1, 2, 5–10].

Серед багатьох видів трансформації, які виділяє А. Л. Славінська зі співавторами (від'єднання-приєднання, поєднання-вкладання, зникнення-з'явлення, орієнтація, перестановка, згортання-розгортання, розчленування, регулювання-фіксація, заміщення, розтяг-стик, вивертання тощо) найчастіше використовується вид трансформації від'єднання-приєднання. Науковці виділяють три ступені змінюваності вихідного виробу. При першому ступені у виріб вносяться незначні зміни (зміна довжини рукава, вкладання утеплювальної прокладки у виріб, зміна декоративних елементів, зміна розмірів одягу для вагітних). Другий ступінь передбачає зміну виду виробу за рахунок трансформаційних елементів без зміни основної функції (перетворення жакета в жилет, пальта – в жакет). Третій ступінь – це зміна виду виробу за рахунок трансформації зі зміною основної функції (куртка – рюкзак, сумка – з кишені, шарф з оздоблювального волана тощо) [1, с.126].

Метою роботи є висвітлення питання особливостей проектування швейних виробів-трансформерів верхнього жіночого одягу зі штучної шкіри; визначення властивостей штучної шкіри, які впливають на особливі підходи щодо проектування такого одягу; визначення технологічних та конструктивних особливостей проектування трансформаційних вузлів зі штучної шкіри; розробка колекції виробів-трансформерів демісезонного жіночого верхнього одягу зі штучної шкіри; надання рекомендації щодо особливостей проектування такого одягу; дослідження актуальності та функціональності спроектованих виробів-трансформерів.

Виклад основного матеріалу

Суспільство розвиває рух гуманного ставлення до тваринного світу, підтримує екологічний рух. Усе більше людей обирають альтернативні вироби з екологічної шкіри. Відомі компанії з виробництва одягу працюють не тільки з якісними матеріалами, але й турбуються про безпечне їх виготовлення, вторинне використання.

Такі будинки моди, як H&M, Calvin Klein, Vivienne Westwood відмовляються від використання натурального хутра та шкіри. Такі приклади привертають увагу і виробників одягу та матеріалів для нього, покупців одягу. Штучна шкіра популярна на ринку матеріалів для виготовлення різноманітних виробів. Вона подібна до натуральної шкіри. Нові версії штучної шкіри виглядають так реалістично, що можна помилитись у визначенні її походження. Штучна шкіра створюється з використанням поліаміду, полівінілхлориду, гуми, поліуретану та нітроцелюлози. Полотно шкіри отримують шляхом нанесення на неткану волокнисту або ткану основу (яка складається з бавовни, або з віскози чи синтетичних волокон) полімерного покриття [3].

Серед різноманіття штучної шкіри для виготовлення швейних виробів найбільше підходить стрейчева штучна шкіра. Трикотажна основа (заввичай, бавовняна), в яку входить певна кількість еластану. На цю поверхню наноситься полімерне покриття. Матеріал міцний, довговічний, з хорошими експлуатаційними показниками [3; 4]. Саме тому, для подальшої роботи над колекцією виробів-трансформерів, обрано сучасну штучну шкіру. Використавши для виготовлення виробів саме цей матеріал, ми отримаємо приємний на дотик, еластичний, повітропроникний, гіпоалергенний, міцний виріб.

При роботі зі штучною шкірою потрібно дотримуватись певних вимог і правил. При проектуванні виробів-трансформерів слід враховувати і технологічні особливості трансформаційних вузлів [1, 2, 5–10]: не планувати технологічні вузли, які створюють велику товщину; проектувати мінімальну кількість швів; виточки і підрізи замінювати кокетками, рельєфами; мінімально застосовувати склади, застрочні шви, оздоблювальні деталі; створення об'ємної форми виробу планувати шляхом виконання швів (спрасовування чи відтягування ділянок деталей виконуються вкрай рідко, якщо матеріал допускає незначну ВТО); трансформаційні вузли планувати за місцем розташування (на різних ділянках виробу технологія обробки може відрізнитись); усі волого-теплові роботи замінювати оздоблювальними строчками, або внутрішньою клейовою стрічкою, яка скріплює припуски; за потреби – використовувати спеціальний клей для шкіри (розкласти припуски, приклеювати до основи, далі виконувати строчки); використовувати двосторонню клейову смужку (підкладати під припуск, притискати, виконати строчки); шви рекомендується настрочувати (у більш товстих матеріалах – вистрочувати з підкладанням стрічки під розкладені в різні боки припуски); волого-теплова обробка штучної шкіри виконується лише зі зворотного боку теплою праскою без зволоження, через пропрасовувач (за умови, якщо іншого способу немає).

Проектування трансформаційних вузлів у виробах зі штучної шкіри вимагає особливих підходів та послідовності дій: обрати місця їх розташування; визначити криволінійність контуру трансформації; визначити базовий (стабільний) та трансформуючий (мобільний елемент виробу); врахувати властивості матеріалів (здатність до ВТО (спрасування-відтягування) та товщину основного матеріалу); визначити орієнтовну вагу мобільного вузла, від якої залежить кількість строчок кріплення чи кількість та частота розташування фурнітури на стабільному чи мобільному вузлі; вибрати фурнітуру та визначити метод її кріплення; спроектувати технологію оброблення трансформаційного вузла (ширину вузла трансформації; перелік швів, які входять до його складу; розрахувати величину припусків на шви; скласти специфікацію деталей крою; розробити технологічну послідовність обробки вузла); спроектувати складальні схеми. Товщина трансформаційних вузлів може бути зменшена за рахунок деталей, які знаходяться зі зворотного боку. Їх можна виконати з тканини та зміцнити клейовою прокладкою. Фурнітура для трансформаційних вузлів обирається залежно від місця їх розташування та доцільності застосування.

Отже, на підставі аналізу літератури [1–6] ми розробили структурно-логічну схему проектування виробів-трансформерів верхнього жіночого одягу зі штучної шкіри (рис. 1). У схемі не передбачена конструктивна складова. Вона є наслідком проектування та деталізації підходів до обробки трансформаційних вузлів. Розроблено колекцію виробів-трансформерів верхнього жіночого одягу (рис. 2).

Рационально створена колекція виробів-трансформерів передбачає перетворення жіночого плечового одягу з одного виду в інший. Трансформація значно покращує експлуатаційні властивості одягу та термін його використання. Оскільки верхній одяг є виробом, який складається з кількох шарів, його зовнішній вигляд і формостійкість при експлуатації залежать від якості матеріалу верху (у нашому випадку штучна шкіра); внутрішніх шарів матеріалів; від формостійкості деталей виробу та трансформаційних вузлів; від зручності місця розташування трансформаційного вузла з точки зору технології обробки, комфорту експлуатації; способів з'єднання деталей та зносостійкості елементів виробу. Оскільки для колекції виробів-трансформерів нами обрано штучну шкіру, враховано необхідність проектування виробів з мінімальною кількістю швів та розташування трансформаційних вузлів на прямих або злегка заокруглених ділянках. Місця розташування трансформаційних вузлів можуть бути використані і для обміну складовими елементами різних виробів, що забезпечить більшу функціональність при експлуатації.

Вибрано фурнітуру для з'єднання-від'єднання у вигляді тасьми-«блискавка» та гудзиків. При проектуванні способів обробки трансформаційних вузлів нашарування матеріалів сплановано не великим. Деталі з основного матеріалу (планка трансформаційного вузла «пройма рукава») замінено на деталі з цупкої тканини, яка не створює надмірного потовщення, може бути зміцнена клейовою прокладкою для кращого утримання пришитих гудзиків та збільшення щільності країв петель.

Складальні схеми трансформаційних вузлів виробів колекції наведено на рис. 3.

Деталі крою виробів виконуються з врахуванням зовнішнього вигляду моделей та способів обробки швів та вузлів виробів. Деталі з основного матеріалу наведені на рис. 4.

Розробивши колекцію, необхідно визначити ефективність трансформації кожного виробу. Тобто, розроблена колекція моделей виробів-трансформерів зі штучної шкіри, має бути охарактеризована коефіцієнтом функціонального використання. Славінська А. Л. зі співавторами пропонує розраховувати такий коефіцієнт як співвідношення кількості «функціональних виробів до та після трансформації до загальної кількості елементів, що використовуються для цього» [1, с. 166]. Тобто один виріб розглядається як кілька окремих виробів, залежно від етапу та виду його трансформації. Загальна кількість елементів – це сума усіх функціональних виробів до та після трансформації, додаткових конструктивних елементів, за допомогою яких здійснюється перетворення вихідного виробу у новий, та нефункціональних елементів, що з'явилися у процесі такого перетворення.

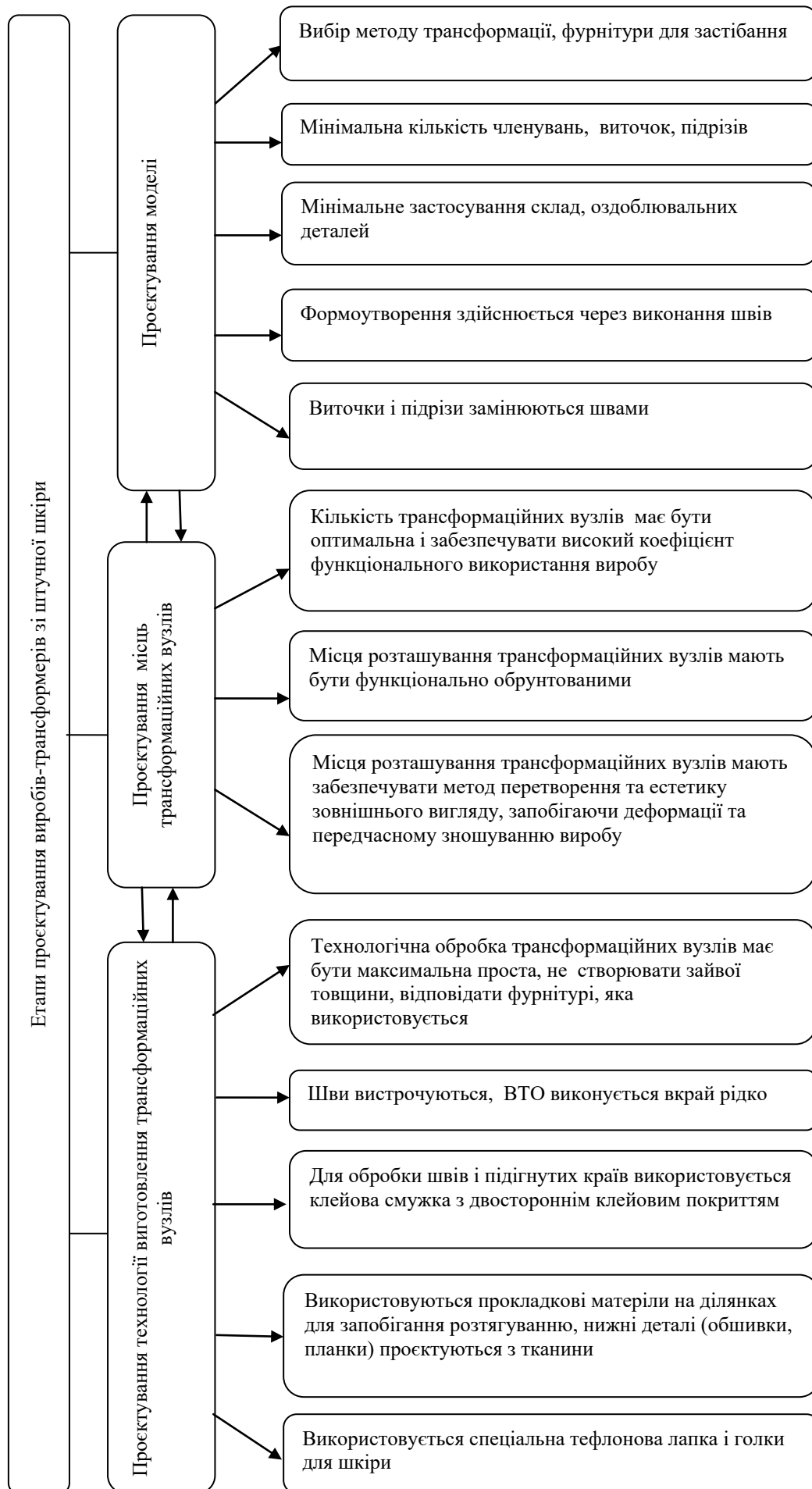


Рис. 1. Структурно-логічна схема проєктування виробів-трансформерів зі штучної шкіри



Рис. 2. Колекція верхнього жіночого одягу-трансформеру зі штучної шкіри

Визначити коефіцієнт (повноту) функціонального використання виробу-трансформера та усіх його елементів для того щоб поррахувати коефіцієнт функціонального використання моделі колекції за формулою можна шляхом виконання такої послідовності дій: встановити повну кількість усіх видів виробів до процесу трансформації; встановити загальну кількість конструктивних елементів, які відсутні у вихідному виробі, але мають значення у процесі трансформації; визначити повний процес трансформації; визначити кількість отриманих функціональних видів виробів; встановити ту кількість нефункціональних конструктивних елементів, які утворились після процесу трансформації і не можуть бути використані для утворення нового окремого виробу [1, с. 166].

Коефіцієнт функціонального використання розраховується за формулою (1):

$$K_f = (Gb + Ga) / (Gb + Ga + Db + Da), \quad (1)$$

у якій Db – кількість додаткових конструктивних елементів до процесу трансформації;
 Da – кількість нефункціональних елементів після процесу трансформації;
 Gb – кількість функціональних виробів до процесу трансформації;
 Ga – кількість функціональних виробів після процесу трансформації [20, с. 166].

Рівень отриманого коефіцієнта функціонального використання елементів виробу-трансформера потрібно оцінити та проаналізувати. Ми виконали розрахунки та проаналізували вироби розробленої колекції жіночого верхнього одягу зі штучної шкіри та отримали такі результати: $Kf_1 = 0,5$; $Kf_2 = 0,57$; $Kf_3 = 0,74$; $Kf_4 = 0,5$; $Kf_5 = 0,57$.

Згідно розрахунків, найвищий коефіцієнт функціонального використання у моделі 3, він становить 0,74. Загалом ця модель трансформується у 13 самостійних виробів. Однак, можна підвищити коефіцієнт, якщо волян спідниці (не функціональний елемент до трансформації) врахувати як трансформаційний елемент спідниці. При цьому коефіцієнт функціональності становитиме 0,82.

Моделі 2 і 5, які мають чотири трансформаційних виробу, мають коефіцієнт функціонального використання – 0,57. Моделі 1 і 4 – 0,5.

Збільшити функціональність моделей можна шляхом формування взаємозамінних блоків у випадку одного матеріалу верху і різних кольорів елементів трансформації.

Недоліками проектування виробів-трансформерів є нерівномірність зношування основної частини та трансформаційних ділянок виробу, що впливає на естетичні показники якості виробу в процесі експлуатації. Але можливість отримання великої кількості варіантів виробів переважає над такими незручностями [1]. Адже верхній одяг, який на сьогодні використовують жінки, в середньому експлуатується не більше двох-трьох років. Якість сучасних матеріалів дозволяє впродовж цього терміну не втратити естетичних властивостей основної функціональної частини виробу-трансформера.

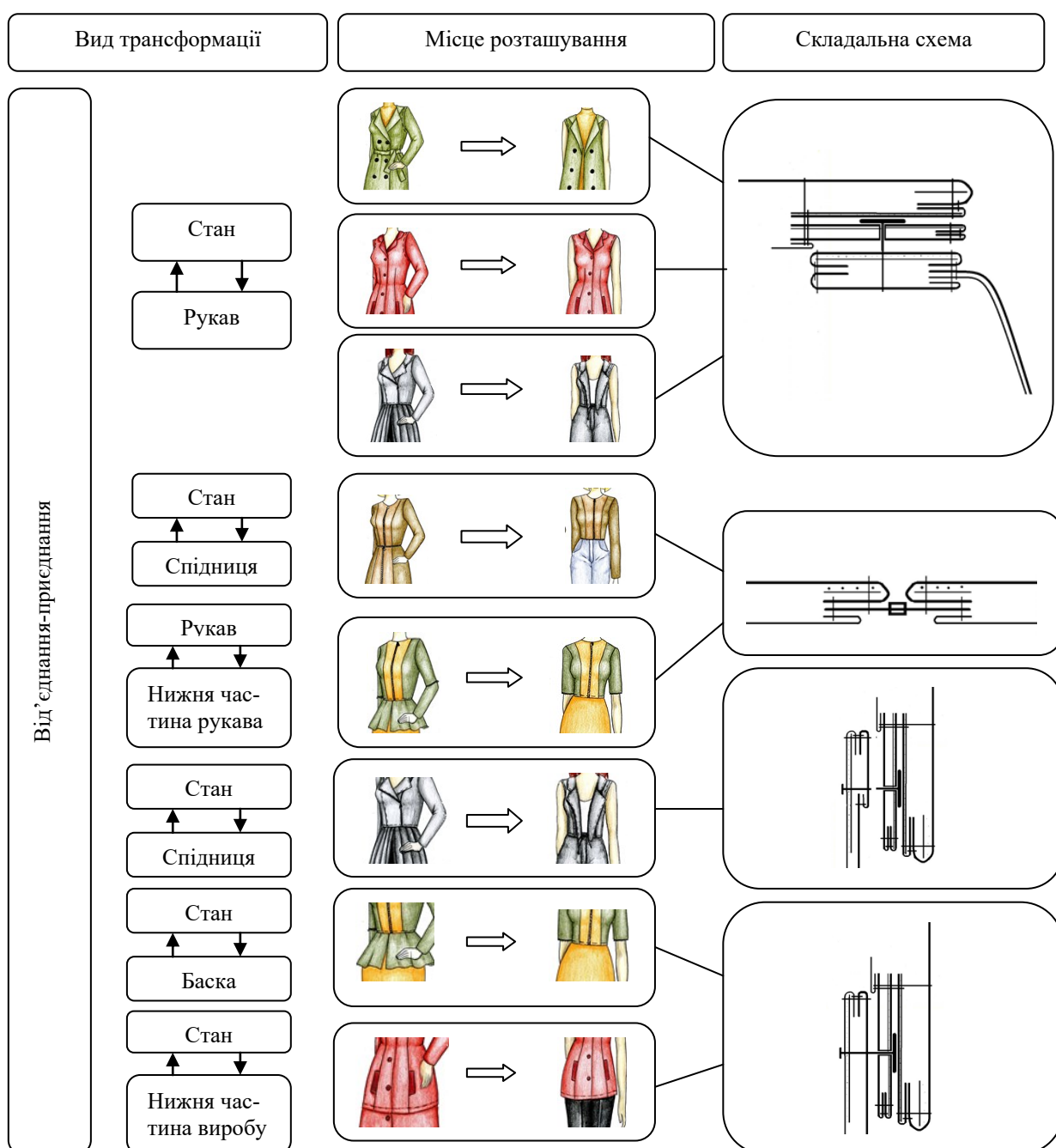


Рис. 3. Складальні схеми трансформаційних вузлів виробів верхнього одягу зі штучної шкіри



Рис. 4. Деталі крою виробів колекції верхнього одягу зі штучної шкіри (основний матеріал)

Отже, колекція виробів-трансформерів складається з різноманітних виробів з певною кількістю видів трансформації (від двох і більше), виготовляється з сучасного, актуального для сьогодення, матеріалу. Може бути використана на підприємствах легкої промисловості.

Висновки

На основі властивостей штучної шкіри та з врахуванням вимог до виробів-трансформерів виконано проектування колекції виробів-трансформерів жіночого верхнього одягу. Розроблено технологічну та конструкторську складові виробів колекції з врахуванням трансформаційних вузлів та вимог до їх проектування. Ефективність проектування досліджено шляхом визначення коефіцієнтів функціонального використання виробів спроектованої колекції. Здійснено порівняльний аналіз. Визначено, що не всі вироби колекції відповідають вимогам та можуть задовольнити споживчі вимоги покупців повною мірою. Підвищення коефіцієнта функціональності шляхом внесення незначних змін до виробів-трансформерів забезпечить кращі функціональні та експлуатаційні показники моделей колекції. Розроблено логічну структуру дизайн-проектування виробів-трансформерів зі штучної шкіри.

Подальших досліджень вимагають питання проектування одягу різноманітного асортименту, здатного до трансформації, з врахуванням підвищених вимог до використаних матеріалів, фурнітури, взаємозамінності трансформаційних вузлів.

Література

1. Проектування типологічних рядів одягу із застосуванням експертних систем : монографія / [А.Л. Славінська, О.В. Захаркевич, Ю.В. Кошевко, С.Г. Кулешова]. – Хмельницький : ХНУ, 2019. – 193 с.
2. Пашкевич К.Л. Застосування сучасних методів для проектування колекцій одягу складних форм / К.Л. Пашкевич, М.В. Колосніченко, К.О. Науменко, О.С. Хапанцева // Теорія та практика дизайну. Технічна естетика. – 2015. – Вип. 8. – С. 217–225.
3. Види і переваги штучної шкіри [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://obrii.com.ua/main/19875-vidi-i-perevagi-shtuchnoyi-shkiri.html>
4. Рекомендації по качественному пошиву вещей из искусственной кожи [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://shjem-krasivo.ru/novoe/rekomendatsii/rekomendacii-po-kachestvennomu-poshivu-veshhej-iz-iskusstvennoj-kozhi.html>
5. Нагорна З.В. Класифікація методів трансформативного формоутворення в одязі / З.В. Нагорна // Вісник ХДАДМ. – 2013. – № 2. – С. 87–89.
6. Петушкова Г.И. Трансформация как метод проектирования костюма / Г.И. Петушкова. – М. : ИИЦ МГУДТ, 2008. – 241 с.
7. Привала В. О. Систематизація способів здійснення трансформації сучасного одягу / В. О. Привала, Л. В. Буханцова // Вісник Хмельницького національного університету. Техн. науки. – 2012. – № 2. – С. 65–68.
8. Савчук Н.Г. Класифікація трансформуючих елементів / Н.Г. Савчук, О.В. Захаркевич, І.М. Мінчак // Наукові розробки молоді на сучасному етапі : наукова-технічна конференція. – Хмельницький, 2010. – С. 21–22.
9. Червінська Т.В. Розробка конструктивних і технологічних рішень трансформуючих вузлів виробів-трансформерів верхнього одягу / Т.В. Червінська, Н.Г. Савчук // Наукові нотатки : міжвузівський збірник. – Луцьк, 2011. – Випуск № 34. – С. 322–327.

References

1. Proektuvannya typolohichnykh riadiv odiahu iz zastosuvanniam ekspertnykh system : monohrafiia / [A.L. Slavinska, O.V. Zakharkevych, Yu.V. Koshevko, S.H. Kuleshova]. – Khmelnytskyi : KhNU, 2019. – 193 s.
2. Pashkevych K.L. Zastosuvannya suchasnykh metodiv dlia proektuvannya kolektsii odiahu skladnykh form / K.L. Pashkevych, M.V. Kolosnichenko, K.O. Naumenko, O.S. Khapsantseva // Teoriia ta praktyka dyzainu. Tekhnichna estetyka. – 2015. – Vyp. 8. – S. 217–225.
3. Vydy i perevahy shtuchnoi shkiry [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://obrii.com.ua/main/19875-vidi-i-perevagi-shtuchnoyi-shkiri.html>
4. Rekomendacii po kachestvennomu poshivu veshej iz iskusstvennoj kozhi [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu : <https://shjem-krasivo.ru/novoe/rekomendatsii/rekomendacii-po-kachestvennomu-poshivu-veshhej-iz-iskusstvennoj-kozhi.html>
5. Nahorna Z.V. Klyasyfikatsiia metodiv transformativnoho formoutvorennia v odiazi / Z.V. Nahorna // Visnyk KhDADM. – 2013. – № 2. – S. 87–89.
6. Petushkova G.I. Transformatsiia kak metod proektirovaniya kostyuma / G.I. Petushkova. – M. : IIC MGUDT, 2008. – 241 s.
7. Pryvala V. O. Systematyzatsiia sposobiv zdiisnennia transformatsii suchasnoho odiahu / V. O. Pryvala, L. V. Bukhantsova // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2012. – № 2. – S. 65–68.
8. Savchuk N.H. Klyasyfikatsiia transformuiuchykh elementiv / N.H. Savchuk, O.V. Zakharkevych, I.M. Minchak // Naukovirozrobky molodi na suchasnomu etapi : naukova-tekhnichna konferentsiia. – Khmelnytskyi, 2010. – S. 21–22.
9. Chervinska T.V. Rozrobka konstruktyvnykh i tekhnolohichnykh rishen transformuiuchykh vuzliv vyrobiv -transformeriv verkhnoho odiahu / T.V. Chervinska, N.H. Savchuk // Naukovinotatky : mizhvuzivskiyzbiyrnyk. – Lutsk, 2011. – Vypusk № 34. – S. 322–327.

Рецензія/Peer review : 18.09.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.10.2021 р.

СОКОЛОВСЬКА О. Г.

Одеська національна академія харчових технологій

ORCID ID: 0000-0003-4326-1932

e-mail: sokolovskaya_alena@meta.ua

ВАЛЕВСЬКА Л. О.

Одеська національна академія харчових технологій

ORCID ID: 0000-0003-0511-5643

e-mail: ludmila_valev@ukr.net

ОЧИЩЕННЯ ЗЕРНА КІНОА – ВАЖЛИВИЙ ЕТАП ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ

Робота присвячена організації операції очищення зерна кіноа, яка є важливим етапом його післязбиральному обробки. У роботі наведено аналіз сучасного стану ринку кіноа у світі та перспективи її виробництва в Україні. Нами визначено геометричні розміри та розраховано основні геометричні показники зерна кіноа, що є основними показниками для організації і ведення процесу очищення. На основі ситового аналізу та гранулометричних показників зерна кіноа розроблено фракційну схему очищення зерна кіноа.

Ключові слова: кіноа, очищення зерна, геометричні розміри зерна, ситовий аналіз, фракційна схема очищення.

SOKOLOVSKAYA O., VALEVSKAYA L.
Odessa National Academy of Food Technologies

CLEANING OF QUINO GRAIN - AN IMPORTANT STAGE OF POST-HARVEST TREATMENT

In the world and in Ukraine, the quinoa market is growing rapidly due to its extremely beneficial properties for the body. Quinoa is one of the few gluten-free crops with a high content of easily soluble proteins, which provides the possibility of making special foods for children, people who play sports, vegetarians and diabetics. Quinoa grain contains a lot of protein: from 16.2% to 20%, the amino acid composition of the protein is very balanced, quinoa grain also contains carbohydrates, fats high in lecithic acid, fiber, minerals and vitamins of group B. The dynamics of sown areas and quinoa production in the world.

The work is devoted to the organization of the operation of purification of quinoa grain, which is an important stage of its post-harvest processing. Any processing of grain is associated with its purification from impurities. The presence of impurities negatively affects the efficiency of grain storage and its technological features, which leads to a decrease in yield and quality of processed products. Therefore, cleaning operations occupy a central place in the post-harvest processing of grain. We have determined the geometric dimensions and calculated the basic geometric parameters of quinoa grain, which are the main indicators for the organization and conduct of the cleaning process. To identify the necessary working bodies and determine the optimal size of the holes for the separation of the mixture into fractions, the analysis of the variability of the grain size of the main crop and the size of the released impurity. Based on these data, a correlation table is constructed. Analysis of the correlation table shows that for effective cleaning of quinoa grain it is necessary to use sieves with a diameter of 3... 3.5 mm to remove large impurities and sieves 1.0x20, with a diameter of 1.6 and 1.8 mm. Based on the data of the correlation table, a fractional scheme of quinoa grain purification was developed, with the appropriate shapes and sizes of sieve holes. This scheme of purification of quinoa grain is effective and allows to isolate 93% of impurities.

Keywords: quinoa, grain cleaning, geometric grain dimensions, sieve analysis, fractional cleaning scheme.

Постановка проблеми

У міру зростання чисельності населення Землі світова продоволяча експорт збільшується рік від року, одночасно слідом за змінами попиту і моделей поведінки споживачів його структура трансформується. Зі зростанням доходів покупці віддають все більшу перевагу корисним і здоровим продуктам, таким як свіжі овочі і фрукти, морепродукти, цільні злаки, органічна продукція. Популярність можуть завоювати і такі продукти, які ще пару десятиліть тому широкому споживачеві були невідомі.

Одним із прикладів є кіноа – однорічна рослина, що відноситься до зернових культур і який отримав широку популярність лише в XXI ст. Археологічні дослідження доводять, що культивування кіноа велося в Андах в Південній Америці ще 5000 років до н.е., а інки вважали кіноа священним.

Починаючи з XV століття значення кіноа зменшилася, і крупа поступово стала вважатися «їжею для бідних», хоча і як і раніше грала істотну роль в харчуванні небагатих сімей в сільських районах. За даними ФАО, до 1970 року посівні площі в Болівії, Еквадорі і Перу становили менше 30 тис. га. Кіноа місцеві жителі вирощували переважно для власного споживання, продаючи надлишки на місцевих ринках і залишаючи насіння для наступного посівного сезону.

Ситуація поступово почала змінюватися в 1980-х роках, після того як ФАО визнала кіноа стратегічною культурою для Андського регіону, Національна академія наук США видала книгу про забуту культуру інків, а NASA стало вивчати її з метою включення в раціон харчування астронавтів. Це позитивно позначилося на іміджі кіноа, на нього звернули увагу західні компанії як на екзотичну крупу для прихильників вегетаріанської дієти. Одночасно в латиноамериканських країнах стали створюватися кооперативи і об'єднання виробників з метою комерціалізації культури, впровадження сучасних технологій землеробства і пошуку ринків збуту [1, 2].

У 1990-х роках в Болівії запущена програма з виробництва органічного кіноа (Royal Quinoa), а також створена Асоціація екологічних виробників Болівії, що займається впровадженням органічного

виробництва відповідно до вимог європейських країн. Розвиток внутрішнього виробництва, а також створення національного органу з сертифікації органічної продукції (Bolicert) призвело до зростання експорту в європейські країни і, як наслідок, впізнаваності кіноа. У 1993 році при фінансуванні ЄС запущений дослідницький проект з вивчення можливості вирощування культури, яка була представлена в якості крупи з більш високим вмістом білка і більш збалансованим амінокислотним складом в порівнянні зі злаками [1, 2].

Вивчення кіноа і його властивостей в західних країнах, а також розвиток сучасних методів органічного виробництва в Південній Америці привели до того, що з 2000-х років кіноа стрімко завойовує популярність в якості здорового і корисного продукту, багатого вітамінами і мінералами і не містить глютен. Це викликало бум виробництва і експорту в латиноамериканських країнах, який триває до теперішнього часу. За даними Інституту зовнішньої торгівлі Болівії, з 2003 по 2012 рік експорт кіноа виріс в 9,3 рази в фізичному обсязі і в 26 разів у вартісному. Всього, за даними ІТС Trade Map, до 2012 року в світі експортовано 44 тис. т кіноа вартістю 135 млн дол. у 2019 року цей обсяг зріс ще в 2,5 рази [1–3].

Аналіз останніх джерел

З огляду на здатність різних сортів кіноа адаптуватися до різних кліматичних зон в різних країнах Африки, Азії, Європи і Північної Америки, які можуть стати її виробниками, були проведені експерименти по вирощуванню цієї культури. До теперішнього часу, кіноа вже успішно апробована в таких країнах, як Сполучені Штати, Марокко, Кенія і Індія, і є плани по розгортанню її широкомасштабного комерційного виробництва. Підвищення попиту і зростання світових цін на кіноа стимулювали виробників адаптувати культуру до низьких висот і вирощувати її в посушливих умовах [1–3].

В результаті, за даними ФАО, за останні 20 років посівні площі в країнах – основних виробниках – збільшилися в 2,5 рази і в 2019 році склали 184,5 тис. га, а урожай виріс в більш ніж в 3 рази до 161,4 тис. т. Всього ж культура вирощується в 70 країнах. Динаміку посівних площ та виробництва кіноа наведено на рис. 1 [4].

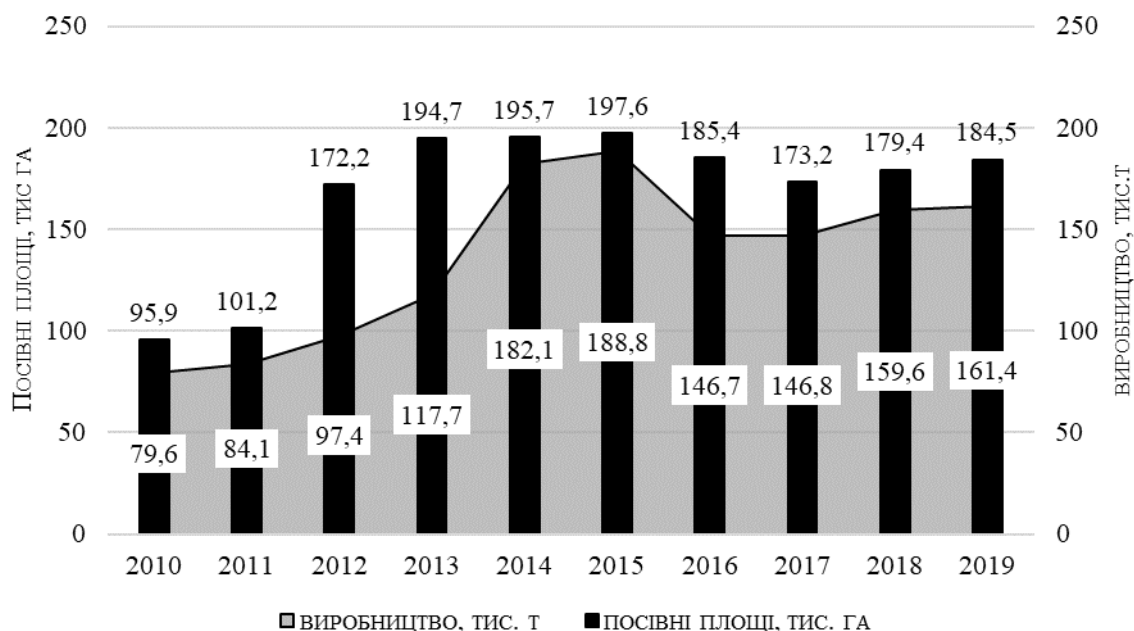


Рис. 1. Динаміка посівних площ та виробництва кіноа у світі

Світовий експорт кіноа в 2019 році склав 112 тис. т вартістю 320 млн дол. Найбільшими експортерами були Перу (134 млн дол.) і Болівія (91 млн дол.), Основними імпортерами – США (93 млн дол.), Канада (27 млн дол.) і Франція (27 млн дол.) [5].

В даний час кіноа вже не є екзотичним продуктом, його можна знайти на полицях всіх великих супермаркетів, а також спробувати в провідних ресторанах. Кіноа широко представлено в складах вегетаріанських, безглютенових дієт, дієт по контролю ваги як білковий продукт з низькою калорійністю, амінокислотний склад якого близький до молока [6].

В Україні кіноа придбала популярність в останні роки, багато українських виробників круп зараз включають кіноа в свій асортимент. Але до теперішнього часу закупували сировину за кордоном, в першу чергу в країнах Латинської Америки. Уже з 2019 року ведеться робота що до посівів кіноа в Україні [6].

Від збирання врожаю до переробки зерна треба зберегти від утрат та погіршення якості. А для цього зерно повинно пройти комплекс операцій первинної обробки, до якої входять очищення, активне вентилявання, сушіння, зберігання. Комплекс післязбиральної обробки зерна має забезпечити поліпшення якості та надійне зберігання зерна без втрат до його наступної переробки.

Свіжозібране насіння містить багато домішок (насіння бур'янів і сторонніх культурних рослин, рештки стеблин, листів, а також биті, щуплі і дефектні насінини). Домішки негативно впливають на процес зберігання зерна, тому що більшість домішок мають значно вищу гігроскопічність, життєздатність і інтенсивність дихання, ніж основна культура. Тому найважливішим завданням є якнайшвидше видалення зі свіжозібраного зерна насіння бур'янів, а також інших домішок органічного походження, що досить важливо для забезпечення схоронності зерна.

Метою роботи є вибір раціональної технологічної схеми очищення зерна.

Виклад основного матеріалу

Зернову суміш очищають від домішок з урахуванням різниці між зернами основної культури і домішками:

- за шириною і товщиною – на решетах з круглими і продовгуватими отворами в зерноочисних, сортувальних і калібрувальних машинах;
- за довжиною – у циліндричних і дискових трієрах;
- з використанням аеродинамічних властивостей – за допомогою повітряного потоку в аспіраційних колонках, пневмосепараторах і пневмоколонках;
- за формою і станом поверхні зерна і домішок – на решетах з отворами трикутної форми в спіральних і стрічкових сепараторах, гірках, змійках;
- за щільністю (питома вага) – на пневматичних сортувальних столах, каменевідбірних машинах;
- за металоманітними й електричними властивостями, кольором – на електромагнітних і електростатичних, електронних машинах і за допомогою фотоелементів.

У сільськогосподарському виробництві найпоширенішими є способи очищення зерна, які базуються на його геометричних і аеродинамічних відмінностях. Отже, одним з основних показників для організації і ведення процесу очищення є форма і розміри основної культури та домішок [7, 8].

Нами визначено геометричні розміри та розраховано основні геометричні показники зерна кіноа: об'єм зернини V_z , площа зовнішньої поверхні F_z , еквівалентний діаметр d_e та питома поверхня a_0 та сферичність ψ зерна кіноа [9]. Результати наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Геометричні характеристики зерна кіноа

Показник	Значення
Довжина l , мм	2,0...1,7
Ширина a , мм	1,8...1,6
Товщина b , мм	1,2...1,0
Об'єм зернини V_z , мм ³	2,23
Площа зовнішньої поверхні F_z , мм ²	7,33
Еквівалентний діаметр d_e , мм	1,62
Питома поверхня a_0 , (мм ² /мм ³)	3,28
Сферичність ψ	0,89

Для виявлення необхідних робочих органів і визначення оптимальних розмірів отворів для поділу суміші на фракції проведено аналіз мінливості розмірів зерна основної культури і розмірів виділюваної домішки. На підставі цих даних побудовано кореляційну таблицю, у якій насіння основної культури і домішок (бур'янистих рослин) розділені на класи по розмірах (товщині та ширині) [10].

Методика побудови кореляційної таблиці полягає в просіванні наважок зерна на наборі лабораторних сит із круглими і прямокутними отворами, границею між класами будуть розміри отворів обраних сит.

Аналіз кореляційної таблиці дозволяє виявити характерну закономірність у розходженнях в деяких параметрах між основним зерном і виділюваними домішками.

Так, у нашому випадку, через яке проходом іде максимально можлива кількість зерна основної культури і тільки невелика частина домішок, а в сході цього сита залишається найбільша кількість домішок з невеликим вмістом зерна основної культури, буде решето із шириною прямокутних отворів 1,0 мм, тому що проходом (перша проміжна фракція) через нього підуть 73 % основного зерна і тільки 7 % домішок. У сході із цього сита (друга проміжна фракція) залишиться 24 % насіння основної культури і 93 % насіння бур'янистих рослин. Будь-який інший варіант сепарування не дасть більш точного результату. Це завдання успішно вирішується, якщо для першої проміжної фракції застосуємо решето з отворами діаметром 1,6 мм. У цьому випадку все насіння домішок (7 %) і одночасно з ними 3 % насіння основної культури підуть у прохід, а в сході з решета буде перебувати 73 % насіння основної культури без насіння бур'янистих рослин. Для поділу насіння основної культури від домішок у другій проміжній фракції варто використовувати сито з отворами діаметром 1,8 мм, і тоді 15 % насіння без домішок буде виділено сходом, а 93 % домішок і 1 % насіння основної культури підуть у прохід.

На основі аналізу кореляційної таблиці розроблено фракційну схему очищення кіноа (рис. 2)

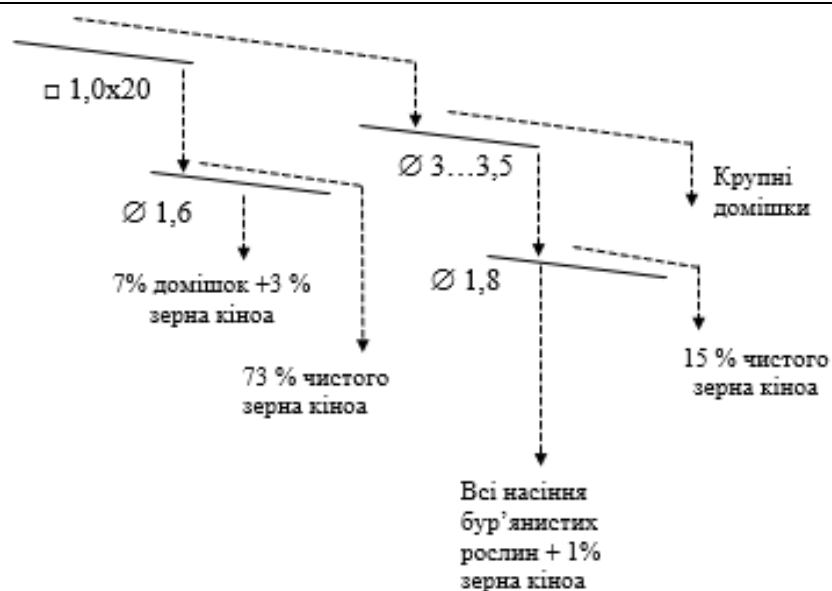


Рис. 2. Фракційна схема очищення кіноа

Висновки

Ринок кіноа активно розвивається завдяки унікальному хімічному складу цієї культури. Зерно кіноа містить багато білка: від 16,2 % до 20 %, амінокислотний склад білка дуже збалансований і близький до складу білків молока, і містить до 20 типів амінокислот. Крім білків, кіноа містить також вуглеводи, жири (з високим вмістом лецитинової кислоти), клітковину, мінерали і вітаміни групи В. Кіноа багата фосфором (утричі більше, ніж рис найвищої якості і не поступається багатьом видам риби), залізом (вдвічі перевищує пшеницю), кальцієм, цинком.

Кіноа придатна для вирощування в наших природно-кліматичних та ґрунтових умовах, і вже ведуться селекційні роботи, щодо вирощування кіноа в Україні.

Операції очищення зерна займають центральне місце у післязбиральному обробленні зерна, так як наявність домішок негативно впливає на ефективність зберігання зерна та його технологічні особливості, що призводить до зниження виходу і якості продуктів переробки.

Проведений ситовий аналіз та визначення гранулометричних показників дозволили рекомендувати послідовність зерноочисних машин, форму та розміри отворів сит, необхідних для ефективного очищення зерна кіноа. На основі даних кореляційної таблиці розроблено фракційну схему очищення зерна кіноа, з відповідними формами і розмірами отворів сит.

Література

1. Троценко В.І. Стан та перспективи культури кіноа в північно-східному лісостепу України / В.І. Троценко, І.М. Коваленко, В.О. Ільченко // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Агрономія і біологія». – 2017. – Випуск 9 (34). – С. 77–81.
2. Koziol M. Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Journal of Food Composition and Analysis*. 1992. № 5. 35–68.
3. State of the Art Report on Quinoa Around the World 2013. eds D. Bazile, D. Bertero, and C. Nieto Rome: FAO; CIRAD, 2014 589 p.
4. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Faostat. URL: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
5. Ганьч Л.Я. Изучение мирового рынка квиноа / Л.Я. Ганьч, В.В. Олефиренко, Н.В. Мацакова // Сборник трудов Кубанского государственного технологического университета. – Кубгту, 2019. – С. 488–495.
6. Валевська Л.О. Біологічна цінність зернових суперфудів / Л.О. Валевська, О.Г. Соколовська, А.О. Шуляньська // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. – 2020. – Том 31 (70). № 1. Ч. 2. – С. 116–120.
7. Бутковский В.А. Технология мукомольного, крупяного и комбикормового производства / Бутковский В.А., Мельников Е.М. – Москва : Агропромиздат, 1989. – 464 с.
8. Воронцов О.С. Элеваторная промышленность зерносушения и зерноочистка / Воронцов О.С. – Москва : Колос, 1974. – 432 с.
9. Станкевич Г.М. Обробка та зберігання дрібнонасіньових олійних культур : монографія / Станкевич, Г.М., Овсянникова Л.К., Соколовська О.Г. – Одеса : КП ОМД, 2016. – 128 с.
10. Карпов Б.А. Технология послеуборочной обработки и хранения зерна / Карпов Б.А. – Москва : Агропромиздат, 1987. – 288 с.

References

1. Trotsenko V.I. Stan ta perspektyvy kultury kinoa v pivnichno-skhidnomu lisostepu Ukrainy / V.I. Trotsenko, I.M. Kovalenko, V.O. Ilchenko // Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahromoho universytetu. Seriya «Ahronomiia i biolohiia». – 2017. – Vypusk 9 (34). – S. 77–81.
2. Koziol M. Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Journal of Food Composition and Analysis*. 1992. № 5. 35–68.
3. State of the Art Report on Quinoa Around the World 2013. eds D. Bazile, D. Bertero, and C. Nieto Rome: FAO; CIRAD, 2014 589 p.
4. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Faostat. URL: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
5. Ganych L.Ya. Izuchenie mirovogo rynka kvinoa / L.Ya. Ganych, V.V. Olefirenko, N.V. Macakova // *Cbomik trudov Kubanskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta*. – Kubgtu, 2019. – S. 488–495.
6. Valevska L.O. Biolohichna tsinnist zemovykh superfudiv / L.O. Valevska, O.H. Sokolovska, A.O. Shulianska // *Vcheni zapysky TNU imeni V.I. Vernadskoho*. Seriya: tekhnichni nauky. – 2020. – Tom 31 (70). № 1. Ch. 2. – C. 116–120.
7. Butkovskij V.A. Tehnologiya mukomolnogo, krupyanoogo i kombikormovogo proizvodstva / Butkovskij V.A., Melnikov E.M. – Moskva : Agropromizdat, 1989. – 464 s.
8. Voroncov O.S. Elevatormaya promyshlennost zemosushenie i zemoochistka / Voroncov O.S. – Moskva : Kolos, 1974. – 432 s.
9. Stankevych H.M. Obrobka ta zberhannya drubnonasinnyvykh oliynykh kultur : monohrafiia / Stankevych, H.M., Ovsianykova L.K., Sokolovska O.H. – Odesa : KP OMD, 2016. – 128 s.
10. Karpov B.A. Tehnologiya posleuborochnoj obrabotkii hraneniya zerna / Karpov B.A. – Moskva : Agropromizdat, 1987. – 288 s.

Рецензія/Peer review : 24.09.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.10.2021 р.

ХЛІБНИКОВА Н. Б.
Черкаський державний бізнес-коледж
ORCID: 0000-0003-1487-1950
e-mail: khliebnikovanb@gmail.com

ДАНИЛКОВИЧ А. Г.
Київський національний університет технологій та дизайну
ORCID: 0000-0002-5707-0419
e-mail: ag101@ukr.net

ОЦІНКА ЯКОСТІ ХУТРОВОГО ВЕЛЮРУ

У роботі встановлена кількісна оцінка якості хутрового велюру з сировини овчини і шкурок нутрії, отриманих за розробленими технологіями з використанням алкенмалеїнової композиції. Розрахований комплексний показник якості гідрофобізованого хутрового велюру і шкурок нутрії, який включає 10 значущих експериментально визначених показників. За комплексним показником якості гідрофобізований велюровий матеріал суттєво переважає хутровий велюр, отриманий за типовими технологіями, особливо після його дощування. Отримані матеріали можуть ефективно використовуватись для виготовлення одягових виробів, придатних для експлуатації в екстремальних умовах при дії дощу і снігу.

Ключові слова: хутровий велюр, овчини, шкурки нутрії, гідрофобізація, властивості, комплексний показник якості, функція Харрінгтона.

KHLIEBNIKOVA N.
Cherkasy State Business College
DANYLKOVIYCH A.
Kyiv National University of Technologies and Design

QUALITY ASSESSMENT OF FUR VELOUR

The paper offers a quantitative assessment of the quality of fur velour made of raw sheepskin and nutria skins obtained by the developed technologies. For this purpose, hydrophobized fur velour made of semi-fine-wool sheep skins and nutria skins with low-quality bristle hair has been used. The tanned semi-finished product of sheepskin and male nutria after moisture removal has been processed with a grinding skin of 4-5 grit. Fur velour is obtained from raw materials of inhomogeneous structure in different topographic areas, low density, but with satisfactory physical and mechanical properties of leather fabric, which in its quality meets standards requirements. The hydrophobization process is carried out with a composition based on α -alkenes C_{20-24} and maleic anhydride with an average molecular weight of $38 \cdot 10^3$. According to the purpose of the research, a comprehensive assessment of the quality level of hydrophobized fur velour has been performed. A number of tasks have been implemented. Individual indicators of fur velour have been selected and ranked by experts. Their significance has been determined. The range of dimensional indicators of fur velour quality has been pointed out according to the scale of desirability. Desirability functions of velour quality significant indicators and complex quality index (CQI) of hydrophobized fur velour have been developed. The results of CQI development of sheepskin and nutria skins hydrophobized fur velour have been analyzed.

CQI of hydrophobized fur velour and nutria skins, which includes 10 significant experimentally determined indicators has been calculated. According to the CQI, the hydrophobized velour material significantly outperforms fur velour obtained by standard technologies, especially after its sprinkling. Hydrophobized velour of sheepskin and nutria is characterized by a higher thermal resistance of 1.17 and 1.15 times, respectively, in comparison with control samples. The obtained materials can be effectively used to manufacture clothing items suitable for use in extreme conditions under rain and snow.

Key words: fur velour, sheepskin, nutria skins, hydrophobization, properties, complex quality index, Harrington function.

Постановка проблеми

Інноваційні технології виготовлення матеріалів для швейних виробів осінньо-зимового сезону з комплексом експлуатаційних властивостей мають велике значення при їх експлуатації в екстремальних умовах. При цьому особлива увага приділяється визначенню якості продукції на всіх виробничих стадіях технологічного процесу. Оскільки при експлуатації виробів має враховуватись такий набір властивостей, які б задовольняли комплекс вимог споживачів до товару в повному обсязі. Водночас врахування впливу всіх властивостей товару можливе тільки при визначенні його одиничних показників та їх об'єднання у комплексний показник якості. Оцінювання якості проводиться з метою визначення споживної цінності товару за диференційними значеннями окремих показників.

Ефективним засобом оцінювання підвищеного технічного рівня виробництва та якості товарів, вдосконалення технології та організації виробництва вважається комплексне оцінювання якості готової продукції. Ефективність реалізації технології встановлюється обґрунтованим вибором значимих показників, на основі яких розраховується комплексний показник якості готової продукції. При його визначенні слід враховувати значні ускладнення у зв'язку з необхідністю встановлення ефективного методу оцінки якості товару. При розробленні нових методів контролю якості продукції необхідно також враховувати значення нестандартних показників, які б всебічно її характеризували. Це особливо важливо при створенні багатостадійних, матеріалоємних технологій, що передбачають використання широкого асортименту реагентів, таких як виробництво шкіряних і хутрових матеріалів.

Аналіз останніх джерел

У технологіях розробки інноваційних конкурентоспроможних продуктів і матеріалів, визначення ефективних методів оцінки якості має важливе значення. Огляд методів оцінки якості промислової продукції розглянуто в роботі [1]. При цьому увага приділена особливостям встановлення рівня якості за окремими якісними і кількісними показниками продукції згідно міжнародного стандарту International Organization for Standardization (ISO) на основі врахування пропозицій як експертів, так і споживачів. Класифікація властивостей товарної продукції за групами, на основі яких визначається її якість наведено в публікації [2]. Водночас рівень якості продукції контролюється на всіх стадіях інноваційного процесу з врахуванням вимог ISO серії 9000.

У роботі [3] наведені основні аспекти ефективності експертного визначення показників якості сировини. При цьому проаналізовано методи оцінювання одиничних показників, розглянуто основні підходи при встановленні їх значимості та запропонована геометрична модель комплексного показника якості висококремнеземної сировини. У статті [4] пропонується метод комплексної оцінки якості продукції для задоволення потреб споживачів. Авторами використано метод Дельфі для побудови адекватної моделі об'єкту прогнозування. У роботі [5] проведена комплексна оцінка якості багат шарових утеплювачів зі штучного хутра і вовни на основі дослідження їх фізико-механічних властивостей. Запропонований алгоритм комплексної оцінки якості водостійких шкір [6] з використанням узагальненої функції бажаності.

Порівняльний аналіз якості нетканих утеплювальних матеріалів для взуття наведено у роботі [7]. Авторами розглянуто графічний метод комплексної оцінки якості, що передбачає можливість за отриманою діаграмою встановлення впливу кожного показника на якість готової продукції. Визначені значущості показників різних видів натуральної шкіри на основі дослідження комплексу їх фізико-хімічних властивостей наведено у роботі [8]. Отримані результати можуть бути використаними для ідентифікації виду шкіряного матеріалу. Отже, розглянуто методи визначення якості продукції різних видів, комплексний показник якості матеріалів, що передбачає встановлення значущості й вагомості окремих показників, які визначають конкурентну здатність та споживну цінність продукції. Слід відзначити відсутність робіт, в яких наводиться порівняльний аналіз різних методів визначення комплексного показника якості продукції.

Метою дослідження є проведення комплексного оцінювання рівня якості гідрофобізованого хутрового велюру, виготовленого за розробленими технологіями. Для цього поставлено наступні завдання дослідження:

- вибір одиничних показників хутрового велюру, їх ранжування, визначення вагомості та значущості;
- визначення меж розмірних показників якості хутрового велюру за шкалою бажаності;
- розрахунок функції бажаності значущих показників якості велюру;
- визначення комплексного показника якості (КПЯ) гідрофобізованого хутрового велюру;
- аналіз результатів визначення КПЯ гідрофобізованого хутрового велюру овчини і шкурок нутрії.

Матеріали і методи оцінювання якості гідрофобізованого хутрового велюру. У роботі використаний гідрофобізований хутровий велюр, вироблений зі шкур овець напівтонкорунних [9] та шкурок нутрій [10] з неякісним остьовим волосом за розробленими технологіями [11, 12]. Дублений напівфабрикат овчини і самців нутрій після видалення вологи обробляється шліфувальною шкуркою зернистості 4–5 за технологією [13]. Хутровий велюр отримується з сировини неоднорідної структури в різних топографічних ділянках, зниженої щільності, але із задовільними фізико-механічними властивостями шкірної тканини, який за її якістю відповідає вимогам стандартів [14, 15]. Процес гідрофобізації здійснюється композицією на основі α -алкенів C_{20-24} і малеїнового ангідриду з середньочисловою молекулярною масою $38 \cdot 10^3$.

При визначенні КПЯ гідрофобізованого хутрового велюру проводяться його дослідження фізико-хімічних і технологічних властивостей за методиками [16]. Дослідження стійкості шкірної тканини хутрового велюру щодо дії води визначали шляхом дождювання протягом 30 хв за методикою [17]. Алгоритм визначення КПЯ гідрофобізованого хутрового велюру включає ряд послідовних етапів, що відображено на рис. 1.

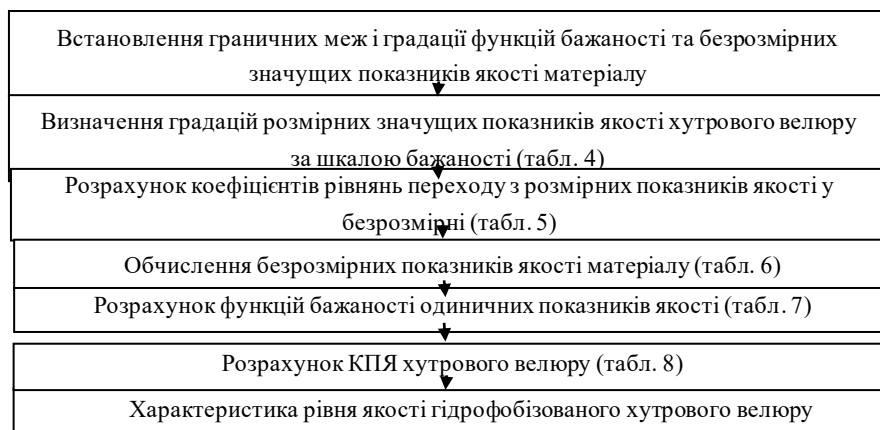


Рис. 1. Алгоритм визначення КПЯ гідрофобізованого хутрового велюру

Встановлення номенклатури показників якості для визначення КПЯ хутрового велюру ґрунтується на нормативній документації. За основу були прийняті показники якості вичинених нефарбованих хутрових шкур, які використовуються у готових виробів шкірною тканиною назовні [18, 19], що засто совують при проведенні науково-дослідних робіт. У загальну номенклатуру одиничних показників якості, що підлягають ранжуванню експертами використовуються показники, наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Номенклатура одиничних показників якості для ранжування

Назва показника якості	Одиниця виміру	Позначення показника	Властивість, що характеризує показник
1 Функціональні показники			
Навантаження при розриві шкірної тканини	Н	Р	Міцність шкірної тканини
Межа міцності при розтягуванні шкірної тканини	МПа	σ	Те саме
Відносне видовження шкірної тканини при розриві	%	Е	Деформованість шкірної тканини
Відносне повне видовження шкірної тканини при напруженні 4,9 МПа	%	E_1	Те саме
Відносне залишкове видовження шкірної тканини при напруженні 4,9 МПа	%	E_2	Пластичність шкірної тканини
Відносне пружне видовження шкірної тканини при напруженні 4,9 МПа	%	$E_{пр}$	Пружність шкірної тканини
Коефіцієнт пластичності шкірної тканини		K^*	Пластичність шкірної тканини
Сумарний тепловий опір хутрової шкурки	град·м ² /Вт	$R_{сум}$	Теплозахист хутра
2 Ергономічні показники			
Повітропроникність	м ³ /(м ² ·с)	В	Здатність пропускати повітря
Паропроникність	кг/(м ² ·с)	$A_{п}$	Здатність пропускати пари води
Пароемність	г/с	$A_{е}$	Здатність поглинати пари води
Водопроникність у динамічних умовах	с	$W_{л}$	Динамічна водостійкість
Водопроникність у динамічних умовах	кг	$V_{л}$	Динамічна водостійкість
Вологоємність у динамічних умовах, 2-годинна	%	W_2	Здатність поглинати воду
Вологовіддача	%	W_0	Здатність віддавати воду
3 Естетичні показники			
Колористичне оформлення шкірної тканини і волосяного покриву хутрового велюру	бал	КО*	Колористичне оформлення шкірної тканини і волосяного покриву
Якість оздоблення шкірної тканини	бал	$Y_{шт}^*$	–
Якість оздоблення волосяного покриву	бал	$Y_{вп}^*$	–

Примітка. * Позначення введені авторами.

Для встановлення значущих показників якості хутрового велюру використовується **експертний метод** [20], який полягає у **ранжуванні** одиничних показників таблиці 1 за значимістю.

При визначенні вагомості одиничних показників якості хутрового велюру, з'ясуванні узгодженості думок експертів та статистичної значущості отриманих результатів у дослідженні застосовуються математико-статистичні методи [21].

Узгодженість думок експертів підтверджується розрахунком коефіцієнту конкордації [22] за формулою:

$$W = \frac{S}{\frac{1}{12} \left[m^2 (k^3 - k) - m \sum_{j=1}^m T_j^{(i)} \right]}, \quad (1)$$

де $S = \sum_{i=1}^k \left(\sum_{j=1}^m r_{ij} - \bar{r} \right)^2$ – сума квадратів відхилень суми рангів кожного показника від середньої суми рангів;

m – кількість експертів;

k – кількість суттєво впливових (значущих) показників якості хутрового велюру;

i, j – лічильники відповідно кількості показників і експертів;

$T_j^{(i)} = \sum_{i=1}^p (t_j^3 - t_j)$ – показник дробових рангів;

p – кількість груп однакових (зв'язаних) рангів у i -рядку;

t_j – кількість зв'язаних рангів у p -групі j -го експерта;

$\bar{r} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m r_{ij}$ – середня сума рангів;

r_{ij} – ранг кожного i -го показника, приписаний j -м експертом.

Статистична значущість коефіцієнта конкордації перевіряється критерієм Пірсона χ^2 за формулою:

$$\chi_p^2 = m(k-1)W > \chi_o^2(f, q), \quad (2)$$

де χ_p^2 і χ_o^2 – відповідно розрахункове і табличне значення критерію Пірсона; $\chi_o^2(f, q)$ – табличне значення критерію Пірсона при $f=k-1$ степенях свободи і рівні значущості $q = 0,05$.

У дослідженні застосовано метод комплексної оцінки якості з використанням розрахованого показника, що передбачає компенсацію низького рівня одних властивостей за рахунок високого рівня інших і визначає загальний рівень якості досліджуваного матеріалу за формулою:

$$K_i^{(j)} = \sum_{i=1}^k \mu_i / \sum_{i=1}^k \frac{\mu_i}{d_i}, \quad (3)$$

де μ_i – вагомість i -го показника якості, що розраховували за відношенням рангів $\sum_{j=1}^m r_{ij} / \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m r_{ij}$;

d_i – функція бажаності i -го показника якості, яка розраховується за формулою:

$$d_i = \exp[-\exp(-y'_i)] \quad (4)$$

де y'_i – безрозмірний показник якості, що відповідає розмірному значенню i -го показника якості, розраховується за формулою (5):

$$y'_i = b_0^{(i)} + b_1^{(i)} y_i, \quad (5)$$

де b_0 , b_1 – коефіцієнти лінійної залежності безрозмірного показника y'_i ; y_i – розмірне значення показника якості.

Коефіцієнти b_0 , b_1 визначаються із системи рівнянь (6):

$$\begin{cases} 0 = b_0^{(i)} + b_1^{(i)} y_i^{\text{гірше}} \\ 1,53 = b_0^{(i)} + b_1^{(i)} y_i^{\text{краще}} \end{cases}, \quad (6)$$

де 0; 1,53 – граничні значення безрозмірного показника y'_i , які розраховуються за рівняннями:

$$y_i^{\text{гірше}} = -\ln(-\ln d_{\text{гірше}}), \quad y_i^{\text{краще}} = -\ln(-\ln d_{\text{краще}}) \quad (7)$$

$y_i^{\text{гірше}}$, $y_i^{\text{краще}}$ – відповідно найгірше і найкраще значення показника якості y_i .

Граничні значення показників d_i та y'_i визначаються при лінійних залежностях між одиничними показниками та їх безрозмірними значеннями. Вибір і обґрунтування меж значень одиничних показників y_i здійснюється залежно від об'єкта дослідження на основі аналізу існуючої нормативно-технічної документації, літературних даних та за результатами проведених досліджень.

Результати оцінювання якості гідрофобізованого хутрового велюру. При дослідженні сформовано вихідну матрицю ранжування експертами одиничних показників якості (табл. 2) хутрового велюру, у якій показникам було надано ранги.

Таблиця 2

Вихідна матриця ранжування одиничних показників якості хутрового велюру

Показник	Ранг показника, що привласнений експертом								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
функціональні	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P	5	11	13	12	13	8	10	11	13
σ	3	6	3	4	7	4	5	5	6
E	5	6	9	7	6	9	7	9	10
E ₁	3	9	6	4	4	7	4	8	5
E ₂	1	2	1	2	1	1	1	2	3
E _{пр}	2	3	5	3	2	3	3	2	4
K	5	7	8	8	8	7	6	8	7
R _{сум}	2	1	2	1	1	1	2	1	1
ергономічні	2	2	1	2	1	1	2	1	1

Продовження табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
В	2	4	7	5	4	7	4	4	5
Ап	3	2	6	2	3	4	3	3	4
Ас	5	7	7	8	9	6	8	7	8
Wд	2	2	4	2	3	3	3	3	3
Vд	4	8	8	9	10	9	9	10	11
W2	4	3	10	10	11	10	9	11	10
W0	4	10	14	11	12	11	10	12	12
естетичні	3	2	3	3	2	3	3	3	3
КО	2	1	2	1	2	2	1	2	2
Яшт	1	5	8	6	5	6	5	6	8
Явп	6	12	15	13	14	12	11	13	14

Отримані результати ранжування одиничних показників якості хутрового велюру свідчать про перевагу функціональних показників перед іншими. За значущістю ергономічні показники займають перше і друге місця при співвідношенні думок експертів відповідно 56 % і 44 %. Третє місце належить естетичним показникам за визначенням 78,0 % експертів. Про високу узгодженість думок експертів свідчить коефіцієнт конкордації (1), який складає 0,894. Статистична значущість даного результату також підтверджена критерієм Пірсона (2):

$$\chi_p^2 = 136,7726 > \chi_o^2 (18 - 1 = 17; 5\%) = 27,587.$$

Вагомість значущих одиничних показників якості матеріалу μ_i наведена в таблиці 3 і на рис. 1.

Таблиця 3

Вагомість значущих показників якості хутрового велюру

Показник	R _{сум}	E ₂	КО	W _д	E _{пр}	Ап	В	σ	Яшт	E ₁	Разом
Сума рангів показника, $\sum \tilde{r}_{ij}$	162	159	157	138,5	135,5	128	108,5	105,5	100,5	96,5	1291
Вагомість показника, μ_i	0,125	0,123	0,122	0,107	0,105	0,099	0,084	0,082	0,078	0,075	1,0

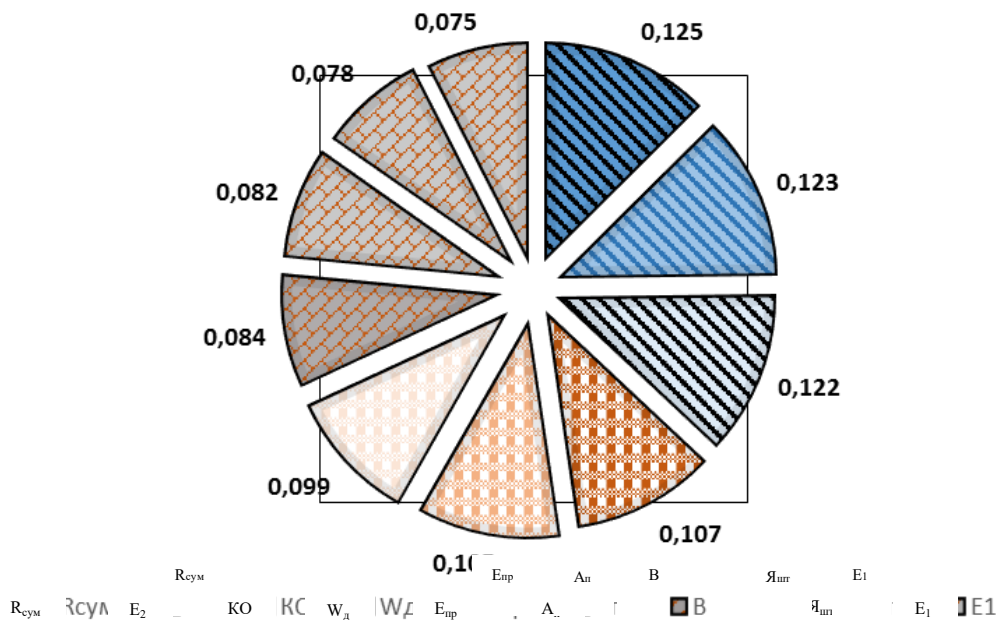


Рис. 1. Секторна діаграма вагомостей значущих одиничних показників якості матеріалу

Згідно аналізу одиничних показників якості хутрового велюру за сумами рангів можна виділити п'ять груп. До першої увійшли показники якості, що позначені як R_{сум}, E₂, КО; до другої – W_д, E_{пр}, Ап; до третьої – В, σ, Яшт, E₁; до четвертої – Ас, К, Е, W₂, V_д і до п'ятої – W₀, Р, Явп.. Суттєвими показниками якості хутрового велюру можна вважати показники якості перших трьох груп (рис. 1), оскільки між ними та рештою показників маємо збільшений ранговий розрив.

Результати розрахунків середніх рангів показників за їх групами вказують на те, що функціональні показники хутрового велюру є найбільш значущими показниками якості з середнім рангом 44,8, яким віддають перше місце 100 % експертів. За результатами проведеного дослідження встановлено, що водопомокання в динамічних умовах є одним з основних показників якості досліджуваних матеріалів, хоча

він і не входить у першу групу функціональних показників. Цей показник якості безпосередньо пов'язаний з естетичними властивостями і суттєво впливає на його функціональні властивості.

Для встановлення фактичного рівня значущих показників хутрового велюру овчини і шкурок нутрії проведено експериментальне дослідження їх властивостей (таблиця 4).

Таблиця 4

Експериментальні величини значущих показників хутрового велюру

Показник	Експериментальні значення показників велюру							
	гідрофобізованого				контрольного			
	вихідного		після дощування		вихідного		після дощування	
	О	Н	О	Н	О	Н	О	Н
$R_{\text{сум}}$, град·м ² /Вт	0,49	0,31	0,48	0,28	0,42	0,27	0,13	0,07
E_2 , %	11	9	13	11	12	8	21	20
КО, бал	1,00	1,00	0,90	0,85	0,95	0,80	0,61	0,60
W_d , с	1680	1380	1360	870	20	15	0	0
$E_{\text{пр}}$, %	15	12	15	12	10	11	8	7
$A_{\text{п}}$, кг/(м ² ·с)	7,5	8,1	5,9	5,7	5,3	6,8	1,2	1,4
B , м ³ /(м ² ·с)	0,27	0,24	0,19	0,1	0,15	0,13	0,04	0,05
σ , МПа	1,32	0,69	1,27	0,63	1,14	0,66	1,02	0,48
$Y_{\text{шт}}$, бал.	1,00	1,00	0,85	0,85	0,90	0,80	0,60	0,60
E_1 , %	26	21	28	23	22	19	29	27

Згідно отриманим даним гідрофобізований велюр овчин за стійкістю до дії води переважає велюр нутрії і особливо контрольний зразок з овчини, отриманий за типовою технологією, відповідно в 1,22 і 84 рази. Після дощування стійкість до дії води в динамічних умовах гідрофобізованих зразків велюру овчини і шкурок нутрії зменшується відповідно в 1,24 і 1,59 рази. Слід відзначити, що вихідні контрольні зразки велюру як овчини, так і нутрії відзначаються суттєво низьким значенням цього показника. Водночас гідрофобізований велюр овчини і нутрії до дощування порівняно з контрольними зразками характеризуються більшим тепловим опором відповідно в 1,17 і 1,15 рази. Не дивлячись на те, що після дощування абсолютні значення показника теплового опору знижуються, спостерігаємо аналогічну залежність – гідрофобізовані зразки є відносно кращими за контрольні в 3,7 і 4,0 рази. Отже гідрофобізовані зразки велюру овчини і шкурок нутрії суттєво переважають контрольні зразки велюру, отримані за типовою технологією.

Для розрахування КПЯ велюру використовуються безрозмірні значення значущих показників якості. З цією метою використовується функція бажаності Харрінгтона, яка передбачає зміну числових значень показників якості в інтервалі 0–1 (таблиця 5), яким відповідають зміни безрозмірних показників якості.

Таблиця 5

Межі та градації показника бажаності та безрозмірних показників якості

Показник		Градація показника якості			
Позначення	Назва	незадовільно	задовільно	добре	дуже добре
d	показник бажаності	<0,37	0,37–0,62	0,63–0,79	≥0,80
y'_i	безрозмірний показник	<0	0,00–0,76	0,77–1,52	≥1,53

Таблиця 6

Градації розмірних значущих показників якості хутрового велюру

Показник	Градація показника якості			
	незадовільно	задовільно	добре	дуже добре
$R_{\text{сум}}$	<0,07	0,07–0,27	0,28–0,48	≥0,49
E_2	>21	21–14,5	14,4–8,1	≤8
КО	<0,37	0,37–0,62	0,63–0,79	≥0,80
W_d	<10	10–839	840–1679	≥1680
$E_{\text{пр}}$	<8	8–11,4	11,5–14,9	≥15
$A_{\text{п}}$	<1,2	1,2–4,64	4,65–8,09	≥8,1
B	<0,04	0,04–0,154	0,155–0,269	≥0,27
σ	<0,48	0,48–0,79	0,8–1,319	≥1,32
$Y_{\text{шт}}$	<0,37	0,37–0,62	0,63–0,79	≥0,8
E_1	<19	19–23,9	24–28,9	≥29

Структурними елементами функції бажаності стали інтервали шкали від «незадовільно» до «дуже добре». Верхні межі одиничних показників «незадовільно» визначаються з урахуванням значень нижніх меж «задовільно», межі «добре» – як середнє граничних значень рівнів «задовільно» та «дуже добре».

Визначені відповідні градації розмірних показників якості хутрового велюру за шкалою бажаності наведені в таблиці 6.

Для встановлення безрозмірних значущих показників проводиться розрахунок коефіцієнтів b_0 , та b_1 з урахуванням меж зміни розмірних та безрозмірних показників якості з використанням систем рівнянь (6). Далі визначаються лінійні залежності переходу від розмірних до безрозмірних показників (табл. 7).

Таблиця 7

Лінійні залежності переведення розмірних значень показників якості y_i у безрозмірні y'_i

Показники	Системи рівнянь	Лінійні залежності y'_i від y_i
$R_{сум}$	$\begin{cases} 0 = b_0 + 0,07b_1 \\ 1,53 = b_0 + 0,49b_1 \end{cases}$	$y'_i = -0,255 + 3,643y_i$
E_2	$\begin{cases} 0 = b_0 + 21b_1 \\ 1,53 = b_0 + 8b_1 \end{cases}$	$y'_i = 2,472 - 0,118y_i$
КО	$\begin{cases} 0 = b_0 + 0b_1 \\ 1,53 = b_0 + 1b_1 \end{cases}$	$y'_i = -1,317 + 3,558y_i$
W_d	$\begin{cases} 0 = b_0 + 10b_1 \\ 1,53 = b_0 + 1680b_1 \end{cases}$	$y'_i = 0,001y_i$
$E_{пр}$	$\begin{cases} 0 = b_0 + 8b_1 \\ 1,53 = b_0 + 15b_1 \end{cases}$	$y'_i = -1,749 + 0,219y_i$
$A_{п}$	$\begin{cases} 0 = b_0 + 1,2b_1 \\ 1,53 = b_0 + 8,1b_1 \end{cases}$	$y'_i = -0,266 + 0,222y_i$
В	$\begin{cases} 0 = b_0 + 0,04b_1 \\ 1,53 = b_0 + 0,27b_1 \end{cases}$	$y'_i = -0,266 + 6,652y_i$
σ	$\begin{cases} 0 = b_0 + 0,48b_1 \\ 1,53 = b_0 + 1,32b_1 \end{cases}$	$y'_i = -0,874 + 1,821y_i$
$Я_{шт}$	$\begin{cases} 0 = b_0 + 0b_1 \\ 1,53 = b_0 + 1b_1 \end{cases}$	$y'_i = -1,317 + 3,558y_i$
E_1	$\begin{cases} 0 = b_0 + 19b_1 \\ 1,53 = b_0 + 29b_1 \end{cases}$	$y'_i = -2,907 + 0,153y_i$

Для отримання безрозмірних показників якості хутрового велюру овчини (О) та шкурок нутрії (Н) (табл. 8) значення експериментальних розмірних показників якості (таблиця 4) [13] використані в рівняннях (5).

Таблиця 8

Безрозмірні показники якості хутрового велюру овчини та шкурок нутрії

Показник	Безрозмірні значення показників якості y'_i варіантів хутрового велюру							
	гідрофобізованого в умовах експлуатації				контрольного			
	вихідного		після дощування		вихідного		після дощування	
	О	Н	О	Н	О	Н	О	Н
$R_{сум}$	1,530	0,874	1,494	0,765	1,275	0,729	0,219	0
E_2	1,177	1,412	0,942	1,177	1,059	1,530	0	0,118
КО	2,242	2,242	1,886	1,708	2,064	1,530	0,854	0,818
W_d	1,530	1,257	1,239	0,792	0,020	0,015	0,01	0,01
$E_{пр}$	1,530	0,874	1,530	0,874	0,437	0,656	0	-0,219
$A_{п}$	1,397	1,530	1,042	0,998	0,909	1,242	0	0,044
В	1,530	1,330	0,998	0,399	0,732	0,599	0	0,067
σ	1,530	0,383	1,439	0,273	1,202	0,328	0,984	0
$Я_{шт}$	2,242	2,242	1,708	1,708	1,886	1,530	0,818	0,818
E_1	1,071	0,306	1,377	0,612	0,459	0	1,530	1,224

Для визначення КПЯ гідрофобізованого хутрового велюру овчини та шкурок нутрії розраховується функція бажаності d_i значущих показників якості за формулою (4). Розрахунки функцій бажаності значущих показників якості для хутрового велюру різних способів обробки обох видів сировини наведено в таблиці 9.

Таблиця 9

Функції бажаності значущих показників якості хутрового велюру

Показник	Функції бажаності d_i показників якості варіантів хутрового велюру							
	гідрофобізованого				контрольного			
	вихідного		після дощування		вихідного		після дощування	
	О	Н	О	Н	О	Н	О	Н
$R_{\text{сум}}$	0,805	0,659	0,799	0,628	0,756	0,617	0,448	0,368
E_2	0,735	0,784	0,677	0,735	0,707	0,805	0,368	0,411
КО	0,899	0,899	0,859	0,834	0,881	0,805	0,653	0,643
W_d	0,805	0,752	0,748	0,636	0,375	0,373	0,372	0,372
$E_{\text{пр}}$	0,805	0,659	0,805	0,659	0,524	0,595	0,368	0,288
$A_{\text{п}}$	0,781	0,805	0,703	0,692	0,668	0,749	0,368	0,384
B	0,805	0,768	0,692	0,511	0,618	0,577	0,368	0,392
σ	0,805	0,506	0,789	0,467	0,74	0,487	0,688	0,368
$Y_{\text{шт}}$	0,899	0,899	0,834	0,834	0,859	0,805	0,643	0,643
E_1	0,710	0,479	0,777	0,581	0,532	0,368	0,805	0,745

На основі даних таблиць 3 і 8 розраховуються співвідношення μ_i/d_i . З використанням формули (3), на основі отриманих відносних значень визначаються КПЯ (табл. 10).

Таблиця 10

Результати оцінювання КПЯ хутрового велюру

Показник	Вагомість показника, μ_i	розрахункові дані μ_i/d_i для варіантів хутрового велюру							
		гідрофобізованого				контрольного			
		вихідного		після дощування		вихідного		після дощування	
		О	Н	О	Н	О	Н	О	Н
КПЯ $K_i^{(j)}$	$\sum_{i=1}^k \mu_i / \sum_{i=1}^k d_i$	0,802	0,703	0,763	0,647	0,629	0,582	0,454	0,417
$R_{\text{сум}}$	0,125	0,155	0,190	0,156	0,199	0,165	0,203	0,279	0,340
E_2	0,123	0,167	0,157	0,182	0,167	0,174	0,153	0,334	0,299
КО	0,122	0,136	0,136	0,142	0,146	0,138	0,152	0,187	0,190
W_d	0,107	0,133	0,142	0,143	0,168	0,285	0,287	0,288	0,288
$E_{\text{пр}}$	0,105	0,130	0,159	0,130	0,159	0,200	0,176	0,285	0,365
$A_{\text{п}}$	0,099	0,127	0,123	0,141	0,143	0,148	0,132	0,269	0,258
B	0,084	0,104	0,109	0,121	0,164	0,136	0,146	0,228	0,214
σ	0,082	0,102	0,162	0,104	0,176	0,111	0,168	0,119	0,223
$Y_{\text{шт}}$	0,078	0,087	0,087	0,094	0,094	0,091	0,097	0,121	0,121
E_1	0,075	0,106	0,157	0,097	0,129	0,141	0,204	0,093	0,101
Разом	$\sum_{i=1}^k \mu_i / d_i$	1,247	1,422	1,310	1,546	1,589	1,718	2,203	2,399

Отримані результати свідчать про те, що за комплексним показником якості гідрофобізовані зразки велюру овчини і шкурок нутрії переважають контрольні відповідно в 1,28 і 1,20 рази. За цим показником гідрофобізований велюр овчини переважає велюр шкурок нутрії в 1,14 рази. Після дощування зразки велюру овчини і шкурок нутрії порівняно з контрольними варіантами оброблення характеризуються вищими значеннями комплексного показника якості відповідно в 1,68 і 1,55 рази. У цьому випадку КПЯ гідрофобізованого матеріалу є вищим на 29–32 %. Гідрофобізуючий вплив алкенмалеїнової композиції виявляється більш ефективно при реалізації технології виготовлення хутрового велюру овчини.

Отже, комплексний показник якості гідрофобізованого хутрового велюру, що включає 10 значущих показників, свідчить про те, що використання в технології його виготовлення композиції на основі алкенмалеїнату забезпечує формування хутрового матеріалу з високою стійкістю до дії води. Розроблена технологія гідрофобізації хутрового велюру з овчини і нутрії може бути використана в умовах реалізації технології формування водостійких матеріалів з іншої хутрової сировини.

Висновки

Встановлена кількісна оцінка якості хутрового велюру з сировини овчини і шкурок нутрії, отриманих за розробленими технологіями з використанням алкенмалеїнової композиції. Наведено алгоритм

визначення комплексного показника якості гідрофобізованого хутрового велюру овчини і шкурок нутрії та його розрахування із застосуванням функції бажаності Харрінгтона, що включає десять значущих експериментальних визначених показників. За комплексним показником якості гідрофобізований велюр як овчини, так і шкурок нутрії суттєво переважає хутровий велюр, отриманий за типовими технологіями, особливо після його дощування. Отримані результати комплексної оцінки якості гідрофобізованих матеріалів свідчать про те, що ці матеріали можуть ефективно використовуватись для виготовлення одягових виробів, придатних для експлуатації в екстремальних умовах при дії дощу і снігу.

Література

- 1.1 Чугунова О. В. Научный обзор: Сенсорный анализ и его значение в оценке качества и безопасности пищевых продуктов / О. В. Чугунова // Научное обозрение. Технические науки. – 2016. – № 3. – С. 118–129.
- 1.2 Гончаров П. П. Система оценки качества продукции / П. П. Гончаров, З. Х. Салихова // Вестник удмуртского университета. 2006. – № 2. – С. 52–57.
- 1.3 Дресвянников А. Ф. Комплексная оценка качества высококремнеземистого сырья / А. Ф. Дресвянников, И. Д. Сорокина, И. И. Шагиев // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2017. – Том 83. – № 10. – С. 70–76. – URL : <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2017-83-10-70-76>.
- 1.4 Xu W. An Evaluation Method of Comprehensive Product Quality for Customer Satisfaction Based on Intuitionistic Fuzzy Number / W. Xu, Y. Yu, and Q. Zhang // Discrete Dynamics in Nature and Society. – 2018. – URL : <https://www.hindawi.com/journals/ddns/2018/5385627/>.
- 1.5 Лопаткіна С. В. Комплексна оцінка якості багатошарових утеплювачів різного волокнистого складу / С. В. Лопаткіна, Ю. С. Шустов, А. В. Курденкова // Дизайн и технологи. – 2020. – № 75. – С. 55–58. – URL : <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43849246>.
- 1.6 Лисенко Н. В. Оцінка якості шкір з гідрофобною обробкою / Н. В. Лисенко, Н. В. Омельченко, М. Г. Мартосенко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – № 3/11 (75). – С. 54–60.
- 1.7 Филиппов А. Д. Сравнительная оценка показателей качества нетканых утепляющих материалов / А. Д. Филиппов, Ю. С. Шустов, А. В. Курденкова, Я. И. Буланов // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности : сб. материалов Междунар. научнотехнической конференции. Ч. 2. – М., 2020. – С. 20–22.
- 1.8 Гурьянова Т. И. Исследование комплекса свойств различных видов натуральных кож / Т. И. Гурьянова, А. О. Абрамов // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности : сб. материалов Междунар. научнотехнической конференции. Ч. 2. – М., 2014. – С. 229–231.
- 1.9 Овчини невичинені. Технічні умови : ДСТУ 8359:2015. – ДП «УкрНДНЦ». – [Чинний з 2016-01-01].
- 1.10 Шкурки нутрії невичинені. Технічні умови : ДСТУ 8414:2015. – ДП «УкрНДНЦ». – х Чинний з 2017-07-01і.
- 1.11 Данилкович А. Г. Модифікація колагенвмісних матеріалів для формування водостійких виробів / А. Г. Данилкович, Н. Б. Хлебнікова // Наукові праці Національного університету харчових технологій. – 2019. – Т. 25, № 5. – С. 7–14.
- 2.12 Данилкович А. Г. Виготовлення водостійкого хутрового матеріалу / А. Г. Данилкович, Н. Б. Хлебнікова // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2020. – Вип. 3. – С. 209–214.
3. Данилкович А. Г. Сучасне виробництво хутра / А. Г. Данилкович, В. І. Ліщук, Л. В. Стрембулевич ; за ред. А. Г. Данилковича. – К. : Фенікс, 2015. – 320 с.
4. Овчина шубная выделанная. Технические условия : ГОСТ 1821-75. – [Чинний від 1978-01-01]. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1997. – 12 с.
5. Шкурки нутрии выделанные. Технические условия : ГОСТ 12133-86. – [Чинний від 1988-01-01]. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2002. – 12 с.
6. Данилкович А. Г. Практикум з хімії і технології шкіри та хутра : навч. посіб. / А. Г. Данилкович. – 2-ге вид., перероб. і доп. – К. : Фенікс, 2006. – 340 с.
7. Полотна текстильные. Метод испытания дождеванием : ГОСТ 30292-96 (ИСО 4920-81). – Минск : Межгосударственный Совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1999. – 11 с.
8. Шкурки хутрові вироблені. Номенклатура показників : ДСТУ ГОСТ 4.420-86. – Офіц. вид. – К. : Держспоживстандарт України, 1986. – 12 с.
9. Шкіра. Номенклатура показників якості : ДСТУ 3177-95. – [Чинний від 2010-07-20]. – М. : Издательство стандартов, 1981. – 47 с.
10. Прохорова І. А. Експертна оцінка споживацьких властивостей тканини при її проектуванні / І. А. Прохорова, О. Ю. Рязанова, Г. М. Шуліченко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2014. – № 2. – С. 77–82.
11. Василенко О. А. Математично-статистичні методи аналізу у прикладних дослідженнях : навч. посіб. / О. А. Василенко, І. А. Сенча. – Одеса : ОНАЗ ім. О. Попова, 2011. – 166 с.
12. Статюха Г. О. Вступ до планування оптимального експерименту / Г. О. Статюха, Д. М. Складаний, О. С. Бондаренко. – К. : ТНУУ «КП», 2011. – 124 с.

References

1. Chuhunova O. V. Nauchnyi obzor: Sensornyi analiz i yego znachenie v otsenke kachestva i bezopasnosti pishchevykh produktov / O. V. Chuhunova // Nauchnoe obozrenie. Tekhnicheskie nauki. – 2016. – № 3. – S. 118–129.
2. Honcharov P. P. Sistema otsenki kachestva produktii / P. P. Honcharov, Z. Kh. Salikhova // Vestnik udmurtskogo universiteta. 2006. – № 2. – S. 52–57.
3. Dresviannikov A. F. Kompleksnaia otsenka kachestva vysokokremnezemistogo syria / A. F. Dresviannikov, I. D. Sorokina, I. I. Shagiev // Zavodskaiia laboratoria. Diagnostika materialov. – 2017. – Tom 83. – № 10. – S. 70–76. URL : <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2017-83-10-70-76>.
4. Xu W. An Evaluation Method of Comprehensive Product Quality for Customer Satisfaction Based on Intuitionistic Fuzzy Number / W. Xu, Y. Yu, and Q. Zhang // Discrete Dynamics in Nature and Society. – 2018. URL : <https://www.hindawi.com/journals/ddns/2018/5385627/>.
5. Lopatkina S. V. Kompleksna otsinka yakosti bahatosharovykh uteplyuvachiv riznogo voloknystoho skladu / S. V. Lopatkina, Yu. S. Shustov, A. V. Kurdenkova // Dizain y tehnolohy. – 2020. – № 75. – S. 55–58. URL : <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43849246>.
6. Lysenko N. V. Otsinka yakosti shkir z hidrofobnoi obrobkoi / N. V. Lysenko, N. V. Omelchenko, M. H. Martosenko // Vostochno-Evropeiskiy zhurnal peredovykh tehnolohiy. – 2015. – № 3/11 (75). – S. 54–60.
7. Filippov A. D. Sravnitelnaia otsenka pokazateley kachestva netkanykh uteplyushchikh materialov / A. D. Filippov, Yu. S. Shustov, A. V. Kurdenkova, Ya. I. Bulanov // Dizain, tehnolohii i innovatsii v tekstilnoy i legkoy promyshlennosti : sb. materialov Mezhdunar. nauchnotekhnicheskoy konferentsii. Ch. 2. – M., 2020. – S. 20–22.
8. Gurianova T. I. Issledovanie kompleksa svoystv razlichnykh vidov naturalnykh kozh / T. I. Gurianova, A. O. Abramov // Dizain, tehnolohii i innovatsii v tekstilnoy i legkoy promyshlennosti : sb. materialov Mezhdunar. nauchnotekhnicheskoy konferentsii. Ch. 2. – M., 2014. – S. 229–231.
9. Ovchynny nevychneni. Tekhnichni umovy: DSTU 8359:2015. – DP «UkrNDNTs». – Chynnyiz 2016-01-01.
10. Shkurky nutrii nevychneni. Tekhnichni umovy: DSTU 8414:2015. – DP «UkrNDNTs». – Chynnyiz 2017-07-01.
11. Danylkovych A. H. Modyfikatsiia kolahenvmsnykh materialiv dlia formuvannia vodostiikykh vyrobiv / A. H. Danylkovych, N. B. Khliebnikova // Naukovi pratsi Natsionalnogo universytetu kharchovykh tehnolohii. – 2019. – T. 25, № 5. – S. 7–14.
12. Danylkovych A. H. Vyhovlennia vodostiikoho khutrovoho materialu / A. H. Danylkovych, N. B. Khliebnikova // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnogo universytetu. Tekhnichni nauky. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. – 2020. – Vyp. 3. – S. 209–214.
13. Danylkovych A. H. Suchasne vyrobnytstvo khutra / A. H. Dvanylkovych, V. I. Lishchuk, L. V. Strembulevych; za red. A. H. Danylkovycha. – K. : Feniks, 2015. 320 s.
14. Ovchina shubnaia vydelannaia. Tekhnicheskie usloviia : GOST 1821-75 / Chynnyi vid 1978-01-01. M. : IPK Izdatelstvo standartov, 1997. – 12 s.
15. Shkurki nutrii vydelannye. Tekhnicheskie usloviia : GOST 12133-86 / Chynnyi vid 1988-01-01. M. : IPK Izdatelstvo standartov, 2002. – 12 s.
16. Danylkovych A. H. Praktikum z khimii i tehnolohii shkiry ta khutra: 2 vyd., pererob. i dop. : navch. posib. / A. H. Danylkovych. – K. : Feniks, 2006. – 340 s.
17. Polotna tekstilnye. Metod ispytaniia dozhdevaniem: GOST 30292-96 (ISO 4920-81). – Minsk : Mezghosudarstvennyy Sovet po standartizatsii, metrolohii i sertifikatsii, 1999. – 11 s.
18. Shkurky khutrovi vyrobieni. Nomenklatura pokaznykiv: DSTU HOST 4.420-86. – Ofits. vyd. – K.: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 1986. – 12 s.
19. Shkira. Nomenklatura pokaznykiv yakosti: DSTU 3177-95. / Chynnyi vid 2010-07-20. □ M. : Yzdatelstvo standartov, 1981. – 47 s.
20. Prokhorova I. A. Ekspertna otsinka spozhyvatskykh vlastyvostei tkanyny pry yii proektuvanni / I. A. Prokhorova, O. Yu. Riazanova, H. M. Shulichenko // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnogo universytetu. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences – 2014. – № 2, – S. 77–82.
21. Vasylenko O. A. Matematychno-statystychni metody analizu u prykladnykh doslidzhenniakh: navch. posib. / O. A. Vasylenko, I. A. Sencha. – Odesa: ONAZ im. O. Popova. – 2011. – 166 s.
22. Statiukha H. O. Vstup do planuvannia optymalnogo eksperymentu / H. O. Statiukha, D. M. Skladanyi, O. S. Bondarenko. – K. : TNUU «KPI», 2011. – 124 s.

Рецензія/Peer review : 24.09.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.10.2021 р.

ЩЕРБАНЬ В. Ю.

Київський національний університет технологій та дизайну
ORCID ID: 0000-0002-4274-4425
scherbanvu@ukr.net

КОЛИСКО О. З.

Київський національний університет технологій та дизайну
ORCID ID: 0000-0003-4043-1238
kipt@i.com.ua

КОЛИСКО М. І.

Київський національний університет технологій та дизайну
ORCID ID: 0000-0002-9982-7264
kipt@i.com.ua

КАЛАШНИК В. Ю.

Київський національний університет технологій та дизайну
ORCID ID: 0000-0002-2345-4377
kipt@i.com.ua

ЩЕРБАНЬ Ю. Ю.

Київський фаховий коледж прикладних наук
ORCID ID: 0000-0001-5024-8387
scherban@i.ua

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АЛГОРИТМУ ДИХОТОМІЇ ПРИ КОМП'ЮТЕРНОМУ ВИЗНАЧЕННІ НАТЯГУ КОМПЛЕКСНИХ НИТОК

Визначення впливу умов взаємодії комплексних ниток з робочими органами ткацьких верстатів та трикотажних машин на зміну натягу має велике значення при удосконаленні технологічних процесів з позиції оптимізації технологічних зусиль в зоні формування тканини та трикотажу. Комп'ютерне визначення натягу комплексних ниток після напрямних великої кривизни базується на чисельному розв'язанні трансцендентних рівнянь з використанням алгоритму дихотомії.

Ключові слова: програмне забезпечення, алгоритм дихотомії, натяг, комплексні нитки.

SHCHERBAN VOLODYMYR YU., KOLISKO OKSANA Z., KOLISKO MARJANA I., KALASHNIK VALERIY YU.
Kyiv National University of Technologies and Design
SHCHERBAN YURYJ YU.
Kyiv Professional College of Applied Sciences

SOFTWARE OF THE ALGORITHM OF THE DICHOTOMY AT COMPUTER DETERMINATION OF TENSION OF COMPLEX THREADS

Improving the existing technological processes of processing complex threads on knitting machines and looms requires determining the change in relative tension in the areas of refueling. The change of tension occurs due to the interaction of complex threads with guides of large curvature, taking into account and without taking into account the radial coverage of the complex thread by the surface of the guide. The task of determining the tension should be based on the use of dichotomy algorithm software in computer determination of the tension of complex threads. Determining the change in relative tension in the areas of filling of complex threads on knitting machines and looms, taking into account and without taking into account the radial coverage of the complex thread by the guide surface, will improve the technology of production of knitwear and fabrics. Improvement of technological processes of the knitting and textile industry should be based on complex researches of process of interaction of complex threads with directing surfaces of big curvature. Obtaining theoretical dependences will allow to obtain equations for determining the tension of the thread in the area of fabric formation and knitwear, reduce the percentage of thread breaks, improve the quality of finished products. Many studies do not take into account the nonlinear relationship between force and coefficient of friction in obtaining the final equations. All this leads to significant differences between theoretical and experimental dependences, which does not allow the use of the former in specific calculations. Downtime of technological equipment associated with the elimination of cliffs is 75-80% of the total downtime. It is possible to significantly reduce the number of breaks by using quality raw materials and optimizing the conditions of thread processing on knitted and textile machines, where their interaction with the guides and working bodies of great curvature takes place. The tension dependences of complex threads have the form of a system of transcendental equations, for the solution of which it is necessary to use numerical methods. The dichotomy method is the most effective.

Keywords: software, dichotomy algorithm, tension, complex threads.

Постановка проблеми

Удосконалення існуючих технологічних процесів переробки комплексних ниток на трикотажних машинах та ткацьких верстатах потребує визначення зміни відносного натягу у зонах заправки. Зміна натягу відбувається за рахунок взаємодії комплексних ниток з напрямними великої кривизни з урахуванням та без урахування радіального охоплення комплексної нитки поверхнею напрямної. Виконання складної задачі визначення натягу повинно базуватися на використанні програмного забезпечення алгоритму дихотомії при комп'ютерному розв'язанні системи трансцендентних рівнянь. Визначення зміни відносного натягу по зонам заправки комплексних ниток на трикотажних машинах та ткацьких верстатах, з урахуванням та без урахування радіального охоплення комплексної нитки поверхнею напрямної, дозволить покращити технологію виготовлення трикотажу та тканин.

Аналіз джерел

Удосконалення технологічних процесів трикотажної та текстильної промисловості повинно базуватися на комплексних дослідженнях процесу взаємодії комплексних ниток з напрямними поверхнями великої кривизни [1, 3–4, 8]. Отримання теоретичних залежностей дозволить отримати рівняння для визначення натягу нитки [2] в зоні формування тканини та трикотажу, зменшити відсоток обривів ниток, поліпшити якість готової продукції [3, 8]. В багатьох дослідженнях не враховується нелінійна залежність сили та коефіцієнту тертя при отриманні остаточних рівнянь [3–9]. Все це призводить до значних розбіжностей між теоретичними та експериментальними залежностями, що не дозволяє використовувати перші при конкретних розрахунках.

Низька якість сировини, недосконала форма заправки комплексних ниток на технологічному устаткуванні, при зростанні натягу по глибині заправки, призводить до обривів. Простої технологічного устаткування, пов'язані з ліквідацією обривів, складають 75–80 % від загального часу простоїв [1–3].

Значно скоротити кількість обривів можна шляхом використання якісної сировини та оптимізацією умов переробки ниток на трикотажних машинах та ткацьких верстатах, де має місце їх взаємодія з направляючими та робочими органами великої кривизни. Залежності натягу комплексних ниток мають вигляд системи трансцендентних рівнянь, для розв'язання яких необхідно використовувати чисельні методи. Найбільш ефективним є метод дихотомії [3–4, 8].

Метою роботи є комп'ютерна реалізація алгоритму дихотомії при визначенні натягу комплексних ниток при формуванні трикотажу та тканини.

Виклад основного матеріалу

На рис. 1, а, б представлені ремісні рамки ткацьких верстатів. На рис. 1, в, г представлені трикотажна гілка та платина в'язальних машин. Стрілками показані зони де має місце радіальне охоплення комплексної нитки поверхнею напрямної великої кривизни.

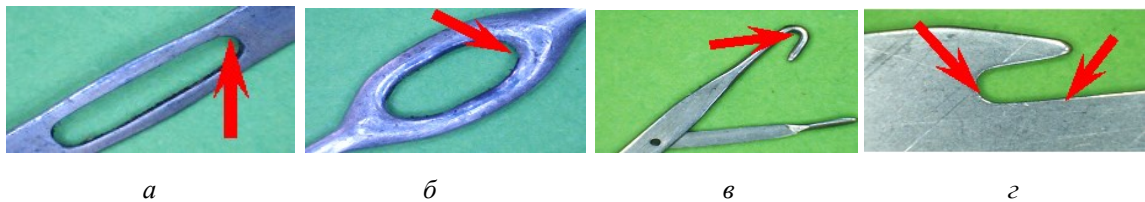


Рис. 1. Загальний вигляд робочих органів ткацьких верстатів та трикотажних машин:
а) ремісна рамка ткацького верстата СТБ; б) ремісна рамка ткацького верстата АТВ;
в) трикотажна гілка; г) платина трикотажної машини

На рис. 2, а показана розрахункова схема для випадку наявності радіального охоплення, а на рис. 2 б розрахункова схема без радіального охоплення.

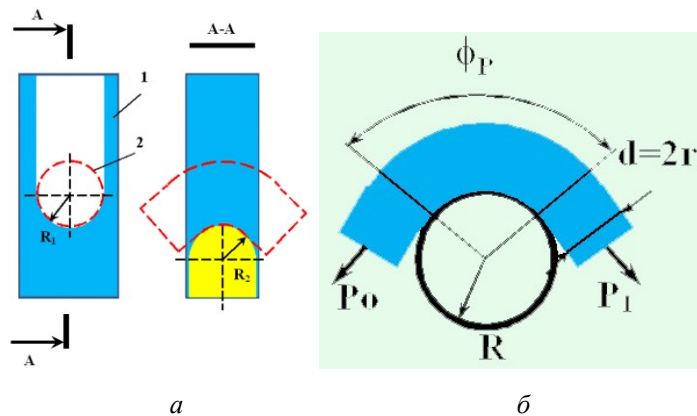


Рис. 2. Розрахункові схеми: а) розрахункова схема взаємодії нитки з урахуванням радіального охоплення;
1 – фрагмент напрямної поверхні; 2 – нитка; R_1 – радіус внутрішнього кола тора; R_2 – радіус зовнішнього кола тора;
б) без радіального охоплення

Залежність натягу нитки до та після напрямної без радіального охоплення має вигляд [3–4, 8]

$$P_1 = P_0 \left[1 + \frac{(R+r)}{R+r(I-\delta_0)} (e^{\mu\varphi} - I) \right] + \frac{B_0}{2[R+r(I-\delta_0)]^2} - \frac{B_0}{2[R+r(I-\delta_0)]^2} \left[1 + \frac{(R+r)}{R+r(I-\delta_0)} (e^{\mu\varphi} - I) \right] - \arccos \left[1 - \delta_0 \left(\frac{2r}{Rr} \right)^2 \right] + \arccos \left[1 - \delta \left(\frac{2r}{R} \right)^2 \right] - \arccos \left[1 - \frac{B_0}{2P_0(R+r)^2} \right] - \arccos \left[1 - \frac{B_0}{2P_1(R+r)^2} \right], \quad (1)$$

де P_0 – натяг нитки до напрямної; P – натяг нитки після напрямної; μ – коефіцієнт тертя; R – радіус кривизни напрямної; r – розрахунковий радіус поперечного перетину; B_0 – коефіцієнт жорсткості нитки на вигін; δ_0, δ – відносна деформація поперечного перетину в точках входу і сходу нитки.

Залежність натягу нитки до та після напрямної з урахуванням радіального охоплення має вигляд [4, 8]:

$$P = P_0 \left[1 + \frac{(R+r)}{[R+r(1-\delta_0)]} \left(e^{\frac{4\sin(\frac{\delta_1}{2})}{\delta_1+\sin(\delta_1)}\mu\phi} - 1 \right) \right] + \left[\frac{B_0}{2[R+r(1-\delta)]^2} \right] - \left[\frac{B_0}{2[R+r(1-\delta_0)]^2} \right] \left[1 + \frac{(R+r)}{[R+r(1-\delta_0)]} \left(e^{\frac{4\sin(\frac{\delta_1}{2})}{\delta_1+\sin(\delta_1)}\mu\phi} - 1 \right) \right] \quad (2)$$

де δ_1 – радіальний кут охоплення.

Залежності (1) та (2) представляють собою систему трансцендентних рівнянь, які необхідно розв’язувати з використанням алгоритму дихотомії.

На рис. 3 а, б представлені процедури procedure TForm2.N26Click(Sender: TObject), procedure TForm2.N27Click(Sender: TObject) головної форми TForm2 = class(TForm) модуля unit Unit2. Процедура procedure TForm2.N27Click(Sender: TObject) комп’ютерної програми дозволяє визначати натяг нитки після напрямної без радіального охоплення. Процедура procedure TForm2.N26Click(Sender: TObject) комп’ютерної програми дозволяє визначати натяг нитки після напрямної з урахуванням радіального охоплення нитки поверхнею напрямної.

Реалізація процедури procedure TForm2.N42Click дозволяє здійснювати обрання матеріалу циліндричної напрямної. Процедура procedure N43Click(Sender: TObject) здійснює обрання з бази фрикційних властивостей даних для сталевий циліндричної напрямної. Послідовність розрахунку натягу комплексної нитки після напрямної великої кривизни наступна. На першому етапі обирають матеріал комплексної нитки. На головній формі комп’ютерної програми розташований компонент для обрання комплексної нитки N2: TMenuItem (рис. 2, а, 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 – з урахуванням радіального охоплення чи без урахування радіального охоплення.

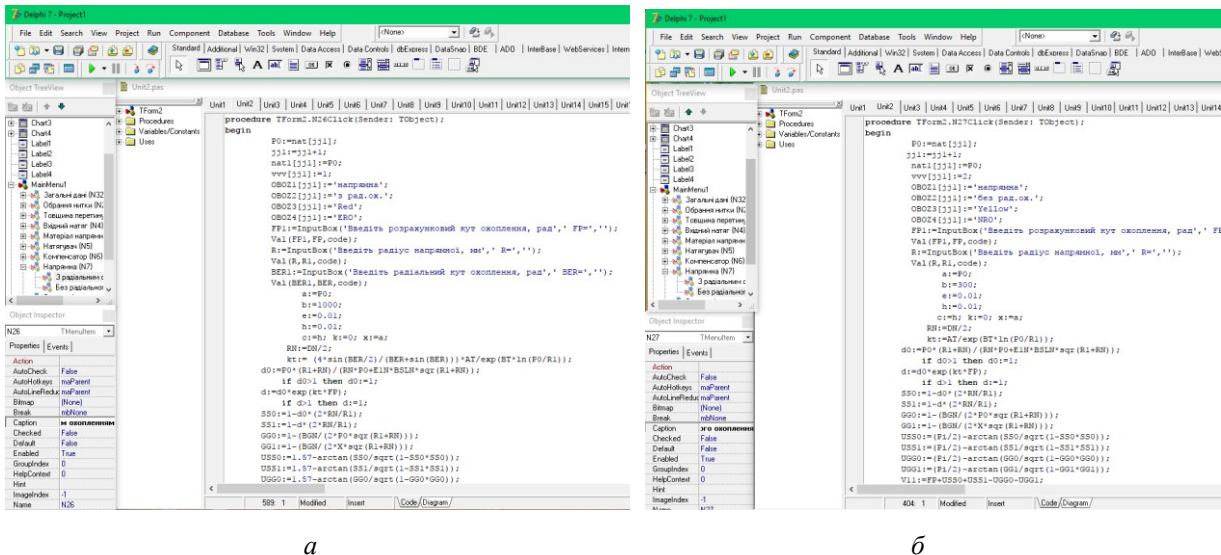


Рис. 3. Головна форма TForm2 = class(TForm) модуля unit Unit2:
 а) процедура procedure TForm2.N26Click(Sender: TObject);
 б) процедура procedure TForm2.N27Click(Sender: TObject)

Були проведені розрахунки для поліамідної комплексної нитки 45 Текс. Для вхідного натягу 10 сН, розрахункового кута охоплення 1.57 рад, радіального кута охоплення 1.57 рад та радіусу напрямної 0.7 мм був визначений вихідний натяг. На рис. 4 а, б представлені діаграми зміни натягу. Аналіз показав, що наявність радіального охоплення збільшує вихідний натяг на 4.9 %. Враховуючи, що в лінії заправки технологічного устаткування кількість вузлів може досягати 10–15, зростання натягу в робочій зоні може збільшитися на 50 %.

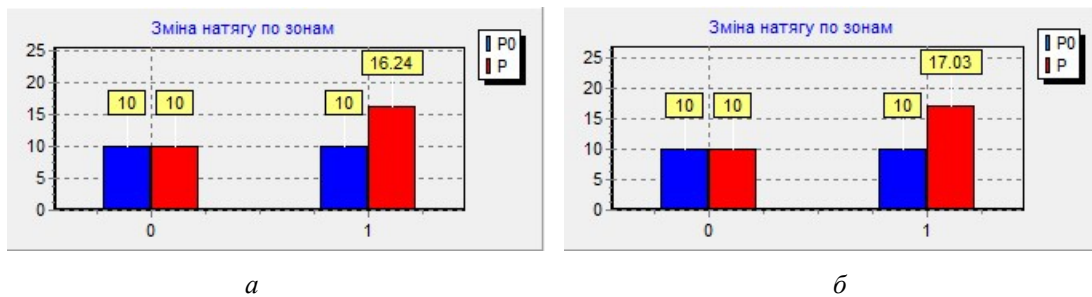


Рис. 4. Діаграми зміни натягу: а) без радіального охолодження; б) з радіальним охолодженням

Висновки

Розроблена комп'ютерна програма для чисельного розв'язання трансцендентних рівнянь з використанням алгоритму дихотомії при визначенні натягу комплексних ниток після напрямної великої кривизни. Визначення зміни відносного натягу по зонах заправки комплексних ниток на трикотажних машинах та ткацьких верстатах, з урахуванням та без урахування радіального охолодження комплексної нитки поверхнею напрямної, дозволить покращити технологію виготовлення трикотажу та тканин.

Література

1. Слізков А.М. Механічна технологія текстильних матеріалів. Частина II. (Ткацьке, трико та жне 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. Computer systems design: software and algorithmic components / V.Y. Shcherban, O.Z. Kolisko, G.V. Melnyk, M.I. Sholudko, V.Y. Kalashnik. – K. : Education of Ukraine, 2019. – 902 p.
4. Algorithmic, software and mathematical components of CAD in the fashion industry / V. Yu. Scherban, O.Z. Kolisko, M.I. Sholudko, V. Yu. Kalashnik. – 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. 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

- 1.1 Slizkov A.M. Mekhanichna tekhnolohiia tekstylnykh materialiv. Chastyna II. (Tkatske, trykotazhne ta netkane vyrobnytstvo) : pidruchnyk / A.M. Slizkov, V.Iu. Shcherban, O.P. Kyzymchuk. – K. : KNUTD, 2018. – 276 s.
- 1.2 Shcherban V.Iu. Doslidzhennia vplyvu materialu nytky i anizotropii tertia na yii natiah i formu osi / V.Iu. Shcherban, V.Iu. Kalashnyk, O.Z. Kolysko, M.I. Sholudko // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichninauky. – 2015. – 223(2). – S. 25–29.
- 1.3 Computer systems design: software and algorithmic components / V.Y. Shcherban, O.Z. Kolisko, G.V. Melnyk, M.I. Sholudko, V.Y. Kalashnik. – K. : Education of Ukraine, 2019. – 902 p.
- 1.4 Algorithmic, software and mathematical components of CAD in the fashion industry / V. Yu. Scherban, O.Z. Kolisko, M.I. Sholudko, V. Yu. Kalashnik. – K. : Education of Ukraine, 2017. – 745 p.
- 1.5 Shcherban V.Iu. Doslidzhennia vplyvu materialu nytky i anizotropii tertia na yii natiah i formu osi / V.Iu. Shcherban, V.Iu. Kalashnyk, O.Z. Kolysko, M.I. Sholudko // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichninauky. – 2015. – 223(2). – S. 25–29.
- 1.6 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.
- 1.7 Shcherban V. Warp yam tension during fabric formation / V. Shcherban, G. Melnyk, M. Sholudko, V. Kalashnyk // Fibres and Textiles. – 2018. – Volume 25. – № 2. – P. 97–104.
- 1.8 Shcherban V.Iu. Matematychni modeli v SAPR / V.Iu. Shcherban, V.H. Rezanova, S.M. Krasnytskyi. – K. : KNUTD, 2011. – 110 s.
- 1.9 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.

**За зміст повідомлень редакція відповідальності не несе
Повні вимоги до оформлення рукопису
http://journals.khnu.km.ua/vestnik/?page_id=37**



Підп. до друку 10.10.2021. Ум. друк. арк. 41,08. Обл.-вид. арк. 39,08.
Формат 30×42/4, папір офсетний. Друк різнографією.
Наклад 100, зам. № 219/21

Тиражування здійснено з оригінал-макета, виготовленого редакцією журналу
«Вісник Хмельницького національного університету»
редакційно-видавничим відділом Хмельницького національного університету.
29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 7/1, тел. (0382) 67-51-08; 77-33-63.
Свідоцтво про внесення в державний реєстр, серія ДК № 4489 від 18.02.2013 р.