

ISSN 2307-5732

DOI 10.31891/2307-5732

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

2.2020

ВІСНИК

Хмельницького

національного

університету

Технічні науки

Technical sciences

SCIENTIFIC JOURNAL

HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2020, Issue 2, Volume 283

Хмельницький

ВІСНИК
ХМЕЛЬНИЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
серія: Технічні науки

Затверджений як фахове видання (перереєстрація)
Категорія «Б», Рішення атестаційної колегії № 1643 від 28.12.2019 р.

Засновано в липні 1997 р.

Виходить 6 разів на рік

Хмельницький, 2020, № 2 (283)

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

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
РИНЦ	http://elibrary.ru/title_about.asp?id=37650
Polish Scholarly Bibliography	https://pbn.nauka.gov.pl/journals/46221

Головний редактор	Скиба М. Є. , д.т.н., професор, заслужений працівник народної освіти України, член-кореспондент Національної академії педагогічних наук України, ректор 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., **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., **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., **Прохорова І.А.**, д.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., **Сорокати Р.В.**, 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, **Бубулїс 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 № 9 від 28.05.2020 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@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 № 9722 від 29 березня 2005 року

© Хмельницький національний університет, 2020
© Редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету", 2020

ЗМІСТ

Р.В. АМБАРЦУМЯНЦ, М.І. СУББОТІНА, С.В. ТУТАЄВ ОСОБЛИВОСТІ КУЛІСНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА РУХУ ІМПУЛЬСНОГО РЕДУКТОРА	7
В.А. ДРУЖИНІН, Ю.М. БОЙКО, О.І. ЄРЬОМЕНКО, В.І. КОРСУН ДИНАМІЧНІ МОДЕЛІ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВОЇ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ ВІД ДЖЕРЕЛ РАДІОВИПРОМІНЮВАННЯ В УМОВАХ РОЗНЕСЕНОГО ПРИЙОМУ ЛОКАЦІЙНОЇ ІНФОРМАЦІЇ	12
А.О. БОНДАРЄВА, О.Р. МОКРОУСОВА, О.А. ОХМАТ РОЗРОБКА ТА ВИКОРИСТАННЯ ГІБРИДНИХ ПІГМЕНТІВ У ПОКРИВНОМУ ОЗДОБЛЕННІ ШКІР	26
І.М. КУПЧУК, В.Ю. ВОВК, Д.А. ДАЦЮК ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНІЧНОЇ МОДЕРНІЗАЦІЇ ПІДГОТОВЧОГО ЕТАПУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ЕТАНОЛУ	36
Т.О. ГОВОРУЩЕНКО, М.В. КРАСОВСЬКИЙ, А.А. ЯВНЮК МОДЕЛЬ ТА МЕТОД СТАБІЛІЗАЦІЇ ОДНОВІСНОЇ ПЛАТФОРМИ ДЛЯ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОЇ КООПЕРАТИВНОЇ РОБОТОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ	47
О.О. ГОРДСЄВ, А.Л. ЛАПШИН ФОРМАЛІЗОВАНЕ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ПРОФІЛІВ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ: СЕМАНТИЧНІ ТАКСОНОМІЧНІ СТРУКТУРИ	51
Р.І. ГРИБИК ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ПРИКОЧУВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ КОМБІНОВАНОГО ПОСІВНОГО АГРЕГАТУ	58
В.О. ДЗЮРА ВИЗНАЧЕННЯ ПЛОЩІ КАНАВОК ТРИКУТНОЇ ФОРМИ ЧАСТКОВО РЕГУЛЯРНОГО МІКРОРЕЛЬЄФУ, СФОРМОВАНОГО НА ТОРЦЕВИХ ПОВЕРХНЯХ ТІЛ ОБЕРТАННЯ	62
І.Ю. КИРИЦЯ ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПАСПОРТУ МАТЕРІАЛУ ДЛЯ БРОНЬОВАНОЇ СТАЛІ	68
В.М. КИЧАК, В.І. МАКОГОН, М.В. ВАСИЛЬКІВСЬКИЙ. ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ ДРІБНОЇ МОТОРИКИ ТА СТРЕСОСТІЙКОСТІ ОПЕРАТОРІВ ДИСТАНЦІЙНО КЕРОВАНИХ ПРИСТРОЇВ	72
Н.О. КНЯЗЄВА, Л.М. ЗІМЕНКО, Б.Л. ПУСТОВИЙ АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ТА ПІДВИЩЕННЯ СТРУКТУРНОЇ ЖИВУЧОСТІ РІВНЯ НАДАННЯ СЕРВІСІВ ТА ДОДАТКІВ	77
М.М. КОСПОК, А.М. КОСПОК АВТОНОМНА ВИСОКОЕФЕКТИВНА КОГЕНЕРАЦІЙНА УСТАНОВКА	84
С.Л. ГОРЯЩЕНКО, К.Л. ГОРЯЩЕНКО, Г.М. ДРАПАК РОЗРОБКА ДІАГНОСТИЧНОГО ПРИСТРОЮ З ВИКОРИСТАННЯМ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ	88
С.М. ЛИСЕНКО, Є.С. БУРДАШ МЕТОД ТА ЗАСОБИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ БОТ-МЕРЕЖ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬ ТЕХНОЛОГІЮ «ДИНАМІЧНА ПЕРЕАДРЕСАЦІЯ ІР-АДРЕС»	94
С.М. ЛИСЕНКО, Р.В. ЩУКА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЯВЛЕННЯ ШКІДЛИВОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ	101

Л.Б. ЛІЩИНСЬКА ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РАДІОЧАСТОТНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ В ІНТЕРНЕТІ РЕЧЕЙ	108
О.В. МАЗУРЕЦЬ, Т.К. СКРИПНИК, В.А. ЖИТНЯКІВСЬКИЙ ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИЗНАЧЕННЯ КЛЮЧОВИХ СЛІВ У ПОВІДОМЛЕННЯХ ДЛЯ СОЦІАЛЬНИХ МЕРЕЖ	112
Н.К. МЕДВЕДЧУК, В.Ю. МЕДВЕДЧУК, І.Ю. САДОВИЙ ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ПРОЦЕСІ НАВЧАННЯ АГРОІНЖЕНЕРІВ	117
А.І. МИЗІЮК МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ МАЛОГАБАРИТНОЇ КАРТОПЛЕСАДЖАЛКИ У ВИРОБНИЧИХ УМОВАХ	121
О.А. МЯСЦЕВ ОСОБЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОШИВКИ INAV НА ПОЛЬОТНОМУ КОНТРОЛЕРІ OMNIBUS F4V3 ДЛЯ БПЛА РОТОРНОГО ТИПУ	126
О.В. НАХАЙЧУК, Е.А. ЗАХАРОВА, А.А. МІЗРАХ, В.С. ГОРОБЧИШИНА ПРОГНОЗУВАННЯ ТИСКУ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ В СИСТЕМІ «ФІГУРА – СУКНЯ»	135
А.О. НІЧЕПОРУК, А.А. НІЧЕПОРУК, Ю.О. НІЧЕПОРУК, А.Д. КАЗАНЦЕВ МЕТОД ВИОКРЕМЛЕННЯ ФРАГМЕНТІВ БОТ-МЕРЕЖ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ МЕРЕЖЕВОГО ТРАФІКУ	141
Н.А. ОДЕГОВ ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ И НЕЛИНЕЙНЫХ ЭФФЕКТОВ В ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКНАХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ DWDM	150
А.П. ОЛІЙНИК, Г.В. ГРИГОРЧУК, О.І. КЛАПОУЩАК, Л.І. ФЕШАНИЧ ОЦІНКА ДОВГОВІЧНОСТІ ОБ'ЄКТІВ ЗА ДАНИМИ ПРО ПЕРЕМІЩЕННЯ ТОЧОК ЇХ ПОВЕРХНІ ...	158
О.В. ОСАДЧУК, В.С. ОСАДЧУК, Я.О. ОСАДЧУК ТЕНЗОРЕАКТИВНИЙ ЕФЕКТ У ПОЛЬОВИХ ТРАНЗИСТОРАХ	163
О.О. ПАВЛОВА, М.А. БОДНАР, Є.Г. ГНАТЧУК МЕТОД ДІЯЛЬНОСТІ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АГЕНТА НА ОСНОВІ ОНТОЛОГІЧНОГО ПІДХОДУ ДЛЯ ПАРСИНГУ ПРИРОДОМОВНИХ СПЕЦИФІКАЦІЙ ВИМОГ ДО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	171
А.М. ПЕЛЕЩИШИН, Г.О. БАНДРОВСЬКИЙ ІНФОРМАЦІЙНИЙ ВПЛИВ У СОЦІАЛЬНОМУ СЕРЕДОВИЩІ ІНТЕРНЕТУ: АНАЛІЗ АКТИВНОСТІ КОРИСТУВАЧІВ ТА ЇХ РЕАКЦІЙ НА ПУБЛІКАЦІЇ	176
Л.В. ПЕЛИК, О.В. ОСТАПЧУК ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВІТРОПРОНИКНОСТІ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ЛУБ'ЯНИХ ВОЛОКОН	181
Н.В. ПЕРВАЯ, О.А. АНДРЕСВА, П.М. ГОНДАРЧУК ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВИМОГ ДО ВЗУТТЯ ДЛЯ ЛЮДЕЙ ПОХИЛОГО ВІКУ	185
А.І. ПЕРЕДЕРКО АНАЛІЗ РОЗПОДІЛУ ЙМОВІРНОСТЕЙ ПІКІВ У ВИПАДКОВОМУ ВІБРАЦІЙНОМУ СИГНАЛІ	190
О.М. СИНІЮК, О.А. КРАВЧУК, О.М. ЯШИНА, А.Ю. КРАВЧУК РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЗАПОВНЕННЯ ПОРОЖНИНИ ПРЕС-ФОРМИ РОЗПЛАВОМ ПОЛІМЕРНОГО МАТЕРІАЛУ З НАПОВНЮВАЧЕМ	195
В.Ю. ТІТОВА, Ю.П. КЛЬОЦ, С.О. САВЧУК КЛАСИФІКАЦІЯ МОДЕЛЕЙ ЗАГРОЗ В КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ	201

О.Р. ТРАЧ ПОБУДОВА МОДЕЛІ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ВІРТУАЛЬНОЇ СПІЛЬНОТИ НА ОСНОВІ МЕРЕЖІ ПЕТРІ	204
В.С. ТРУШ ОПІРНІСТЬ ВТОМНОМУ РУЙНУВАННЮ ЗА ЧИСТОГО ЗГИНУ ТА ТВЕРДІСТЬ ТОНКОЛИСТОВОГО МАТЕРІАЛУ ЗІ СПЛАВУ ZR-1%NB ПІСЛЯ МОДИФІКУВАННЯ ПРИПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ДОМІШКАМИ ПРОНИКНЕННЯ	209
В.Ю. ЩЕРБАНЬ, А.К. ПЕТКО, О.З. КОЛИСКО, Ю.Ю. ЩЕРБАНЬ, М.І. ШОЛУДЬКО ПРОГРАМНІ МОДУЛІ КОМП'ЮТЕРНОЇ ПРОГРАМИ РЕАЛІЗАЦІЇ АЛГОРИТМУ РЕКУРСІЇ ДЛЯ ВИПАДКУ ЗМІННОГО ВХІДНОГО НАТЯГУ	213
П. Д. ЛЕЖНЮК, О. Є. РУБАНЕНКО, В. О. ЛЕСЬКО, О. О. РУБАНЕНКО ОСОБЛИВОСТІ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ-ЕЛЕКТРИКІВ ДЛЯ АЕС У ВНТУ	219
Д.А. МАКАТЬОРА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗУСИЛЛЯ РІЗАННЯ НОЖЕМ З ДУГОПОДІБНОЮ ФОРМОЮ ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ	229
О.П. МАТЕЮК, Г.А. БІЛЕЦЬКА, А.О. ДЯЧУК, О.О. ЄФРЕМОВА ОЦІНКА ЕКОТУРИСТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ХМЕЛЬНИЦЬКОЇ ОБЛАСТІ ЯК СКЛАДОВОЇ СТАЛОГО РОЗВИТКУ РЕГІОНУ	235
A. FARISIEIEV, A. NOVIK, O. VIENKO MODERN APPROACHES TO IMPROVING THE TECHNOLOGY OF EMULSION-TYPE SAUCES.....	241
A. SUKHOVII, L. CHURSINA, H. TIKHOSOVA, N. NEZHLUKCHENKO FORMATION OF POLYMERIC COMPOSITE MATERIALS REINFORCED BY OIL FLAX FIBER.....	245
Т. О. КОЛЕСНИК, О. А. АНДРЕЄВА ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВІДМОЧУВАННЯ ШКІРЯНОЇ СИРОВИНИ В ПРИСУТНОСТІ ФЕРМЕНТНИХ ПРЕПАРАТІВ	251
В. І. БЕЗСМЕРТНА, С. Ю. БОБРОВА, Л. Є. ГАЛАВСЬКА, А. В. КРАВЧЕНКО ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ ДО ПОРІЗУ ТРИКОТАЖУ ДЛЯ ЗАХИСТУ РУК ВІД МЕХАНІЧНИХ УШКОДЖЕНЬ.....	255
М. П. МАЗУР, К. С. СОКОЛАН ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУЮВАННЯ ГРЕБІНЧАСТИХ ФРЕЗ ІЗ МЕХАНІЧНИМ КРІПЛЕННЯМ ТВЕРДОСПЛАВНИХ НЕПЕРЕТОЧУВАНИХ ПЛАСТИНОК.....	261

ОСОБЛИВОСТІ КУЛІСНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА РУХУ ІМПУЛЬСНОГО РЕДУКТОРА

Виконаний кінематичний аналіз імпульсного редуктора з кулісним перетворювачем руху та двома зубчастими механізмами, у якому ведений вал отримує односпрямовані імпульси від механізму вільного ходу (МВХ). Особливістю редуктора є передача двох імпульсів руху протягом одного обороту вхідної ланки. Виконано аналітичне та чисельне дослідження кінематики руху ланок на чотирьох окремих етапах протягом циклу. Розглянуті зміни кутів повороту та аналогів кутової швидкості куліси-шатуна та аналог кутової швидкості веденого валу. Зміна розмірів перетворюючого кулісного механізму і конструктивних параметрів МВХ дозволяє отримувати різноманітні закони руху вихідного валу редуктора.

Ключові слова: механізм вільного ходу, куліса, кінематика передачі, аналог швидкості, нерівномірність руху.

R.V. AMBARCUMYANC, M.I. SUBBOTINA, S.V. TUTAIEV

Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa. Ukraine

FEATURES OF THE ROCKER CONVERTER OF THE MOVEMENT OF THE PULSE REDUCER

A feature of pulse reducers with a free-wheeling mechanism (FWM) is the ability to provide high transmission ratios. In this case, it is possible to obtain uniform rotation of the driven shaft or rotation with a given unevenness, which is expedient for many technological processes.

In the given design of the pulse reducer, the crank mechanism and two gear mechanisms are used in the form of the converters of the mechanical movement. The driven shaft, combined with the internal sprocket of FWM, receives unidirectional motion pulses. In a kinematic research, there is a need to consider the combination of two components of the flat movement of the connecting rod, made in the form of a fork-rocker. The motion cycle of links of the mechanism can be divided into four stages, which correspond to unequal intervals of the change in the position of the crank. The beginning of the cycles of the rotational and translational components of movement of a rod do not coincide. The rotation of each gear wheel is carried out unequally during the cycle, and at separate stages in opposite directions. In this case, the working or idling motion of the FWM can occur. Analytical research of kinematic characteristics of links during each cycle stage was executed. Numerical studies of changes in the rotation angles and analogues of the angular velocity of the connecting rod have been carried out. Analysis of analogue of angular velocity of driven shaft of the reducer was performed.

The design of the reducer transmits one or two impulses of movement during one turn of the input link. To determine the law of motion of the output shaft, an analysis of each of the four stages of the movement of the links in the cycle is required. The required law of motion of the output shaft of the reducer can be obtained by a combination of various sizes of the transforming rocker mechanism and structural parameters of the FWM.

Keywords: free-wheeling mechanism, rocker mechanism, transmission kinematics, speed analogue, uneven movement.

Імпульсні редуктори займають особливе місце серед передаточних механізмів, які забезпечують великі значення передаточного відношення. На практиці застосовують, як правило, комбіновані зубчасті передачі, до складу яких входять черв'ячні та хвильові передачі. Головним недоліком черв'ячних передач є великі втрати на тертя (при великих передаточних відношеннях втрати досягають 90%), для зменшення яких потрібне використання дорогих кольорових металів. Під час використання хвильових передач треба мати на увазі складність виготовлення гнучкого колеса, обмеження числа циклів його роботи завдяки втомній деформації останнього.

В цьому плані вигідно відрізняються імпульсні редуктори, які мають більш високий коефіцієнт корисної дії та дозволяють отримати порівняльно великі значення передаточних відношень – від декількох сотень до навіть більше від тисячі [1]. У них ведений вал отримує крокові односпрямовані імпульси від механізму вільного ходу (МВХ). Особливістю імпульсних редукторів є можливість отримати рівномірне обертання веденого валу з низькою швидкістю, або обертання з заданою нерівномірністю, що для багатьох технологічних процесів є доцільним.

Дослідниками розроблені ряд конструкцій перетворювачів руху – імпульсних редукторів, у яких одним і тим самим МВХ забезпечується два імпульсу, що призводить до виключення паузи між сусідніми імпульсами і підвищення рівномірності обертання веденого валу редуктора. Одна з таких конструкцій імпульсного редуктора наведена в роботі [2], у якому в якості перетворювачів механічного руху використовується кривошипний кулісний та зубчастий механізми. У шарнірі С встановлений ведений вал МВХ з внутрішньою зірочкою, на якій встановлені дві однакові зовнішні обойми, які забезпечені зовнішніми циліндричними зубчастими вінцями.

Шатун 2 виконаний у виглядівилки – куліси (рис. 1), що утворює вищу кінематичну пару з зовнішньою обоймою МВХ та обладнана двома протилежно розташованими зубчастими рейками 3, 4, які зачеплені з зовнішніми вінцями обойм 5, 6. Зовнішні обойми 5, 6 зачеплені з зубчастими рейками 3 і 4 відповідно та сумісно з шатуном 2 коливаються на кут ψ . При цьому рух веденого валу 7 редуктора передається виключно в одному напрямку (наприклад, проти годинникової стрілки, як на схемі).

Розглянемо передачу руху від кривошипу 1 зубчастій обоймі 5 MBX протягом циклу. Для встановлення дійсної картини кінематики даного механізму завдяки плоскому руху шатуна-куліси потрібно аналізувати закон руху кожної обойми як результат суми двох рухів – від обертальної та поступальної складових руху куліси.

Позначимо ψ_r – кут повороту зовнішньої обойми 5 від обертальної складової переміщення куліси відносно точки C , ψ_p – кут повороту зовнішньої обойми 5 від поступальної складової переміщення куліси з зубчатою рейкою 3 на величину s відносно точки C . Таким чином, при передачі руху обойма повертається на кут

$$\psi = \psi_r + \psi_p \quad (1)$$

При цьому аналог повної кутової швидкості обойми MBX складає

$$\psi' = \frac{d\psi}{d\varphi} = \psi'_r + \psi'_p \quad (2)$$

де $\psi'_r = \frac{d\psi_r}{d\varphi}$ – аналог кутової швидкості обойми MBX завдяки обертальній складовій переміщення куліси,

$\psi'_p = \frac{d\psi_p}{d\varphi}$ – аналог кутової швидкості обойми MBX завдяки поступальній складовій переміщення куліси,

φ – кут повороту кривошипу.

Особливість передачі руху зубчастій обоймі складається у тому, що протягом одного обороту кривошипа завдяки обертальній та поступальній складовим руху куліси-шатуна обертання кожної зубчатої обойми утворюється неоднаково, а на окремих етапах циклу спрямовано у протилежних напрямках.

Доцільно в цьому випадку аналізувати зміни кутів повороту та аналогів кутових швидкостей відповідно виразів (1) та (2).

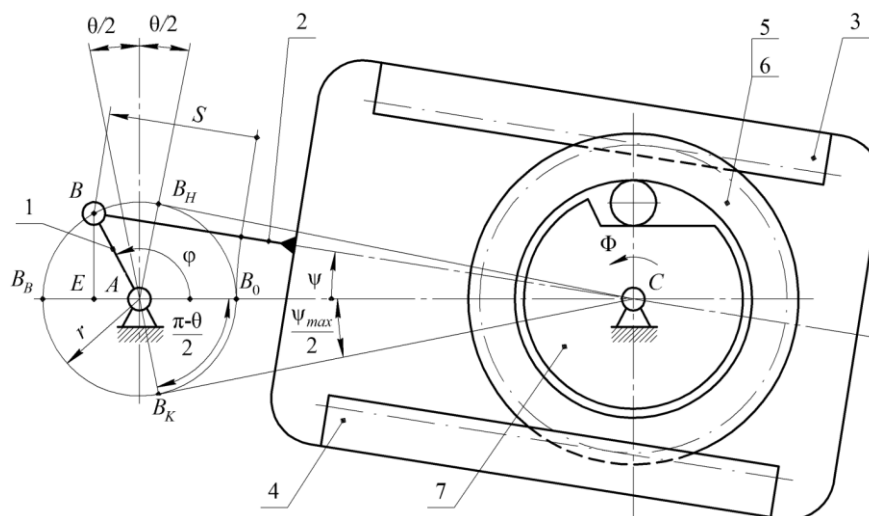


Рис. 1. Кінематична схема імпульсного редуктора

Позначимо: B_K, B_H – положення центру шарніра B , відповідні крайнім положенням шатуна; B_0, B_6 – положення центру шарніра B , відповідні нульовому та максимальному значенню s_{max} поступального переміщення s куліси (див. рис. 1).

Під час дослідження кінематики ланок механізму можна виділити чотири етапи в циклі: OH, HB, BK, KO , яким відповідають чотири інтервали зміни положення кривошипу. Кути повороту кривошипу протягом відповідних етапів складають

$$\varphi_{OH} = \varphi_{KO} = (\pi - \theta) / 2 ; \varphi_{HB} = \varphi_{BK} = (\pi + \theta) / 2,$$

де θ – кут, що характеризує коефіцієнт середньої швидкості куліси.

Результати аналізу руху ланок на кожному етапі представлені у таблиці 1.

При зміні кута повороту кривошипа в інтервалі $\varphi = 0 \div (\pi - \theta) / 2$ (етап OH) здійснюється поворот куліси за годинниковою стрілкою та одночасно починається рух зубчатої рейки куліси вгору, що викликає обертання обойми у протилежному напрямку.

У подальшому переміщенні рейки вгору при зміні кута повороту кривошипа в інтервалі $\varphi = (\pi - \theta) / 2 \div \pi$ (етап HB) здійснюється поворот куліси проти годинникової стрілки.

Тобто на етапі *HB* напрями обертання співпадають, аналоги додатні і вони підсумовуються.

На етапі *BK* вони мають різні знаки і віднімаються. На етапі *KO* обидва аналоги від'ємні і сума має від'ємний знак. На етапах *OH* та *BK* аналоги мають різні знаки і сума аналогів може мати або додатний, або від'ємний знак залежно від того, який з аналогів кутових швидкостей перевищує інший.

Якщо ведений вал на етапі *HB* отримує від обойми 5 робочий імпульс, то на ділянці *OH* можливий робочий імпульс при $\dot{\psi}_p > \dot{\psi}_r$, або холостий хід МВХ та зупинка валу при $\dot{\psi}_p < \dot{\psi}_r$.

На етапі *BK* при $\dot{\psi}_p < \dot{\psi}_r$ обойма має робочий імпульс і не має при $\dot{\psi}_p > \dot{\psi}_r$. На етапі *KO* $\dot{\psi}_p$ і $\dot{\psi}_r$ від'ємні, отже ведений вал не одержує робочий імпульс.

Таблиця 1

Характеристики етапів руху ланок у циклі

Характеристики етапу	Позначення етапів руху ланок			
	<i>OH</i>	<i>HB</i>	<i>BK</i>	<i>KO</i>
Інтервал зміни кута повороту φ кривошипа	$0 \div (\pi - \theta) / 2$	$(\pi - \theta) / 2 \div \pi$	$\pi \div (3 \cdot \pi + \theta) / 2$	$(3 \cdot \pi + \theta) / 2 \div 2 \cdot \pi$
Аналог кутової швидкості зубчастої обойми МВХ	$\dot{\psi}_{OH} = -\dot{\psi}_r + \dot{\psi}_p$	$\dot{\psi}_{HB} = \dot{\psi}_r + \dot{\psi}_p$	$\dot{\psi}_{BK} = \dot{\psi}_r - \dot{\psi}_p$	$\dot{\psi}_{KO} = -\dot{\psi}_r - \dot{\psi}_p$

Аналогічна розглянутій картина передачі руху спостерігається і для обойми 6.

Початки циклів обертальної і поступальної складових руху куліси та відповідно зубчастих обойм МВХ не співпадають. Зміщення кута повороту кривошипа між положеннями зубчастої обойми на початку руху у обертальній і поступальній складових руху складає $(\pi - \theta) / 2$.

Приймаємо, що кривошип обертається в напрямку проти годинникової стрілки.

Відповідно до прийнятих на рис. 1 позначеннях розмірів ланок: l_{AB} – довжина кривошипа *AB*, l_{AC} – довжина стойки *AC*, l_{BC} – змінна довжина шатуна *BC* при умові, що $l_{AC} > l_{AB}$. Використовуємо у подальшому відносні довжини ланок $1 = l_{AC} / l_{AC}$; $q = l_{BC} / l_{AC}$. Позначимо відносну довжину кривошипа

$$r = l_{AB} / l_{AC} = \sin(\psi_{\max} / 2) = \sin(\theta / 2),$$

де ψ_{\max} – кут розмаху куліси відносно центру *C*;

$$\psi_{\max} = 2 \cdot \arcsin(r);$$

$$\theta = \psi_{\max}.$$

Кут повороту ψ_r куліси *BC* відносно стойки визначається за допомогою співвідношення

$$\operatorname{tg} \psi_r = \frac{(EB)}{(EC)} = \frac{r \cdot \sin \varphi}{1 - r \cdot \cos \varphi}. \quad (3)$$

Цикл обертальної складової руху куліси з закріпленою зубчастою рейкою починається з повороту за годинниковою стрілкою з положення *B_кC*. Кривошип при крайньому лівому положенні куліси займає положення *AB_к* під кутом $(\pi - \theta) / 2$ до вертикалі (див. рис. 1).

Цикл поступальної складової руху рейки куліси починається при іншому положенні кривошипа *AB₀* – вертикальному нижньому. Тому для запису закону руху рейки зручно встановити за початкове вертикальне нижнє положення кривошипу ($\varphi_0 = 0$).

Для визначення залежності $\psi_p = \psi_p(\varphi)$ необхідно знайти величину поступального переміщення $s(\varphi)$ куліси-рейки відносно центра шарніра *C*. Позначимо відносну змінну довжину шатуна $l_{BC} = q$. При обертанні кривошипа на кут π довжина шатуна від положення *CB₀* до *CB_в* змінюється в інтервалі $(1 - r) \leq q \leq (1 + r)$ (див. рис. 1). Таким чином, при довільному значенні довжини шатуна q величину відносного поступального переміщення шатуна можна представити як

$$s = q - (1 - r). \quad (4)$$

З $\triangle BEC$ можна отримати вираз для відносної довжини шатуна у довільному положенні

$$q(\varphi) = \sqrt{1 - 2r \cdot \cos(\varphi) + r^2}.$$

Переміщення зубчастої рейки куліси відповідно поступальній складовій руху становить

$$s(\varphi) = r - 1 + \sqrt{1 - 2r \cdot \cos(\varphi) + r^2}. \quad (5)$$

Зміна кута повороту зубчастої обойми радіусом R_{MBX} завдяки поступальному руху зубчастої рейки визначається відповідно виразу

$$\psi_p(\varphi) = s(\varphi) / R_{MBX}.$$

Рейкове зубчасте зачеплення шатуна з обоймами MBX забезпечує можливість повороту кожної обойми навкруг точки C на кут

$$\psi_r(\varphi) = [r - 1 + \sqrt{1 - 2r \cdot \cos(\varphi) + r^2}] / R_{MBX}. \quad (6)$$

Для аналізу результативного руху обираємо початкове положення ланок відповідно положенню AB_0 кривошипа та змістимо відповідно початок графіків переміщення $\psi_r(\varphi)$ та аналогу швидкості $\psi_r'(\varphi)$. Зміна кута повороту куліси складає

$$\psi_r(\varphi) = \theta / 2 - \arctg\left(\frac{r \cdot \sin \varphi}{1 - r \cdot \cos \varphi}\right). \quad (7)$$

Зазначимо, що з виразів (7) та (8) випливає висновок: кут повороту ψ_r залежить від основних розмірів кулісного механізму – довжини кривошипу AB , центральної відстані AC , але кут ψ_p залежить також і від діаметру зовнішньої обойми MBX.

Аналог кутової швидкості обійм MBX від поступального руху рейки визначається з (6)

$$\psi_p'(\varphi) = \frac{r \cdot \sin \varphi}{R_{MBX} \cdot \sqrt{1 - 2 \cdot r \cdot \cos \varphi + r^2}}. \quad (8)$$

Аналог кутової швидкості від обертального руху куліси отримаємо з (7):

$$\psi_r'(\varphi) = \frac{r \cdot (1 - \cos \varphi)}{1 - 2 \cdot r \cdot \cos \varphi + r^2}. \quad (9)$$

На рис. 2, 3 представлені графіки зміни кутів $\psi_r(\varphi), \psi_p(\varphi)$ та аналогів швидкостей $d\psi_r(\varphi) = \psi_r'(\varphi)$ і $d\psi_p(\varphi) = \psi_p'(\varphi)$ залежно від кута повороту вхідної ланки φ . Графіки побудовані при таких розмірах ланок важільного механізму та зовнішньої обойми MBX: $l_{AB} = 10$ мм; $l_{AC} = 140$ мм; $R_{MBX} = 50$ мм.

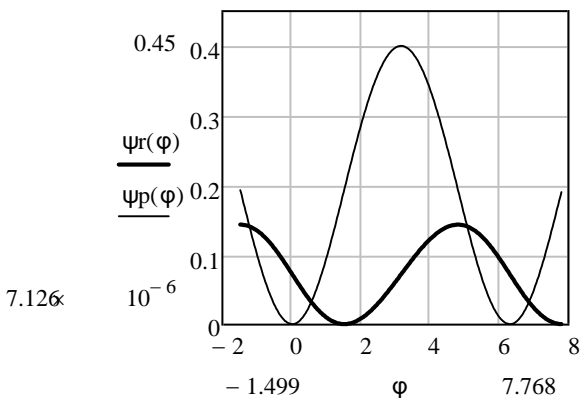


Рис. 2. Графіки співвідношення положень зубчастої обойми MBX від обертальної та поступальної складових руху куліси ($r = 0,01$ м; $R_{MBX} = 0,05$ м)

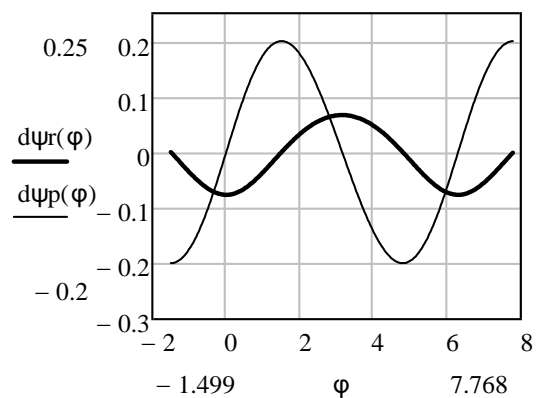


Рис. 3. Графіки аналогів кутової швидкості обійми MBX від обертальної та поступальної складових руху куліси ($r = 0,01$ м; $R_{MBX} = 0,05$ м)

В результаті аналізу кінематики кожного етапу руху обійм 5 і 6 MBX відповідно до формул для ψ_r' з таблиці 1 та формул (8) і (9) визначається характер зміни аналога кутової швидкості $\Phi'(\varphi) = \frac{d\Phi}{d\varphi}$ вихідного валу:

$$\Phi'(\varphi) = \begin{cases} \psi_5'(\varphi) & \text{при робочому ході обійми 5 MBX,} \\ \psi_6'(\varphi) & \text{при робочому ході обійми 6 MBX.} \end{cases}$$

Тривалість робочих імпульсів МВХ, тобто інтервал зміни кута повороту кривошипа, на окремих етапах руху у циклі має різні значення залежно від розмірів ланок.

Зміна аналога кутової швидкості веденого валу може мати вигляд як на рис. 4. Наприклад, при розмірах ланок: $r = 0,01$ м и $R_{МВХ} = 0,05$ м за один оборот кривошипа ($\varphi = 2 \cdot \pi$) ведений вал отримує два імпульси руху.

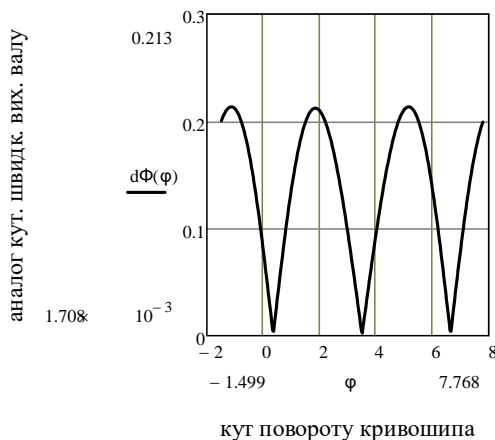


Рис. 4. Графік аналога кутової швидкості веденого валу редуктора ($r=0.01$ м; $R_{МВХ}=0.05$ м)

При цьому початок робочого ходу МВХ зміщений відносно початку відліку кута φ . Крім того, час розгону і час зменшення кутової швидкості валу в кожному імпульсі відрізняються.

Висновки

Дослідження руху ланок механізму на протязі повного циклу руху показують, що зовнішні обойми 5 і 6 МВХ протягом одного циклу роботи можуть отримати від перетворюючого важільно-зубчастого механізму або один, або два робочих імпульси.

Закон руху веденого валу відтворюється в залежності від геометричних розмірів перетворюючого кулісного механізму та від конструктивних параметрів зовнішніх обойм 5 і 6. МВХ.

Для визначення законів руху веденого валу розглянутого редуктора необхідно проводити аналіз руху ланок кожного з чотирьох окремих інтервалів зміни положення кривошипу за цикл.

Виконаний аналіз кінематики ланок редуктора викликає інтерес до подальшого дослідження даного перетворювача руху. Поєднання в даній конструкції різних розмірів ланок важільного, зубчастого механізмів та конструктивних параметрів МВХ дозволяє отримувати різноманітні закони руху вихідного валу імпульсного редуктора.

Література

1. Архангельский Г.В. Импульсные редукторы / Г.В. Архангельский. – Одесса : Наука и техника, 2009. – 76 с.

2. Пат. 63938 Україна, МПК (2011.01) F 16 H 29/00. Імпульсний редуктор / Амбарцумянц Р.В., Субботіна М.І. ; ОНАХТ. – № u201103684 ; заявл. 28.03.2011 ; опубл. 25.10.2011 ; Бюл. № 20, 2011 р.

References

1. Arkhangelsk G.V. Pulse reducers / G.V. Arkhangelsky - Odessa: Science and Technology, 2009. - 76 p.
2. Pat. 63938 Ukraine, IPC (2011.01) F 16 H 29/00. Impulse gearbox / Ambartsumyants R.V., Subbotina M.I.; ONAHT. - No.u201103684; declared 03/28/2011; publ. 10/25/2011; Bull. No. 20, 2011.

Рецензія/Peer review : 10.03.2020 р.

Надрукована/Printed : 16.6.2020 р.

Рецензент: Гладушніак О. К.

В.А. ДРУЖИНІН

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Ю.М. БОЙКО, О.І. ЄРЬОМЕНКО

Хмельницький національний університет

В.І. КОРСУН

ДП «УДЦР»

ДИНАМІЧНІ МОДЕЛІ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВОЇ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ ВІД ДЖЕРЕЛ РАДІОВИПРОМІНЮВАННЯ В УМОВАХ РОЗНЕСЕНОГО ПРИЙОМУ ЛОКАЦІЙНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Описано алгоритми визначення координати джерел радіовипромінювання в пасивному режимі в умовах неспрямованого прийому в рамках визначення потенційних можливостей методів синтезу апертур пасивних систем радіомоніторингу. Дана оцінка співвідношення між параметрами руху антен радіоприймальних модулів і інтервалами когерентності сигналу під час радіомоніторингу. Отримано вираз для розрахунку похилої дальності до джерела радіовипромінювання. Синтезовано блок-схему алгоритму визначення пеленгів на джерела радіовипромінювання та його несучої частоти. Запропоновані методи реалізації необхідного положення точок прийому на інтервалі часу моніторингу для однозначного визначення пеленгів на джерела радіовипромінювання в пасивному режимі при русі радіоприймачів із апіорно визначеною просторовою конфігурацією. Отримано вираз динамічної помилки (промах) утримання ведених на потрібній траєкторії як у випадку чистого переслідування, так і у випадку переслідування зі зміщенням. Досліджено модель оцінювання точності визначення координат джерел радіовипромінювання з метою аналізу точності їх пеленгування.

Ключові слова: радіомоніторинг, апертура, просторово-часова обробка, радіоприймальний модуль, радіозавада.

V.A. DRUZHININ

Taras Shevchenko National University of Kyiv

J.M. BOIKO, O.I. EROMENKO

Khmelnitskyi National University

V.I. KORSUN

SE «UCRF»

DYNAMIC MODELS OF SPACE-TIME SIGNAL PROCESSING FROM RADIO-FREQUENCY RADIATION SOURCES IN THE CONDITIONS OF SPACED RECEPTION OF LOCATION INFORMATION

Algorithms for determining the coordinates of radio-frequency radiation sources in passive mode in the conditions of non-directional reception are described in the framework of determining the potential of methods of synthesis of apertures of passive radio monitoring systems. The relation between the antenna motion parameters of radio receiving modules and signal coherence intervals during radio monitoring is estimated. An illustration of ambiguous determination of the direction of signal arrival from radio interference sources in the conditions of undirected reception is carried out. The geometrical ratio of angles at change of the direction of movement of the carrier of the radio receiving module is proved. The trajectories of radio receiving modules in parallel courses with certain distance and interval between carriers are synthesized. An expression for calculating the inclined distance to the source radio-frequency radiation is obtained. The block diagram of the algorithm for determining bearings for radio sources and its carrier frequency is synthesized. The graphic interpretation of kinematic relations at movement of the leading and conducted remotely piloted aircraft is resulted. Methods of realization of necessary position of reception points on an interval of time of monitoring for unambiguous definition of bearings on radio-frequency radiation sources in a passive mode at movement of radio receivers with a priori defined spatial configuration are offered. Projections of trajectories of movement of two carriers of radio receiving modules with the set interval and distance between them on a horizontal plane are constructed. It has been found that it is possible to hold the subjects at the appropriate distance by means of a radio beam (on the line of sight). The expression of dynamic error (mistake) of keeping the conducted on the necessary trajectory both in case of pure pursuit, and in case of pursuit with shift is received. The model of estimating the accuracy of determining the coordinates of radio-frequency radiation sources is investigated in order to analyze the accuracy of their direction finding. The bearing was found to be trigonometrically dependent on the coordinates of the radio-frequency radiation sources and the meter. The results of mathematical modeling of the change of the standard deviation of the accuracy of the coordinates of radio-frequency radiation sources from the time of signal accumulation (aperture synthesis) are presented.

Keywords: radio monitoring, aperture, space-time processing, radio receiver module, radio interference.

Вступ. Постановка завдання

Проведення радіочастотного моніторингу (РЧМ) в умовах щільної зайнятості спектру системами зв'язку з множинним доступом абонентів, таких як системи рухомого стільникового зв'язку, є вкрай складним і об'ємним завданням. Тенденції і особливості технічної розбудови, притаманні сучасним і перспективним технологіям рухомого зв'язку, накладають додаткові обмеження на проведення РЧМ. Серед основних факторів, які обтяжують проведення РЧМ використання радіочастотного ресурсу (РЧР) слід виділити наступні:

- Використання широкосмугових і надширокосмугових каналів зв'язку у поєднанні зі зменшенням потужності випромінювання передавачів. Така тенденція розвитку технологій зв'язку є чи не головною особливістю розбудови сучасних і перспективних технологій. Це пов'язано з тим, що системи зв'язку перестають бути безпосередньо системами для надання послуг зв'язку між абонентами, а набувають

ознак елементів контролю і управління складними інфраструктурними об'єктами, такими, наприклад, як місто із власною дорожньою, комунальною, соціальною, та інфраструктурами інших сфер життєдіяльності населення і виробництва. У цьому випадку інфраструктура мережі зв'язку має відображати особливості інфраструктур, в оточенні яких вона знаходиться, і є органічним елементом загальної системи контролю і управління (так званої екосистеми). Широкосмугові канали зв'язку у такій системі є, певним чином, кровоносними судинами (шляхопроводами), які забезпечують передавання і приймання великих потоків даних по інформації, яка переміщується між елементами загальної інфраструктури. Вже зараз системи зв'язку 4-го покоління, які використовують технологію LTE-Advanced, мають ширину каналу 20 МГц, а системи зв'язку 5-го покоління будуть мати ширину каналу до 100 МГц і більше, в залежності від частотного діапазону. Поряд із цим, будуть продовжувати діяти вузькосмугові системи зв'язку, такі як системи 2-го покоління (технології GSM), канали яких також будуть застосовуватись для передачі даних у загальній топології перспективних мереж зв'язку [1–3].

- Використання широкосмугових каналів зв'язку стає можливим за наявності доступного радіочастотного ресурсу (РЧР) у діапазонах надвисоких частот (НВЧ), таких як 26 ГГц і вкрай високих частот (ВВЧ), таких як 40 і 70 ГГц (за даними досліджень СЕРТ). Перехід до цих діапазонів передбачає застосування, у тому числі, антен з вузько променевими діаграмами спрямованості антен (ДСА), що значно ускладнює проведення РЧМ.

- Впровадження адаптивних режимів роботи передавачів у частотна-часовому і просторовому уявленні сигналу випромінювання. Сучасні і перспективні системи рухомого зв'язку використовують метод множинного доступу на основі ортогонального частотного розділення каналів (OFDMA) у поєднанні з можливістю перерозподілу частотного ресурсу між секторами базових станцій і застосуванням технології багатоантенного/багатоканального просторового випромінювання (MIMO) для базового і абонентського обладнання. Адаптація до абонентських потреб і умов середовища досягається також за рахунок активних антенних систем (AAS) на основі фазованих антенних решіток (ФАР) [4–11], що дозволяє підсилювати сигнал випромінювання у необхідному напрямку для конкретного користувача. Такий змінний характер параметрів випромінювання вимагає більш ретельного і тривалого спостереження за параметрами передавачів засобами РЧМ.

- Впровадження так званої «технологічної нейтральності» (ТН) дозволяє операторам ефективно застосовувати ліцензований частотний ресурс на власний розсуд, у рухомому або фіксованому варіантах застосування, часовому або частотному дуплексному режимі із використанням різних технологій множинного доступу абонентів. Таким чином, контроль параметрів випромінювання має передбачати змінність параметрів випромінювання, а також необхідність перевірки дотримання оператором вимог щодо використання частот різними технологіями у сусідніх з іншим оператором смугах частот. Такі вимоги стосуються, зазвичай, обмежень на позасмугові випромінювання в каналах передавачів (перевірка ВЕМ – маски краю частотного блоку ліцензування), а також фільтрації (якщо застосовується) у сусідніх каналах приймачів.

Загальні зміни в електромагнітному середовищі на території або в місті, де проводиться РЧМ, пов'язані з мультистандартним використанням частот операторами через застосування перспективних станцій машинного типу зв'язку (МТС), які реалізують проекти «інтернету речей» (IoT) і міжмашинного зв'язку (M2M) через типові технологічні канали зв'язку сучасних систем рухомого зв'язку у всіх доступних діапазонах частот і канали перспективних (5G) технологій у діапазонах частот, доступних для 5G. Особливістю застосування станцій МТС є синхронізація і потужність в каналі випромінювання, які, на відміну від звичайного каналу зв'язку, визначаються за окремим розкладом відповідно до завдань елементу інфраструктури.

На фоні суттєвих змін в електромагнітному середовищі на перехідний період залишиться функціонувати велика кількість станцій технологічного зв'язку із типовими параметрами випромінювання, а також малопотужні передавачі систем широкосмугового доступу (ШСД), станцій радіорелейного і конвенційного зв'язку, повторювачі (репітери) в системах стільникового зв'язку тощо, які потребують окремої деталізації вимірювань з метою перевірки легальності функціонування передавачів і дотримання умов використання РЧР.

Означені вище умови електромагнітного середовища створюють певну невизначеність щодо параметрів випромінювання передавачів, яку, на відміну від умов середовища, яку утворювали або утворюють старі технології, можна охарактеризувати як нерегулярне використання спектру. При нерегулярному використанні спектру суттєво змінюються і завдання РЧМ, пов'язані з ідентифікацією передавачів щодо легального використання РЧР і радіоконтролем параметрів випромінювання. В умовах постійної змінності параметрів випромінювання і мультистандартного використання частот виникає певний ризик масового використання частот нелегальними передавачами мережі, параметри випромінювання яких також будуть змінними, але замаскованими загальним фоном випромінювань змінного характеру, притаманному для мережі в цілому. Частина або весь частотний ресурс передавача, який обслуговує певний сектор базової станції може бути використаний у іншому секторі, і, таким чином, через слабкий сигнал на час запланованого вимірювання, ідентифікація і вимірювання параметрів передавача стають неможливими. Подібно цьому частотний ресурс нелегального передавача (наприклад, репітеру) може бути схований під особливий розклад використання РЧР, який передбачає перерозподіл частотного ресурсу і його

мультистандартне використання. Детальний аналіз спектру сигналів усього ліцензованого ресурсу оператора в зоні обслуговування і у безпосередній близькості до базової станції дозволить отримати додаткову інформацію для ідентифікації передавачів. Таким чином, задача забезпечення ідентифікації передавачів в умовах впровадження і розвитку нових технологій зв'язку є актуальною, чи не найскладнішою, і має першочергове значення.

Не менш складною задачею в описаних умовах стає пошук завад. Джерело завад також маскується нерегулярним характером використання РЧР. Але джерелом завади можуть бути як легальні, так і нелегальні передавачі, які не дотримуються встановлених для технологій параметрів випромінювання і обмежень, що накладаються за результатами розрахунків сумісності з передавачами у сусідніх смугах частот іншого оператора. Ідентифікація передавачів за даними ідентифікаторів мережі і окремих базових станцій/секторів дозволить провести більш детальний аналіз спектру сигналів в оточуючій середовищі місця прояву завади і виявити сигнал завади від нелегального передавача (того ж репітера). Загалом, для пошуку джерела завади необхідно зменшити загальну невизначеність у параметрах випромінювання передавачів мережі за рахунок використання додаткової інформації щодо випромінювання джерела завади, отриманої від заявника і, також, шляхом попереднього вимірювання у місті прояву завади. У цьому випадку за рахунок підвищення потужності сигналу завади поряд із потужністю корисного сигналу у приймачі радіоконтролю виникає можливість прицільного, більш детального аналізу спектру сигналу завади і, таким чином, забезпечити більшу точність і надійність результатів аналізу спектра і вимірювань.

Таким чином, пошук джерела завади в умовах нерегулярного використання РЧР вимагає тривалої, кропіткої роботи і уявляється складним і актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Відомо [1, 3–7], що динамічні умови роботи систем радіомоніторингу істотно впливають на ефективність їх практичного використання. Особливо це стосується пасивних систем радіомоніторингу.

Припустимо, що дистанційно пілотований літальний апарат (ДПЛА) із радіоприймальним модулем (РПрМ) на борту рухається в фіксованому напрямку з постійною швидкістю $\vec{V}_{РПрМ}$.

У певний момент часу t_i сигнал, який випромінюється апріорно невідомим джерелом, надходить з невідомого раніше напрямку під кутом α_1 на вхід антенного пристрою РПрМ (рис. 1).

В даному випадку вираз для несучої частоти прийнятого сигналу має вигляд [1]:

$$f_{(n)np} = f_n \left(1 + \frac{V_{РПрМ}}{c} \cos \alpha_1 \right) \quad (1)$$

де f_n – частота несучого коливання сигналу; c – швидкість світла; $V_{РПрМ}$ – швидкість руху РПрМ ДПЛА.

Якщо частота несучого коливання сигналу f_n і швидкість руху РПрМ V апріорно відомі, то після вимірювання $f_{(n)np}$ може бути визначений пеленг на джерело радіовипромінювання (кут α):

$$\alpha_1 = \arccos \left[\frac{c}{L/T} \left(\frac{f_{(n)np}}{f_n} - 1 \right) \right] \quad (2)$$

Слід відзначити, що точність визначення пеленгу на джерело радіовипромінювання (ДРВ) залежить від величини відстані L (синтезованої апертури), яку проходить РПрМ за час моніторингу T .

Перевагою таких систем є те, що вони забезпечують високу точність вимірювання напрямку приходу сигналу при використанні антен з малою апертурою. Однак, визначення пеленга на ДРВ, в даному випадку, можливо лише при апріорно відомому спектрі радіовипромінювання.

Можливість роботи тільки в умовах, коли спектр сигналу ДРВ апріорно відомий, серйозно обмежує застосування систем моніторингу з синтезованою апертурою. Дана ситуацію може бути змінена у випадку, якщо швидкість РПрМ змінна в часі за модулем або за напрямком. Тоді доплерівська частота також буде змінюватися на інтервалі часу моніторингу T .

Якщо РПрМ переміщається в фіксованому напрямку зі змінною за величиною швидкістю $V(t)$, m оді гармонійна хвиля з частотою f_n реєструється на виході приймального елемента як частотно-

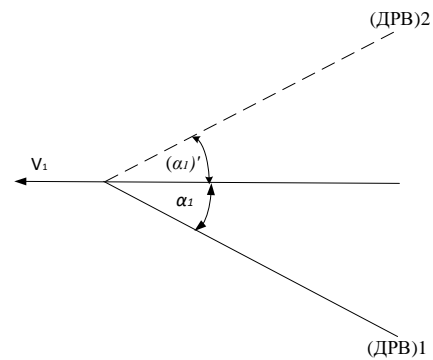


Рис. 1. Ілюстрація неоднозначного визначення напрямку приходу сигналу від ДРВ в умовах неспрямованого прийому

модульоване коливання. Його частота є функцією часу, яка описується наступним виразом [1]:

$$f_{np} = f_n \left(1 + \frac{V(t)}{c} \cos \alpha \right) \quad (3)$$

Якщо швидкість руху приймального елемента $V(t)$ змінюється за гармонійним законом з частотою f_c , то вираз (3) може бути представлено у вигляді [6–14]:

$$f_{np} = f_n \left(1 + \frac{V_0}{c} \cos(2\pi f_c t) \cos \alpha \right) \quad (4)$$

де V_0 – амплітуда швидкості руху РПрМ.

Амплітуда зміни доплерівської частоти реєстрованих коливань (F_D) та середня частота цих коливань (f_{cep}) визначаються наступним чином [1]:

$$\begin{cases} F_D = f_n \frac{V_0}{c} \cos \alpha \\ f_{cep} = f_n \end{cases} \quad (5)$$

Частота сигналу і кут його приходу можуть бути визначені в даному випадку на основі вимірів амплітуди зміни частоти і середньої частоти реєстрованих коливань.

Точність вимірювання кута приходу коливання залежить від амплітуди швидкості переміщення приймального елемента. Слід зазначити, що даний ефект буде мати місце і в випадках зміни швидкості руху РПрМ за законами, що відрізняються від гармонійного.

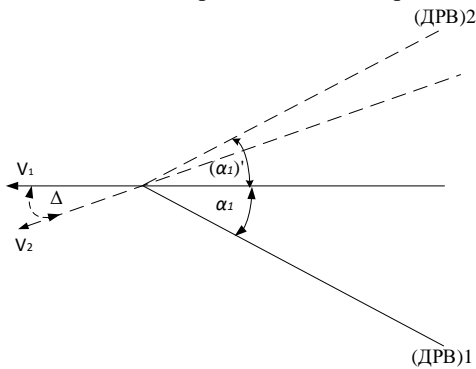


Рис. 2. Геометричне співвідношення кутів при зміні напрямку руху носія РПрМ

При русі РПрМ в першому напрямку реєстрована доплерівська частота описується виразом:

$$F_{D1} = f_n \frac{V_1}{c} \cos \alpha_1 \quad (6)$$

а при русі у зміненому напрямку (рис. 2):

$$F_{D2} = f_n \frac{V_2}{c} \cos(\alpha_1 + \Delta) \quad (7)$$

Якщо V_1 , V_2 , Δ апіорно визначаються просторовою конфігурацією системи радіомоніторингу, а F_{np1} і F_{np2} – величини, які вимірюються, то напрямок приходу сигналу від ДРВ та його частота можуть бути однозначно визначені на підставі наведених виразів. В даному випадку точність виміру параметрів сигналу від ДРВ залежить від величин швидкостей V_1 , V_2 та кута Δ .

На підставі розглянутого вище математичного апарату в роботі пропонується динамічна модель просторово-часової обробки сигналів від ДРВ в умовах їх рознесеного прийому рухомими РПрМ із апіорно відомими просторовими характеристиками на інтервалі часу моніторингу.

На цей час, мобільні засоби моніторингу спроможні функціонально доповнювати стаціонарні й забезпечують гнучку підтримку ефективного радіомоніторингу при проведенні вимірювань параметрів радіовипромінювань поза зоною доступу до них за рахунок використання потенційних можливостей методів синтезу апертур пасивних систем [8–15].

На рис. 3 наведена ілюстрація просторового положення точок прийому сигналу (А і В) відносно ДРВ. В даному випадку моніторинг ДРВ реалізується двома рухомими РПрМ, які пересуваються зі швидкостями V_1 , V_2 та знаходяться на відстані (дистанції) один від одного. Точки прийому сигналу (А і В) з

напрямів α_1, α_2 знаходяться в межах головної пелюстки діаграми спрямованості антени ДРВ в вертикальній та горизонтальній площинах.

Вхідні дані: 1. Координати точок знаходження РПрМ1 та РПрМ2 на інтервалі часу моніторингу ДРВ; 2. Час затримки (t_3) приходу сигналу в точку B відносно часу приходу радіовипромінювання від ДРВ в точку A ; 3. Дистанція (d) та інтервал (I) – незмінні за час реалізації моніторингу (T) ДРВ; 4. $V_1 = V_2$.

Наукове завдання: На підставі наведених вхідних даних визначити координати точки стояння ($x_{ДРВ}; y_{ДРВ}$) ДРВ в пасивному режимі моніторингу при неспрямованому прийомі.

Алгоритм визначення координат точки стояння ($x_{ДРВ}; y_{ДРВ}$) ДРВ в пасивному режимі моніторингу

Визначимо потужність джерела радіовипромінювання (P) та кут між напрямками руху приймальних елементів ($\Delta = \alpha_1 - \alpha_2$) в горизонтальній площині. На підставі використання рівняння передачі

Гарольда Фрііса отримаємо вираз для розрахунку похилої дальності $r_{1н}$ до ДРВ, який має вигляд:

$$r_{1н} = \frac{ct_3 \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{1/2}}{1 - \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{1/2}} \tag{8}$$

де t_3 – час затримки приходу сигналу до другого приймального елемента відносно першого; P_1, P_2 – потужності сигналу від ДРВ, які отримані приймальними антенами РПрМ 1 та РПрМ2

Слід відзначити, що похилі дальності до першого та другого приймальних елементів зв'язані співвідношенням:

$$r_{2н} = r_{1н} + ct_3, \tag{9}$$

де $r_{1н}$ – похила дальність до першого приймального елемента відносно точки знаходження джерела радіовипромінювання; $r_{2н}$ – похила дальність до другого приймального елемента відносно точки знаходження джерела радіовипромінювання; c – швидкість світла.

Відповідно, математичні вирази для розрахунку кутів місця в точках прийому A і B (рис. 3) мають вигляд:

$$\varepsilon_1 = \arcsin \left(\frac{H}{r_{1н}} \right), \tag{10}$$

де H – висота знаходження радіоприймача в момент прийому сигналу від джерела радіовипромінювання (рис. 1).

$$\varepsilon_2 = \arcsin \left(\frac{H}{r_{2н}} \right) \tag{11}$$

Вирази для розрахунку значень проєкцій похилих дальностей від ДРВ до точок A і B на горизонтальну площину згідно рис. 3 мають вигляд [3]:

$$r_{1z} = \frac{H}{\text{tg}(\varepsilon_1)} = \frac{H}{\text{tg} \left(\arcsin \left(\frac{H}{r_{1н}} \right) \right)} = \frac{H \sqrt{1 - \left(\frac{H}{r_{1н}} \right)^2}}{\left(\frac{H}{r_{1н}} \right)} = \sqrt{r_{1н}^2 - H^2} \tag{12}$$

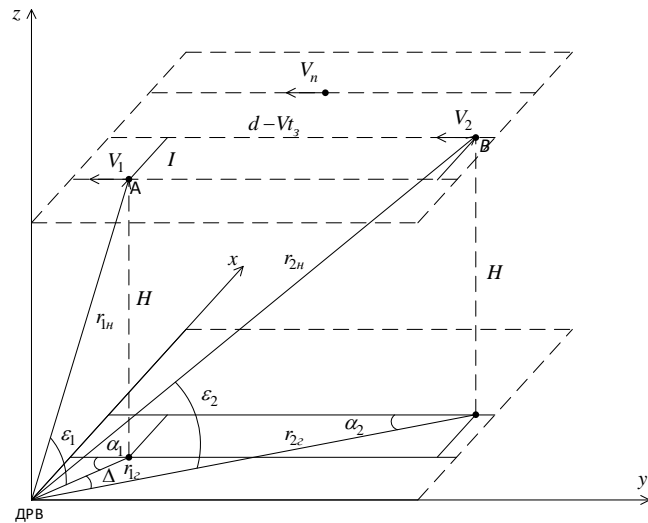


Рис. 3. Трасекторії руху РПрМ паралельними курсами із визначеними дистанцією (d) та інтервалом (I) між носіями

$$r_{2z} = \frac{H}{\operatorname{tg}(\varepsilon_2)} = \frac{H}{\operatorname{tg}\left(\arcsin\left(\frac{H}{r_{2H}}\right)\right)} = \frac{H\sqrt{1-\left(\frac{H}{r_{2H}}\right)^2}}{\left(\frac{H}{r_{2H}}\right)} = \sqrt{r_{2H}^2 - H^2} \quad (13)$$

З врахуванням виразів (12)-(13) розраховується кут між напрямками на точки прийому сигналів відносно точки розташування джерела радіовипромінювання в горизонтальній площині (рис. 1):

$$\Delta = (\alpha_1 - \alpha_2) = \arccos\left[\frac{r_{1z}^2 + r_{2z}^2 - (I^2 + (d - Vt_3)^2)}{2 \cdot r_{1z} \cdot r_{2z}}\right] \quad (14)$$

У даному випадку, коли параметри V_1 , V_2 , (d, I) (дистанція та інтервал між носіями радіоприймачів в точках A і B на рис. 3) апріорно відомі, кут Δ – визначається згідно з формулою (14), а f_{np1} і f_{np2} – вимірюються, то напрями приходу сигналів та його несуча частота однозначно визначаються виразами (16) - (17) на підставі вирішення системи наведених нижче рівнянь:

$$\begin{cases} f_{np1} = f_H \left[1 + \frac{V_1}{c} \cos \alpha_1\right] \\ f_{np2} = f_H \left[1 + \frac{V_2}{c} \cos(\alpha_1 + \Delta)\right] \end{cases} \quad (15)$$

$$\alpha_2 = \alpha_1 + \Delta; \quad V_1 = V_2 = V$$

$$\Delta = \arccos\left[\frac{r_{1z}^2 + r_{2z}^2 - (d - Vt_3)^2}{2 \cdot r_{1z} \cdot r_{2z}}\right] = \arccos A_\Delta; \quad \frac{f_{np1}}{f_{np2}} = \frac{\left[1 + \frac{V}{c} \cos \alpha_1\right]}{\left[1 + \frac{V}{c} \cos(\alpha_1 + \Delta)\right]};$$

$$f_{np1} A_\Delta \cos(\alpha_1) - f_{np1} \sqrt{1 - A_\Delta^2} \sin(\alpha_1) - f_{np2} \cos \alpha_1 = \frac{c(f_{np2} - f_{np1})}{V}$$

Позначимо:

$$f_{np1} A_\Delta = f_{np1} \left[\frac{r_{1z}^2 + r_{2z}^2 - (d - Vt_3)^2}{2 \cdot r_{1z} \cdot r_{2z}}\right] = A$$

$$f_{np1} \sqrt{1 - A_\Delta^2} = f_{np1} \sqrt{1 - \left[\frac{r_{1z}^2 + r_{2z}^2 - (d - Vt_3)^2}{2 \cdot r_{1z} \cdot r_{2z}}\right]^2} = B$$

$$f_{np2} = C$$

$$\frac{c(f_{np2} - f_{np1})}{V} = G$$

$$A \cos \alpha_1 - B \sqrt{1 - \cos^2 \alpha_1} - C \cos \alpha_1 = G; \quad \cos \alpha_1 = t;$$

$$(A^2 + C^2 + B^2)t^2 + (2CG - 2AC - 2AG)t + (G^2 - B^2) = 0$$

$$t_{1,2} = \frac{-(2CG - 2AC - 2AG) \pm \sqrt{(2CG - 2AC - 2AG)^2 - 4(A^2 + C^2 + B^2)(G^2 - B^2)}}{2(A^2 + C^2 + B^2)}$$

$$\begin{cases} -1 \leq t \leq 1 \\ 0 \leq \alpha_1 \leq \pi \end{cases}$$

Введемо обмеження:

Таким чином, вирази для обчислення кута пеленгу на ДРВ та несучої частоти мають вигляд:

$$\alpha_1 = \arccos t \quad (16)$$

$$f_H = \left[1 + \frac{V}{c} \cos \alpha_1\right] f_{np1} \quad (17)$$

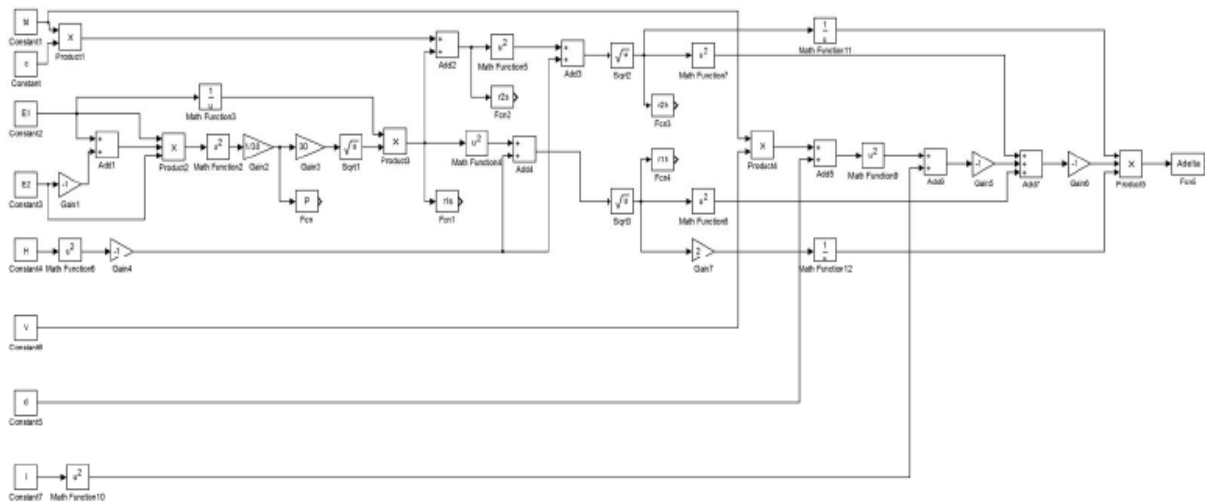


Рис. 4. Блок-схема алгоритму визначення пеленгів на ДРВ (α_1, α_2) та його несучої частоти (f_n)

Реалізація просторового положення точок прийому сигналу (А і В) відносно ДРВ (рис. 4) може бути вирішена за рахунок відповідного радіокерування носіями РПРМ та зводиться до визначення і передачі команд керування (КК) на борт веденого носія РПРМ із фіксованим запізненням відносно КК ведучого об'єкта. Ця задача характеризується тим, що керування польотом здійснюється безперервно на всій траєкторії польоту групи носіїв РПРМ.

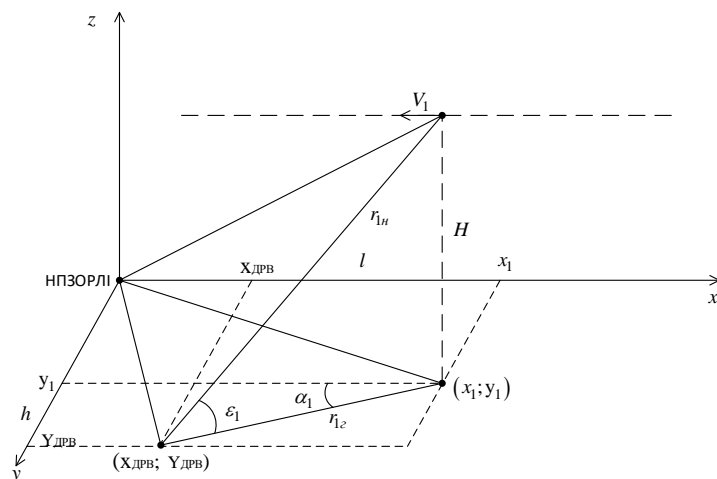


Рис. 5. Орієнтація руху РПРМ відносно вісі OX

За умови, що вісь OX системи прямокутних координат XOY, наведеної на рис. 5, орієнтована паралельно траєкторії руху приймальних елементів системи радіомоніторингу, в центрі якої розташований наземний пункт збору та обробки радіолокаційної інформації (НПЗОРЛІ), координати точки розташування джерела радіовипромінювання можуть бути розраховані таким чином:

$$\begin{cases} x_{ДРВ} = x_1 - \sqrt{r_n^2 - H^2} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{c}{V_1}\right)^2 \left[\frac{f_{np1}}{f_n} - 1\right]^2} \\ y_{ДРВ} = y_1 + \sqrt{r_n^2 - H^2} \cdot \frac{c}{V_1} \left[\frac{f_{np1}}{f_n} - 1\right] \end{cases} \quad (18)$$

Для спрощення сприйняття визначена задача розглядається в одній площині. Положення ведучого і веденого носія РПРМ визначиться у інерціальній системі координат з осями $H, P, D(\vec{V})$. Ведучий носій РПРМ (НРПРМ) рухається зі швидкістю \vec{V}_1 на висоті H_1 . Аналогічно швидкість веденого $\vec{V}_2 = \vec{V}_1$, а напрямок його руху співпадає з напрямком ведучого. З цього випливає, що кут нахилу траєкторії θ дорівнює курсовому куту ведучого. Це справедливо у випадку, якщо кут атаки дорівнює нулю. Для цього випадку кінематичні співвідношення показані на рис. 6.

Кут лінії візування на рис. 5 позначений β , відстань між ведучим та веденим – d , проекції векторів швидкості ведучого та веденого на лінію візування – $V_{\beta T}$, $V_{\beta M}$, а до нормалі до лінії візування – $V_{\alpha T}$, $V_{\alpha M}$.

Призначення системи утримання (СУТ) веденого на потрібній траєкторії (наведення) полягає у формуванні таких КК (на автопілот), які будуть забезпечувати утримання веденого за ведучим навіть при маневруванні останнього.

Припустимо, що система утримання буде відпрацьовувати вхідний сигнал, що дорівнює (пропорційний) куту лінії візування β або швидкості візування $\dot{\beta}$. За такими вхідними сигналами можлива реалізація тільки одного закону керування, що може використовуватися для утримання веденого – це переслідування. У цьому випадку ведений НПрМ завжди знаходиться прямо за ведучим, тобто $\theta = \beta$. У випадку відсутності маневру це означає, що ведений рухається з постійною бічною швидкістю, а при сталій повздовжній швидкості буде забезпечуватися «ідеальна» дистанція між двома об'єктами по прямій лінії. У відповідності до рис. 5 кінематичні співвідношення мають вигляд:

$$\begin{aligned} V_{\beta T} - V_{\beta M} &= V_T \cos(\beta - \theta_T) - V_M \cos(\beta - \theta) = \dot{d} \\ d &= d_0 + \dot{d} \Delta t \end{aligned} \quad (19)$$

а кутів відхилення

$$\begin{aligned} \dot{\beta} &= -\frac{V_{\alpha T} - V_{\alpha M}}{d} = -\frac{V_T \sin(\beta - \theta_T) - V_M \sin(\beta - \theta)}{d} \\ \beta &= \beta_0 + \dot{\beta} \Delta t \end{aligned} \quad (20)$$

Метод «чистого» переслідування буде визначатися тим, що ані ведучий, ані ведений не маневрують. При цьому $V_T = \text{const}$, а $\theta_T = 0$, $\theta = \beta$. У цьому випадку

$$\begin{aligned} \frac{d(d)}{dt} &= V_T \cos \beta - V_M = \dot{d}; \\ \dot{\beta} &= \frac{d\beta}{dt} = -\frac{V_T \sin \beta}{d} \end{aligned} \quad (21)$$

При цьому $\dot{\beta}$ буде дорівнювати нулю тільки коли $\beta = 0$ або π , тобто переслідування відбувається точно «в хвіст».

Рішення для β і кута нахилу траєкторії - θ , як функції зміни дистанції d має вигляд:

$$\frac{d(d)}{d\beta} = \left(-\text{ctg} \beta + \frac{V_M}{V_T} \text{cosec} \beta \right) d \rightarrow \frac{d(d)}{dt} = (-\text{ctg} \beta + \gamma \text{cosec} \beta) d \dot{\beta}, \quad (22)$$

де $\gamma = \frac{V_M}{V_T}$ – співвідношення швидкостей ведучого і веденого НПрМ.

Обернене перетворення виразу (22) має вигляд:

$$\ln d = -\ln |\sin \beta| + \gamma \ln \left| \text{tg} \frac{\beta}{2} \right| + \text{const} \quad (23)$$

Якщо припустити, що $0 \leq \beta < \pi$, то

$$\ln \frac{d \sin \beta}{\left(\text{tg} \left(\frac{\beta}{2} \right) \right)^\gamma} = \text{const} \quad (24)$$

або

$$\frac{d \sin \beta}{\left(\text{tg} \beta / 2 \right)^\gamma} = \frac{d_0 \sin \beta}{\left(\text{tg} \beta_0 / 2 \right)^\gamma} = k = \lambda \quad (25)$$

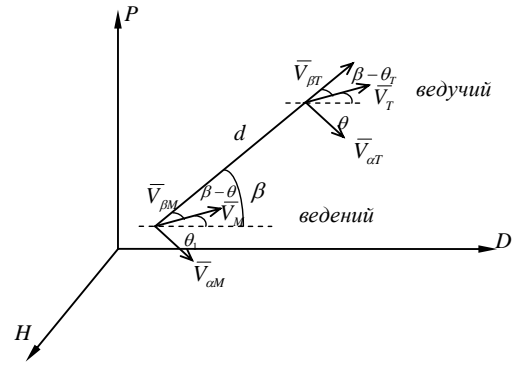


Рис. 6. Графічна інтерпретація кінематичних співвідношень при русі ведучого та веденого ДПЛА

де d_0 і β_0 – потрібні значення дистанції і кута візування веденого відносно ведучого НРПрМ.

Так як ведучий і ведений повинні бути на одній лінії, то β наближається до нуля, а $k = \lambda$ повинні бути постійними. Точний вивід «у хвіст» ведучому НРПрМ відбудеться за умови: $\beta = \theta = 0$.

$$\dot{\beta} = -\frac{V_T}{\lambda} \frac{(\sin\beta)^2}{(\operatorname{tg}\beta/2)^\gamma}$$

При цьому кутова швидкість визначиться як:

$$\dot{\beta} = -\frac{V_T}{\lambda} \frac{(\sin\beta)^2}{(\operatorname{tg}\beta/2)^\gamma}$$

На ділянці траєкторії, де $\beta \ll 1$, $\sin\beta \approx \beta$, $\operatorname{tg}\frac{\beta}{2} \approx \frac{\beta}{2}$, вираз для кутової швидкості має вигляд:

$$\dot{\beta} \approx \frac{2^\gamma (V_T)}{\lambda} - \gamma$$

Реалізація руху носіїв РПрМ паралельними курсами із встановленим інтервалом (I) та дистанцією (d) між ними, на визначених інтервалах часу моніторингу, дозволяє значно підвищити їх заводозахисність за рахунок багатопозиційного прийому локаційної інформації від джерел радіовипромінювання.

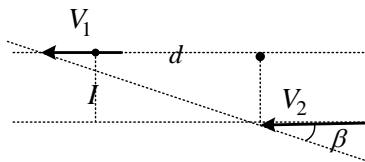


Рис. 7. Проекції траєкторій руху двох носіїв РПрМ із заданими інтервалом (I) та дистанцією (d) між ними на горизонтальну площину

При наведенні таким способом, для кожного веденого встановлюється фіксований кут β і величина I , тобто виникає постійний кут випередження (рис. 7).

На рис. 8 наведені можливі траєкторії руху НРПрМ у відповідності до значень γ .

У випадку, коли відомі НРПрМ рухаються з постійною швидкістю, вони будуть без маневру переслідувати паралельним курсом ведучий носій. Це забезпечить сталість траєкторії, тобто фіксований кут β_n . Таким чином, переслідування з фіксованим кутом також має сенс, як і випадку «чистого» переслідування, але за початкових умов, коли $\beta \leq \frac{\pi}{2}$. Для реалізації переслідування зі сталим кутом необхідна інформація стосовно співвідношення швидкостей ведучого і веденого та кута атаки. За умови сталості кута атаки, лінії візування також не будуть обертатися, тобто $\dot{\beta} = 0$. Це можливо в тому випадку, коли складова швидкості веденого V_{aT} , що розташована за нормаллю до лінії візування, урівнюється нормальною складовою швидкості ведучого $V_{\beta T}$. У цьому випадку не виникають кутові прискорення \dot{V}_{aT} , $\dot{V}_{\beta T}$ і не відбувається випередження ведених відносно ведучого.

Для реалізації такого керування, аналогічного методу паралельного зближення, КК визначаються таким чином [1, 7]:

$$\lambda = \frac{\dot{\theta}}{\dot{\beta}} \tag{26}$$

Але, за методом паралельного зближення КК існують постійно, а при методі наближення зі сталим кутом вони застосовуються за умови виникнення прискорень, тобто коли $\dot{\theta} = 0$, $\dot{\beta} = 0$. Рівень КК буде визначатися із співвідношення:

$$\theta = \lambda\beta + \theta_0, \tag{27}$$

де θ_0 – початковий кут непогодження.

При цьому, рівень КК можливо визначити через γ :

$$\sin(\beta_0 - \theta_0) = \frac{V_T}{V_M} \sin(\beta_0 - \theta_T) \Rightarrow \sin(\beta_0 - \theta_0) = \gamma \sin(\beta_0 - \theta_T) \Rightarrow \lambda = f(\gamma) \tag{28}$$

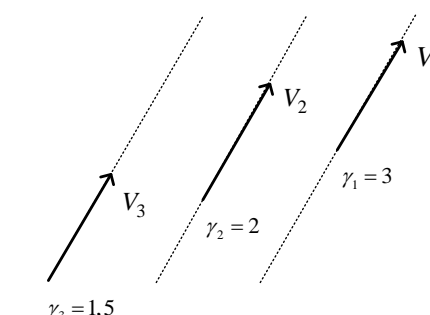


Рис. 8. Імовірні траєкторії НРПрМ відповідно до значень γ

Траєкторії руху НРПрМ при $\gamma = \frac{V_M}{V_T} = 2$ та відповідні

КК $2\lambda, 4\lambda, 6\lambda$ наведені на рис. 9.

Реалізація наведених траєкторій можлива тільки в ідеальній системі керування за будь-яких початкових умов. Для визначення опорних траєкторій необхідно допустити, що рух ведених НРПрМ здійснюється на інтервалі часу $t_n = 0 + \Delta t$ зі сталою швидкістю V_M і такими кутами нахилів траєкторій θ , щоб вони були спрямованими повздовж траєкторії ведучого НРПрМ.

Якщо $V_{\beta M}$ являє собою складову швидкості веденого НРПрМ, яка спрямована повздовж траєкторії ведучого, і бічна складова $V_{\beta T} \approx 0$, то вираз для швидкості зниження носія буде мати такий вигляд

$$\dot{d} = V_{\beta T} - V_{\beta M} = \text{const} \quad (29)$$

Звідси вираз для дистанції між веденими носіями такий

$$d = d_0 - |V_{\beta T} - V_{\beta M}|t, \quad (30)$$

де d_0 – значення початкової дистанції, за якого швидкість зближення буде сталою або дорівнювати нулю.

Час запізнення видачі КК

$$t_i = \frac{d_0}{|V_{\beta T} - V_{\beta M}|} \quad (31)$$

Але наявність кутових швидкостей НРПрМ та запізнення видачі КК призводить до відмінності реальної траєкторії від опорної. Ця відмінність у деякий момент часу t визначиться поперечним зміщенням y_t . Аналогічно повздовжне положення веденого НРПрМ буде визначатися величиною зміщення y_m . Зміщення траєкторій НРПрМ в часі характеризуватимуться і швидкостями \dot{y}_m , які визначаються флуктуаціями кута θ .

Якщо утримувати траєкторію НРПрМ в тілесному куті $\theta \ll 1^\circ$, то швидкість зміщення може бути визначена залежністю

$$\begin{aligned} \dot{y}_m &= V_M \theta \cos \theta = V_{\beta M} \theta; \\ y_t &= y_{0t} + \dot{y}_m \Delta t = y_{0t} + \dot{y}_m t_i. \end{aligned} \quad (32)$$

На практиці, реалізація погоні з кутовим зміщенням можлива на базі автопілоту (АП) з динамічною затримкою.

Якщо розглядати роботу АП як лінійного пристрою, то рівень КК з урахуванням помилок прийме вигляд:

$$\lambda = \frac{\theta}{y_m \beta} \quad (33)$$

а помилка дистанції:

$$\beta = \frac{y_t - y_m}{d}; \quad d \gg (y_t - y_m); \quad (34)$$

$$d = \frac{y_t - y_m}{\beta}$$

Помилка утримання в потрібному створі кута (ДС РПрМ):

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{\dot{y}_m}{V_{\beta M}}; \\ \theta &\ll 1^\circ. \end{aligned} \quad (35)$$

Утримання ведених на відповідній дистанції можливе за допомогою радіопроміню (РПр) (тобто на лінії візування).

У цьому випадку ведені рухаються у межах ДСА ведучого носія.

Для виконання руху повздовж лінії візування швидкість веденого $V_{\alpha M}$ повинна дорівнювати лінійній швидкості $d_T \dot{\beta}$, де d_T – відстань від ведучого до веденого. При цьому:

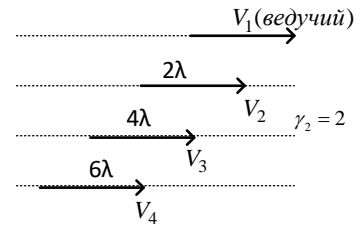


Рис. 9. Траєкторії НРПрМ при $\gamma = 2$ та та відповідних КК ($2\lambda, 4\lambda, 6\lambda$)

$$V_{\alpha M} = d_T \dot{\beta} \Rightarrow \dot{\beta} = \frac{V_{\alpha T}}{d_T} \cdot \quad (36)$$

У випадку, коли ведений рухається вздовж заданої траєкторії (знаходиться в межах радіопроменю) $d_T \approx const$, $V_{\alpha M} = 0$, тобто ситуація нагадує випадок чистого переслідування, але зі зміщенням. При сході веденого з потрібної траєкторії $d_T \neq const$; $V_{\alpha M} \neq V_{\alpha T}$, що і буде параметром непогодження для системи керування польотом (СКП) веденого НРПрМ. Основною перевагою метода переслідування зі зміщенням є його простота. Принциповим недоліком такого методу є виникнення помилок при збільшенні дистанції відставання ведених НРПрМ.

Динамічна помилка (промах) утримання ведених на потрібній траєкторії як і у випадку чистого переслідування, так і у випадку переслідування зі зміщенням має вигляд:

$$M = y_i(t_i) - y_m(t_i) \quad (37)$$

де t_i – фактичний час запізнення КК на борт веденого НРПрМ.

Час запізнення КК не повинен перевищувати часу комплексної постійної часу контуру керування аеродинамічного об'єкта T_e , тобто $t_i < T_e$, а в ідеальному випадку $t_i \ll T_e$, оскільки в загальному випадку час обробки КК і вироблення керуючих рішень буде визначатися як $t_i + T_e$, тому при t_i , на порядок меншій за T_e , задовольнить потрібну якість функціонування СКП ведених НРПрМ.

Результати оцінки точності визначення координат джерел радіовипромінювання

Розглянемо результати математичного моделювання оцінки точності пеленгування ДРВ. Зазначимо, що результати синтезу описаних вище математичних моделей вказують на те, що пеленги тригонометрично залежать від координат ДРВ і відповідно вимірювача. На графіках аналізується, для спрощення, одна координата, наприклад Y .

Оцінювання точності проведемо шляхом побудови графіків залежностей середньоквадратичного відхилення (СКВ) визначення точності координат ДРВ від часу накопичення сигналу (синтезування апертури).

В таблиці 1 подано початкові вхідні дані на моделювання. На рис. 8 прийняті наступні позначення: σ_{Y0} – СКВ отримане шляхом вимірювання без накопичення сигнали на інтервалі синтезування; σ_Y – СКВ отримане з метою визначення точності вимірювання з накопиченням сигналу на інтервалі часу синтезування апертури; $\sigma_{Y\Phi}$ – отримане з метою визначення точності вимірювання із застосуванням операції фільтрації координат ДРВ на відповідному інтервалі; σ_p – отримане з метою визначення точності вимірювання із застосуванням операції ретроспекції координат ДРВ на відповідному інтервалі.

Таблиця 1

Вхідні дані на моделювання

Вхідні умови	
T_m, c	15
$F, Гц, Гц$	375
$\vec{V}, м/с$	250
κ	4
q_0	20
β	$\pi/6$
ε	$\pi/3$
$\sigma\varepsilon$	0.00055
$\sigma\beta$	0.00055

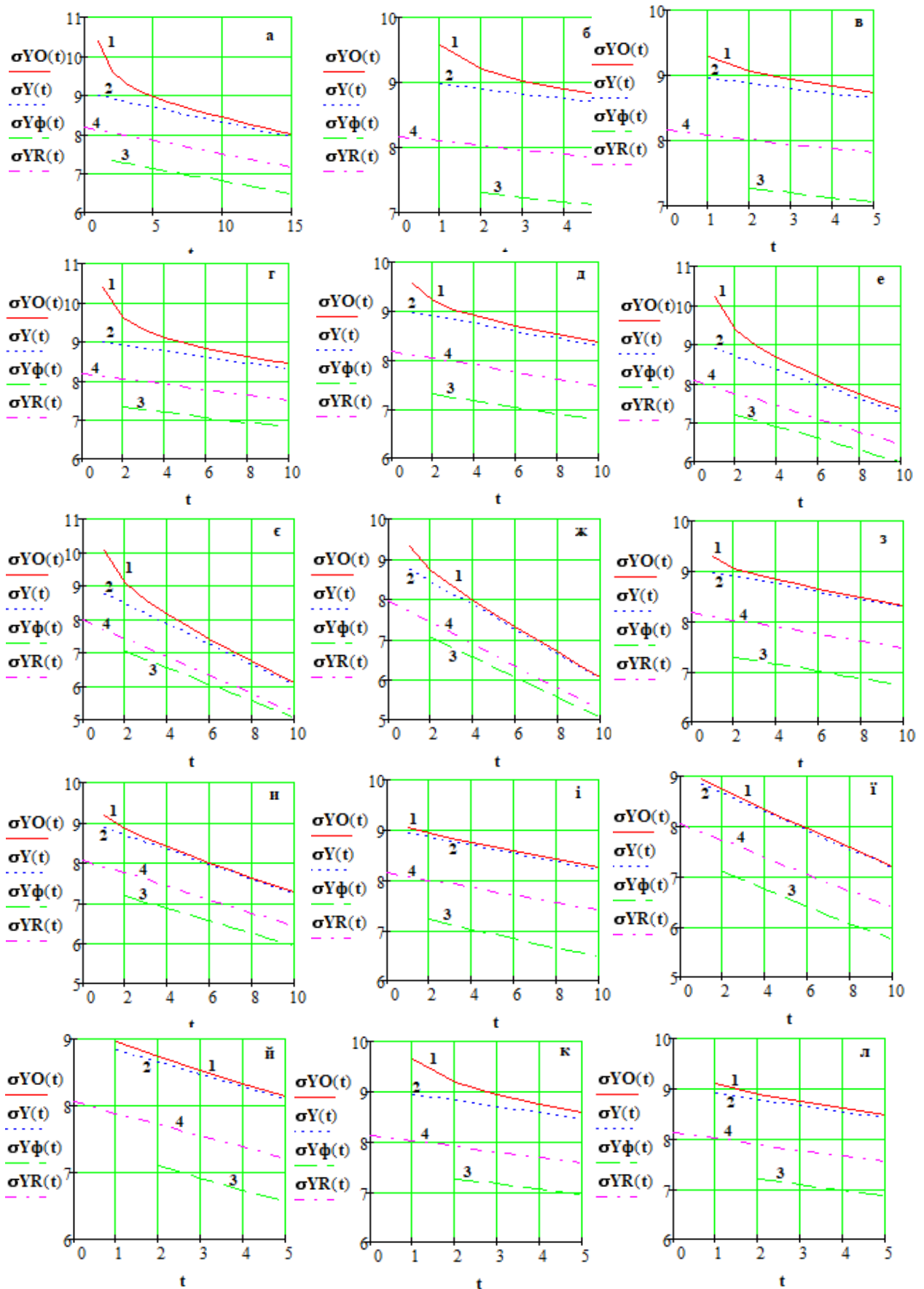


Рис. 10. Залежності СКВ визначення точності координат ДРВ від часу синтезування апертури:

а - $q_0=20$; б - $q_0=50$; в - $q_0=100$; г - $T_m=10$; д - $q_0=50, T_m=10$; е - $T_m=10, \vec{V}=600$; є - $T_m=10, \vec{V}=1000$; ж - $T_m=10, q_0=50$; з - $T_m=10, F=750, q_0=50$; и - $T_m=10, F=750, q_0=50, \vec{V}=600$; і - $T_m=10, F=1500, q_0=100, \vec{V}=250$; ї - $T_m=10, F=1500, q_0=100, \vec{V}=600$; й - $T_m=5, F=1500, q_0=100, \vec{V}=600$; к - $T_m=5, F=750, q_0=20, \vec{V}=400$; л - $T_m=5, F=750, q_0=100, \vec{V}=400$

Висновки

Метод пасивного синтезування апертури, як основний, що підвищує точність визначення координат, і такий, що може бути використаний у поєднанні з іншими методами задля підвищення ефективності систем радіомоніторингу.

На підставі вище наведеного науково-методичного апарату побудовано методику підвищення точності локації несанкціонованих джерел радіовипромінювання на основі теорії пасивного синтезування апертури.

Реалізація СА дозволяє суттєво знизити помилки пеленгів, а згладжування параметрів носія радіолокаційних засобів дає можливість додатково покращити точність визначення координат. Відносний вигравш коливається від 17 до 31.9 % залежно від вхідних параметрів.

Мобільні засоби моніторингу функціонально доповнюють стаціонарні і забезпечують гнучку підтримку ефективного радіомоніторингу при проведенні вимірювань параметрів радіовипромінювань поза зоною доступу до них. Використання мобільних систем радіомоніторингу на базі рухомих радіокерованих модулів для вирішення відповідних практичних завдань дозволяє більш успішно здійснювати контроль радіочастотного спектру і виявляти незареєстровані радіовипромінювання.

Завдання радіомоніторингу можуть бути вирішені і за допомогою використання пасивних радіолокаційних систем, до складу яких може входити не одне, а декілька рознесених в просторі радіокерованих приймальних модулів. Необхідною умовою для розв'язання задачі визначення координат ДРВ розглянутою системою є наявність не менше трьох рухомих радіоприймальних модулів на інтервалі часу моніторингу.

Розглянуті в роботі алгоритми дозволяють визначати координати джерел радіовипромінювання в пасивному режимі в умовах неспрямованого прийому. Реалізація наведених алгоритмів економічно більш доцільна в порівнянні з космічними системами радіомоніторингу, які вирішують аналогічні технічні завдання.

Ефективність застосування розглянутих в роботі динамічних моделей залежить не тільки від параметрів радіоприймальних модулів, але й параметрів сигналу джерела радіовипромінювання.

Значну роль при цьому відіграє співвідношення між параметрами руху антен радіоприймальних модулів і інтервалами когерентності сигналу. Якщо фазова структура сигналу не зруйнована на всьому просторово-часовому інтервалі моніторингу, то за рахунок використання апріорно відомої інформації про параметри руху радіолокаційних вимірювачів можна суттєво підвищити ефективність системи під час розв'язання розглянутої задачі.

Література

1. Дружинін В. А. Проблеми формування та обробки радіолокаційної інформації в системах радіобачення : монографія / В. А. Дружинін. – Київ : Логос, 2013. – 230 с.
2. Методи та алгоритми обробки і захисту інформації в радіолокаційних системах із змінною просторовою конфігурацією : монографія / В. А. Дружинін, С.В. Толюпа, В.С. Наконечний, Н.В. Цьопа, С.В. Батрак. – Київ : Логос, 2014. – 251 с.
3. Методика визначення місцезнаходження джерел радіозавод в умовах пасивної локації / В. А. Дружинін, В. І. Корсун, К. А. Соколов [та ін.] // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2019. – № 3. – С. 82–91.
4. Горбань І.І. Обробка гідроакустичних сигналів у складних динамічних умовах : монографія / І.І. Горбань. – Київ : Науково-виробниче підприємство «Видавництво «Наукова думка» НАН України», 2008. – 270 с.
5. Караваев В.В. Статистическая теория пассивной локации / В.В. Караваев, В.В. Сазонов. – М. : Радио. 1987. – 240 с.
6. Hayes M.P., Gough P.T. Synthetic aperture sonar: a review of current status. IEEE J. Ocean. Eng. 2009. V. 34. № 3. P. 207–224.
7. Autrey S.W. Passive synthetic arrays. IEEE J. Ocean. Eng. 1988. V. 84. № 2. P. 592–598.
8. Stergiopoulos S. Optimum bearing resolution for a moving towed array and extension of its physical aperture. The Journal of the Acoustical Society of America. 1990. V. 87, № 5. P. 2128–2140.
9. Edelson G.S., Tufts D.W. On the ability to estimate narrow-band signal parameters using towed arrays. IEEE Journal of Oceanic Engineering. 1992. V. 17, № 1. P. 48–61.
10. Ivanenkov A.S., Korotin P.I., Orlov D. A., Rodionov A.A., Turchin V.I. Cramer–Rao lower bound for localization of a source with partial temporal coherence using passive synthetic aperture. Proc. of the 12th European Conference on Underwater Acoustics. 2012. Edinburgh, United Kingdom. P. 564–571.
11. Parhomey I.R., Boiko J.M. and Eromenko O.I. (2016, Aug.). Features of digital signal processing in the information control systems of multipositional radar. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. 2(77): 75–84.
12. Пархомей, І.Р. Особливості функціонування радіолокаційних систем локації об'єктів з низькою поверхнею віддзеркалення / І. Р. Пархомей, Ю. М. Бойко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 5. – С. 194–201.

13. Boiko J., et. al., (2020, Aug.). Evaluation of phase-frequency instability when processing complex radar signals. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, Vol. 10, no 4: 4226–4236.
14. Науково-прикладні питання забезпечення роздільної здатності і ефективності обробки сигналів у радіотехнічних та телекомунікаційних системах за наявності завад : монографія / Ю. М. Бойко, О. М. Шинкарук, Л. В. Карпова, І. І. Чесановський. – Хмельницький : ХНУ, 2019. – 218 с.
15. Karpova L., Boiko J. and Eromenko O. Synthesis of Ambiguity Functions for Complex Radar Signal Processing, 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), Kyiv, Ukraine, 2019, pp. 1–6.

References

1. Druzhynin V. A. Problemy formuvannya ta obrobky radiolokatsiinoi informatsii v systemakh radiobachennia : monografiia / V.A. Druzhynin. – Kyiv : Lohos, 2013. – 230 s.
2. Metody ta alhorytmy obrobky i zakhystu informatsii v radiolokatsiinykh systemakh iz zminnoiu prostoroivoiu konfihuratsiieiu : monografiia / V. A. Druzhynin, S.V. Toliupa, V.S. Nakonechnyi, N.V. Tsopa, Ye.V. Batrak. – Kyiv : Lohos, 2014. – 251 s.
3. Metodyka vyznachennia mistseznakhodzhenia dzherel radiozavad v umovakh passyvnoi lokatsii / V. A. Druzhynin, V. I. Korsun, K. A. Sokolov [ta in.] // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2019. – № 3. – S. 82–91.
4. Horban I.I. Obrobka hidroakustychnykh syhnaliv u skladnykh dynamichnykh umovakh : monografiia / I.I. Horban. – Kyiv : Naukovo-vyrobnyche pidpriemstvo «Vydavnytstvo «Naukova dumka» NAN Ukrainy», 2008. – 270 s.
5. Karavaev V.V. Statystycheskaia teoriia passyvnoi lokatsyy / V.V. Karavaev, V.V. Sazonov. – M. : Radyo. 1987. – 240 s.
6. Hayes M.P., Gough P.T. Synthetic aperture sonar: a review of current status. *IEEE J. Ocean. Eng.* 2009. V. 34. №. 3. P. 207–224.
7. Autrey S.W. Passive synthetic arrays. *IEEE J. Ocean. Eng.* 1988. V. 84. № 2. P. 592–598.
8. Stergiopoulos S. Optimum bearing resolution for a moving towed array and extension of its physical aperture. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 1990. V. 87, № 5. P. 2128–2140.
9. Edelson G.S., Tufts D.W. On the ability to estimate narrow-band signal parameters using towed arrays. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*. 1992. V. 17, № 1. P. 48–61.
10. Ivanenkov A.S., Korotin P.I., Orlov D. A., Rodionov A.A., Turchin V.I. Cramer–Rao lower bound for localization of a source with partial temporal coherence using passive synthetic aperture. *Proc. of the 12th European Conference on Underwater Acoustics*. 2012. Edinburgh, United Kingdom. P. 564–571.
11. Parhomey I.R., Boiko J.M. and Eromenko O.I. (2016, Aug.). Features of digital signal processing in the information control systems of multipositional radar. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. 2(77): 75–84.
12. Parkhomei I.R. Osoblyvosti funktsionuvannya radiolokatsiinykh system lokatsii ob'ektiv z nyzkoiu poverkhnei viddzerkalennia / I. R. Parkhomei, J. M. Boiko // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2015. – № 5. – S. 194–201.
13. Boiko J., et. al., (2020, Aug.). Evaluation of phase-frequency instability when processing complex radar signals. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*. Vol. 10, no 4: 4226–4236.
14. Naukovo-prykladni pytannia zabezpechennia rozdilnoi zdutnosti i efektyvnosti obrobky syhnaliv u radiotekhnichnykh ta telekomunikatsiinykh systemakh za naiavnosti zavad : monografiia / J. M. Boiko, O. M. Shynkaruk, L. V. Karpova, I. I. Chesanovskiy. – Khmelnytskyi : KhNU, 2019. – 218 s.
15. Karpova L., Boiko J. and Eromenko O. Synthesis of Ambiguity Functions for Complex Radar Signal Processing, 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), Kyiv, Ukraine, 2019, pp. 1–6.

Рецензія/Peer review : 17.5.2020 р.

Надрукована/Printed : 16.6.2020 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

А.О. БОНДАРЄВА, О.Р. МОКРОУСОВА

Київський національний торговельно-економічний університет

О.А. ОХМАТ

Київський національний університет технологій та дизайну

РОЗРОБКА ТА ВИКОРИСТАННЯ ГІБРИДНИХ ПІГМЕНТІВ У ПОКРИВНОМУ ОЗДОБЛЕННІ ШКІР

Стаття присвячена розробці та використанню пігментів на основі монтморилоніту та аніонних барвників у покривному оздобленні шкір. Показано, що послідовна модифікація монтморилоніту лужними пептизаторами, гідроксокомплексами хрому забезпечує ефективну адсорбцію аніонних барвників різних кольорів і, таким чином, дозволяє отримати гібридні пігменти, розширити кольорову гаму і покращити їх властивості. Гібридні пігменти характеризуються насиченим та інтенсивним забарвленням, високою покривною здатністю, стійкістю до розшарування у часі та при різному рН та забезпечують високі показники якості оздоблювального покриття на шкірі.

Ключові слова: монтморилоніт, аніонний барвник, модифікація, адсорбція, пігмент, покриття, оздоблення шкір.

A.O. BONDARYEVA, O.R. MOKROUSOVA

Kyiv National University of Trade And Economics

O.A. OKHMAT

Kyiv National University of Technologies And Design

PREPARATION AND APPLICATION OF HYBRID PIGMENTS FOR FINISHING LEATHER

The aim of the research is the development of a hybrid pigment based on modified montmorillonite and anionic dyes for effective coating of genuine leather. The efficiency of adsorption of anionic dyes on cationic montmorillonite is investigated. Was identified a high level of adsorption of anionic dyes at pH 5-6.5. The role of the dye structure, the level of the critical concentration of micelle formation on the dye adsorption on the surface of montmorillonite is provided. It is proposed to use a stepwise modification of montmorillonite with hydroxochrome complexes, followed by adsorption of anionic dyes on its cationic surface to obtain hybrid pigments. The optimal composition of hybrid pigments, which are characterized by intensity and color stability in a wide range of pH, is proposed. Hybrid pigments are resistant to deposition and delamination over time, have a high coating ability and pH level for effective combination with film formers in the coating composition for leather finishing. The optimal composition of hybrid pigments of black, dark green and blue colors is proposed. The obtained pigments are used for the coating of leather, as a result of which high indicators of coating quality are achieved.

Key words: montmorillonite, anionic dye, modification, absorption, pigment, coating, leather finishing.

Вступ

Покривне оздоблення займає важливе місце в технологічному процесі виготовлення натуральних шкір та забезпечує надання шкірі необхідних естетичних, гігієнічних та фізико-механічних властивостей [1, 2]. В результаті покривного оздоблення шкіра набуває рівномірного забарвлення по всій площі, гарного зовнішнього вигляду, блиску або матовості лицьової поверхні, різноманітного фантазійного сполучення декількох відтінків кольорів. Завдяки досягненню адгезії покриття до шкіри, стійкості покривної плівки до сухого і мокрого тертя, до розтягування, до багаторазових вигинів, до дії води, світла, високих і низьких температур, забезпечуються фізико-механічні властивості шкір. Також важливими є збереження гігієнічних властивостей шкіри, а саме, паропроникності, повітропроникності, які після нанесення оздоблювального полімерного покриття можуть набути зниження рівнів.

Значна увага до ролі покривного оздоблення шкір обумовлена також асортиментом шкір, що випускають світові та вітчизняні підприємства. Значна доля у загальному випуску шкір близько 90 % належить лицьовим та шліфованим шкірам, і тільки 5–10 % випуску – це ворсові шкіри [3]. Низька якість лицьової поверхні шкір, наявність значної кількості дефектів, спонукає виробництво шляхом оздоблювальних процесів підвищувати якість шкір через зішліфовування (часткового або повного) лицьової поверхні, впровадження методів механічного тиснення або нарізання мереживки, імітації структури різних матеріалів (деревини, каменя, штучних поверхонь тощо). В даному випадку важливу роль відіграють полімерні покривні композиції, які можуть забезпечити як тонкошарове безбарвне захисне покриття, так і створити значну товщину штучної лицьової поверхні шкіри.

Традиційне оздоблення шкір передбачає нанесення покривного шару для захисту її лицьової поверхні від зовнішніх атмосферних та механічних впливів [4]. Покриття, яке наносять для оздоблення лицьової поверхні шкіри у вигляді покривної композиції, містить такі складові: полімерний плівкоутворювач, який формує покривну плівку; пігмент, який забарвлює у необхідний колір покривну плівку; воскову емульсію, яка надає покриттю блиск та гідрофобність; пластифікатор для зниження жорсткості покривної плівки або підвищення морозостійкості; диспергатор або емульгатор для стабілізації покривної композиції. Найбільша масова частка в покривній композиції належить плівкоутворювачу та пігментному концентрату, що обумовлює їх вирішальне значення для формування якісного та забарвленого покривного оздоблення шкіри.

Серед плівкоутворювачів найбільш поширені у використанні поліакрилати та поліуретани [5, 6]. Поліуретанові плівкоутворювачі здатні забезпечувати високу стійкість до фізико-механічних навантажень, мають достатньо гнучкі ланцюги та легко піддаються модифікуванню. Враховуючи, що поліуретани є полярними матеріалами, вони проявляють стійкість до неполярних органічних розчинників, жиромістких матеріалів. Поліуретани характеризуються високою хімічною стійкістю. Поліакрилати здатні забезпечувати у покритті твердість, гнучкість, стійкість до органічних розчинників, блиск тощо. Вони надають хорошу водостійкість покриттю, але не забезпечують високої хімічної та стійкості до фізичних навантажень.

Покривне оздоблення залежно від вмісту пігменту поділяють на три види [1, 2, 7]: анілінове – прозоре покриття без використання пігментів; напіванілінове – характеризується незначним вмістом пігментів для надання, переважно, відтінку; та пігментоване – зі значним вмістом пігментів для повної укривності лицьової поверхні шкіри забарвленим покривним шаром.

Пігменти забезпечують колір і криючу здатність покриттю [8]. В практиці оздоблення шкір використовують пігментні концентрати, які містять пігмент, зв'язуючу речовину або загущувач, диспергатор, пластифікатор, антисептик та розчинник. В покривному оздобленні шкір використовують органічні або неорганічні пігменти. Органічні пігменти характеризуються достатньо значною площею поверхні, але під час технологічного процесу оздоблення можуть ускладнювати механічні операції [4, 8]. Для формування покривної композиції є необхідність дозування більшої кількості зв'язуючих речовин, а покриття характеризується низькою світлостійкістю та термостійкістю. При цьому покривні композиції з органічними пігментами відрізняються блиском, яскравістю кольорів. Неорганічні пігменти створюють високоякісне покриття з хорошою світлостійкістю до води, але характеризуються високою схильністю до седиментації та обмежені за кольором і яскравістю [4, 8].

Для забезпечення зазначених ефектів зазвичай використовують суміші пігментів, що також дозволяє створити широку кольорову гаму покриттів [4]. Пігменти повинні бути нерозчинними у воді, органічних розчинниках, пластифікаторах та воскових емульсіях, щоб уникнути міграції з наступною зміною кольору та світлостійкості. Здатність покриття до утворення рівномірної стійкої у часі покривної композиції з подальшим формуванням необхідної товщини шару залежить від властивостей пігменту, природи їх поверхні та розміру частинок.

Сучасний пігментний концентрат представляє собою багатокомпонентну композицію, кожний елемент якої спрямований на надання стабільності концентрату, кольору, хорошої здатності до поєднання з плівкоутворювачами [4, 7].

В даному аспекті перспективним є напрям створення гібридних пігментів або нанокомпозитів для покривного оздоблення шкір на мінеральній основі, а саме, монтморилоніту [7, 9, 10].

Екологічність та економічність використання мінералу відкриває можливості отримання гібридних пігментних концентратів різного кольору, насиченого забарвлення та полімер-мінеральних нанокомпозитів з покращеними технологічними властивостями (термостійкість, еластичність, хороша криюча здатність) [11–16]. Висока дисперсність монтморилоніту, здатність до тиксотропії сприяє отриманню гібридних пігментів і стабільних у часі полімерних покривних композицій на їх основі.

Відомо, що органічно-неорганічний пігмент на мінеральній основі гідрокальциту та азобарвників рекомендується для створення полімерних композитів в якості наповнювача або для надання глибокого інтенсивного кольору. Такий пігмент характеризується високою термостабільністю, що обумовлює підвищення стійкості до горючості здатність покриттів. Також поєднання пігменту з плівкоутворювачами сприяє підвищенню фізико-механічних характеристик покриття [11].

Підвищення яскравості та інтенсивності кольору, стійкості до атмосферних явищ, висока агрегативна стійкість характерна для зафарбованих нанопігментів на основі глини [12]. Автори відмічають характерне явище інтеркаляції нанопігменту в полімерному покритті та рівномірне розподілення частинок наноглини в полімерному середовищі [12].

Використання нанокомпозитів на основі монтморилоніту змінює реологічну поведінку полімерних систем. Характерним стає домінуюча еластична поведінка та висока фізична стійкість системи «полімер-нанокомпозит». Також виявлено гідрофобний ефект, який забезпечує нанокомпозит на основі монтморилоніту в складі полімерного покриття [13].

Отримані нанокомпозитні полімерні емульсії проявляють хорошу здатність до плівкоутворення та підвищують еластичність покриття під час оздоблення лицьової поверхні натуральних шкір для одягу [14].

Автори відмічають, що шляхом використання монтморилоніту вирішується проблема отримання стійких нанокомпозитних полімер/ОММТ латексів. Отриманий нанокомпозитний латекс є агрегативно стабільним і сприяє формуванню тонкого покриття через нанорозмірні характеристики частинок мінералу [15]. Нанокомпозитні латекси є електростатично стійкі та надають підвищену температурну стійкість покриттю [16].

В цілому, згідно з аналізом наукових розробок [11–16] щодо ефективності застосування монтморилоніту у покривному оздобленні шкір виявлено, що шляхом модифікації монтморилоніту різнофункціональними речовинами можна отримати гібридні пігментні концентрати, які характеризуються нанорозмірністю частинок, яскравістю та насиченістю кольору, широкою кольоровою гамою. В складі полімерного покриття монтморилоніт забезпечує агрегативну та електростатичну стійкість полімерної системи, здатен покращувати фізико-механічні властивості отриманого покриття, підвищувати його

термостійкість. Все зазначене свідчить про перспективність застосування монтморилоніту для створення гібридних пігментів для оздоблення шкір.

В даній роботі синтез широкої кольорової гама гібридних пігментів для шкіряної промисловості є можливим шляхом адсорбційного щеплення різних аніонних барвників на поверхні позитивно-зарядженого монтморилоніту після його модифікації.

Мета роботи – розробка пігментів на основі монтморилоніту та аніонних барвників для ефективного застосування в покривному оздобленні шкір.

Методи і матеріали дослідження. Для отримання гібридних пігментів використано бентонітову глину – $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (ГОСТ 28177–89, Дашуківське родовище, Черкаська область, Україна). Основний мінерал бентонітової глини – монтморилоніт, вміст – 85 ± 3 %. Величина обмінної ємності – 72 мг-екв/100 г глини. При заміні іон-обмінного комплексу на іон натрію дає стабільні у часі суспензії. Вологість – 27 ± 3 %.

Для отримання максимально диспергованих дисперсій монтморилоніту, бентонітову глину після ретельного очищення та відмивання переводили в Na-форму шляхом введення в водну дисперсію монтморилоніту концентрацією 100 г/л карбонату натрію з витратою 6 % від маси мінералу.

Для забезпечення ефективної катіонної форми монтморилоніту для модифікації дисперсії використано гідроксохромові комплекси, а саме, основний хромовий дубитель – $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_n(\text{OH})_{6-2n}$, (ТУ 645РК5604173ОАО-001-2001, Казахстан, Актюбінський завод хромових сполук), порошок зеленого кольору, добре розчинний у воді, вміст оксиду хрому (III) 25,6 %, сухий залишок 89,49 %, основність 33 %. Для модифікації монтморилоніту до його дисперсії Na-форми вводили розчин основного сульфату хрому в кількості 10,0-12,0 % від маси мінералу в перерахунку на Cr_2O_3 . Перемішування тривало 120 хв до отримання однорідної маси сіро-голубого кольору. РН модифікованої дисперсії монтморилоніту катіонної форми складало 4,3-4,5.

Для адсорбції на катіонній поверхні монтморилоніту використовували найбільш типові для виробництва шкіри аніонні барвники: аніонний темно-зелений; аніонний чорний; аніонний жовтий; аніонний синій; барвалан синьо-чорний; барвалан яскраво-червоний. Фізико-хімічні характеристики аніонних барвників представлені в табл. 1.

Пігментні концентрати готували шляхом поступового змішування модифікованої катіонної форми монтморилоніту з барвником. Перемішування проводили з використанням механічної мішалки протягом 30–40 хв за температури 40–45 °С до отримання стійких у часі дисперсій у вигляді концентратів насиченого глибокого кольору. РН отриманих пігментних концентратів – 5,8-6,0.

Максимальну кількість барвника, адсорбованого на монтморилоніті, визначали методом паперової хроматографії за появою на фільтрувальному папері слабо зафарбованого дифузного кільця навколо краплі мінеральної композиції. Для цього до наважки глини (1 г) у вигляді дисперсії 20 г/л при постійному перемішуванні додавали розчин барвника концентрацією 20 г/л. При цьому були приготовлені зафарбовані дисперсії монтморилоніту з витратою аніонних барвників в кількості 25 %, 50 %, 75 % та 100 % барвника від маси сухого мінералу. Далі краплю отриманої композиції наносили на фільтрувальних папір. Коли дифузне кільце зафарбовувалось у колір барвника, розраховували максимальну кількість адсорбованого барвника на модифікованому монтморилоніті і якість адсорбції [17].

Адсорбцію барвників з водних розчинів на катіонній формі монтморилоніту визначали шляхом додавання до однакових наважок (0,1 г) монтморилоніту у вигляді 20 % дисперсії по 100 мл розчинів барвника з різною концентрацією ($2,5 \times 10^{-5}$ – $1,0 \times 10^{-3}$ моль/л), суміш періодично струшували протягом 24 годин. Вимірювання виконували з використанням спектрофотометра ULAB102uv при довжині хвилі 500 ± 10 нм. Аналіз проводили шляхом вимірювання показника світлопропускання розчинів барвників різної концентрації. За показниками досліджень будували градуіровочні криві залежностей оптичної густини (D_0) від концентрації барвника (C_0) для вихідних розчинів. Після взаємодії барвника з монтморилонітом визначали оптичну густину розчину барвника (D_p), а за градуіровочною кривою – рівноважну концентрацію барвника у розчині – C_p . За отриманими даними розраховували адсорбцію барвника на катіонній формі монтморилоніту (ммоль/г) за формулою:

$$A = (C_0 - C_p) / H \times V_0 \times 1000,$$

де C_0 – початкова концентрація барвника у розчині;

C_p – концентрація барвника у розчині після взаємодії з монтморилонітом;

H – наважка монтморилоніту в перерахунку на суху речовину, г;

V_0 – об'єм розчину барвника, л [17].

Покривні фарби для оздоблення шкір готували шляхом змішування гібридних пігментів з плівкоутворювачем. В якості плівкоутворювача була використана акрилова емульсія Меліо Резин 820.

Покривні композиції готували шляхом послідовного введення в ємність пігменту, воскової емульсії, води та після ретельного перемішування додавали акрилову емульсію полімеру 20-відсоткової концентрації та решту води до робочої густини покривної композиції $1,050$ – $1,060$ г/см³.

Ефективність використання гібридних пігментів оцінювали за показниками якості покриття на шкірі згідно традиційних методів [18].

Фізико-хімічні характеристики барвників

Аніонний темно-зелений, Mr 863	
Аніонний чорний, Mr 859	
Аніонний жовтий, Mr 710	Аніонний синій Mr 637
Барвалан синьо-чорний, Mr 836	Барвалан яскраво-червоний, Mr 794

Результати дослідження та їх обговорення. В основі ідеї отримання гібридних пігментів шляхом адсорбції аніонних барвників на поверхні частинок модифікованого монтморилоніту лежить їх енергетична ненасиченість, яка після катіонування зумовлює інтенсивне притягування молекул дисперсійного середовища та утворення мономолекулярного шару за допомогою водневих зв'язків. Якщо дисперсне середовище представлено розчином барвника, то можна передбачити високу адсорбцію і взаємодію барвника з частинками модифікованого монтморилоніту.

Для досягнення високого рівня адсорбції барвників на поверхні мінералу важливо досягти максимального значення позитивного заряду, тобто забезпечити катіонування поверхні частинок або їх «перезарядку». Як зазначено в роботі [19] максимальний ефект перезарядки поверхні частинок мінералу можна досягти шляхом надеквівалентної адсорбції гідроксокомплексів багатозарядних металів (Al^{3+} , Fe^{3+} , Cr^{3+} , Zr^{4+} , Ti^{4+} тощо) [20, 21]. Сполуки Cr (III) широко використовуються як дубителі шкір через високу здатність до комплексоутворення. Вони мають максимально розвинену схильність до гідролізу та комплексоутворення з виникненням реакційно-здатних поліядерних позитивно заряджених гідроксокомплексів, тому здатні забезпечити в певному інтервалі pH 3,9-6,9 отримання стійких катіонних форм монтморилоніту. В результаті модифікації монтморилоніту комплексними сполуками Cr (III) через неоднорідне розклинювання структури гідроксохромовими катіонами різного розміру відбувається скошування силікатних шарів, переважно, в крайових ділянках алюмосилікатних пакетів, та забезпечує формування розвиненої мікро- та мезопористої турбостратної структури. Про це свідчать встановлене різке збільшення питомої поверхні модифікованого гідроксокомплексами хрому монтморилоніту з 95 до 260 м²/г [19].

Дослідження електроповерхневих характеристик модифікованого гідроксокомплексами хрому монтморилоніту виявили, що в інтервалі pH 4,3-6,2 поверхня частинок мінералу набуває максимального позитивного заряду, що є результатом надеквівалентної специфічної адсорбції полімеризованих іонних форм хрому з розчину (табл. 2).

Така специфічна адсорбція модифікує поверхню монтморилоніту, забезпечує формування високорозвиненої питомої поверхні катіонної форми, суттєво збільшує ємність обміну мінералу, що є позитивним для подальшої ефективної адсорбції аніонного барвника на його поверхні. Підвищення рівня pH

обумовлює повернення аніонного заряду поверхні частинок мінералу, що може бути пов'язано з руйнуванням гідросокомплексу хрому і утворення гідроксиду хрому [22].

Таблиця 2

Вплив рН на рівень ζ -потенціалу модифікованого гідросокомплексами хрому монтморилоніту

рН	ζ , мВ	рН	ζ , мВ
2,0	+4,0	6,2	+13,5
3,0	+1,5	7,0	-10,0
3,8	+2,0	8,5	-18,0
4,3	+4,5	9,0	-27,5
4,6	+10,3	10,0	-29,0
5,4	+19,0	11,0	-25,1

Для отримання гібридних пігментів як базову основу було використано катіонну форму монтморилоніту, модифікованого гідросокомплексами хрому (III) з витратою останніх 10–12 % від маси мінералу та рівнем рН отриманої дисперсії 4,5–5,4 для досягнення максимального рівня подальшої адсорбції аніонного барвника.

В результаті обробки катіонної форми монтморилоніту розчинами аніонних барвників різного хімічного складу визначено ефективність адсорбції аніонних барвників на частинках мінералу (табл. 3).

Таблиця 3

Ефективність адсорбції аніонних барвників на монтморилоніті

Вид барвника	Молекул ярна маса	Витрати барвника, % від маси абсолютно сухого мінералу			
		25	50	75	100
Аніонний темно-зелений	863	-	-	-	+
Аніонний чорний	859	-	-	-	+
Аніонний синій	637	-	-	+	+
Аніонний жовтий	710	+	+	+	+
Барвалан синьо-чорний	794	+	+	+	+
Барвалан яскраво-червоний	836	+	+	+	+

+ – поява забарвленого кільця навколо проби модифікованого монтморилоніту

-- відсутність забарвлення паперу навколо проби модифікованого монтморилоніту

Візуально було встановлено низький рівень адсорбції таких барвників: барвалан яскраво-червоний, барвалан синьо-чорний та аніонний жовтий. Про це свідчить відсутність забарвлення монтморилоніту в колір барвника після її відокремлення від дисперсійного середовища. Навіть при дозуванні 25 % аніонних барвників від маси мінералу не відбувалось забарвлення твердої фази в колір барвника. Однак в результаті використання барвників аніонного темно-зеленого та аніонного чорного відбувалось повне забарвлення дисперсної фази в колір барвника, що свідчить про здатність адсорбуватись на поверхні монтморилоніту часток барвника та взаємодіяти між собою в більшій мірі. Тільки при дозуванні 100 % барвника від маси мінералу відбувалось незначне зафарбовування дифузійного кільця під час проведення паперової хроматографії, що свідчить про максимальний рівень адсорбції барвника. Дослідженнями не виявлено впливу молекулярної маси барвника на інтенсивність адсорбції. Ймовірно, що вирішальне значення обумовлено присутністю різноманітних реакційно здатних груп барвника (-OH, -COOH, -NH₂, -SO₃H), через які може відбуватися взаємодія з частинками монтморилоніту.

За результатами паперової хроматографії встановлено, що барвники аніонний темно-зелений, аніонний чорний та аніонний синій здатні осаджуватись і адсорбуватись на поверхні монтморилоніту при витратах 100 % від маси абсолютно сухого мінералу, тобто при співвідношенні монтморилоніт : барвник як 1 : 1, що враховано при отриманні гібридних пігментів.

За результатами досліджень встановлено рівень адсорбції барвників аніонного чорного, аніонного синього та аніонного темно-зеленого та отримано ізотерми адсорбції цих барвників на частинках модифікованого монтморилоніту, що представлено на рис. 1. Враховуючи те, що адсорбція є функцією концентрації барвника, рН, концентрації електроліту, концентрації твердої фази та температури, при виконанні досліджень температура, рН, концентрація електроліту та твердої фази були постійними.

Слід відмітити, що характер адсорбції для всіх барвників відповідає кривій Ленгмюра (рис. 1). На початку криві характеризуються стрімким зростанням, відбувається адсорбція молекул барвника на поверхні частинок монтморилоніту за рахунок електростатичної взаємодії катіону хрому з аніоном барвника. Далі досягається пік кривої, відбувається насичення поверхні мінералу молекулами барвника та нейтралізація заряду поверхні монтморилоніту. Завершується взаємодія монтморилонітом полімолекулярною адсорбцією барвника за рахунок Ван-дер-Ваальсових сил.

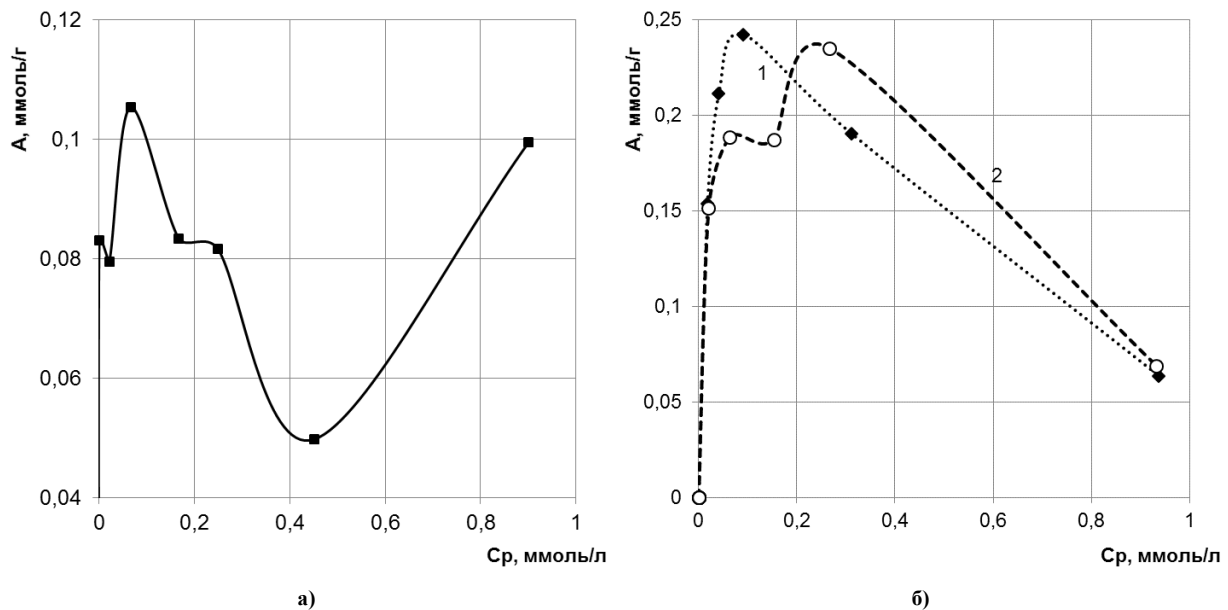


Рис. 1. Ізотерма адсорбції на монтморилоніті барвників аніонного чорного (а), аніонного темно-зеленого (б, крива 1) та аніонного синього (б, крива 2)

Порівняння ізотерм адсорбції різних барвників (рис. 1) вказує на максимальну адсорбцію у випадку застосування аніонного темно-зеленого (крива 1, рис. 1б). Незважаючи на те, що адсорбція всіх барвників зростає, найменший максимум адсорбції спостерігається для аніонного чорного барвника (рис. 1а). Це явище можна пояснити більш раннім міцелоутворенням в розчинах аніонного чорного. Прояв стеричного фактору при адсорбції його асоціатів у щільних мікропорах катіонної форми монтморилоніту настільки суттєвий, що величина його адсорбції мінімальна. Саме стеричними ускладненнями пояснюється факт більш низького рівня адсорбції барвників з міцелярних розчинів, ніж з молекулярних.

Але підвищення концентрації аніонного чорного вище 0,4 ммоль/г викликає дуже стрімку полімолекулярну адсорбцію (незворотну), що є позитивним при отриманні пігменту.

Зростання концентрації барвників аніонного синього та аніонного темно-зеленого викликає в подальшому зниження рівня адсорбції барвника, що може бути обумовлено переважаючим міцелоутворенням.

Слід зазначити, що для всіх обраних аніонних барвників візуально було встановлено отримання пігменту насиченого, інтенсивного кольору, особливо в разі використання барвника аніонного чорного.

Для виявлення оптимальних умов отримання гібридних пігментів було досліджено вплив рН середовища на ефективність сорбції поверхнею модифікованого монтморилоніту аніонних барвників. Представлені дані (рис. 2) свідчать, що максимальна адсорбція відбувається в межах рН 5-6,5, що підтверджується даними ζ -потенціалу табл. 1.

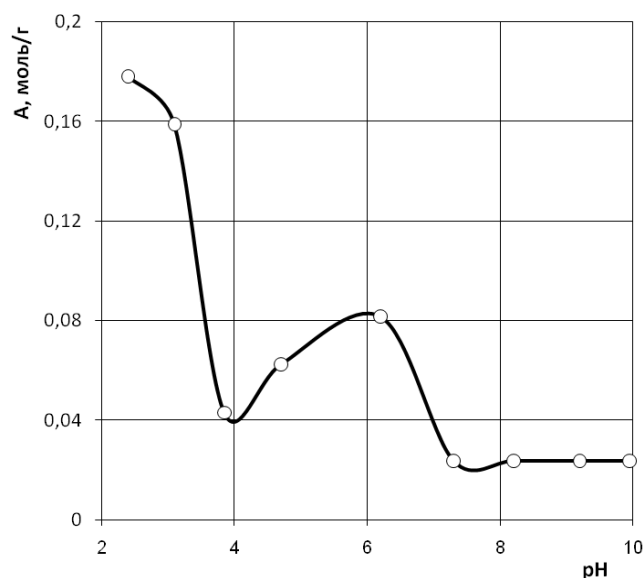


Рис. 2. Вплив рН середовища на рівень адсорбції на монтморилоніті барвника аніонного чорного

Явний ріст адсорбції аніонного чорного при подальшому зменшенні рН до 2,0 пояснюється пригніченням дисоціації його кислотних функціональних SO_3H -груп, різким зменшенням розчинності та осадженням барвника. Зменшення адсорбції та вихід її на плато при зсуві $\text{pH} \geq 7$ у більш лужну зону пов'язано з перетворенням складу гідроксохромових комплексів та повторною перезарядкою поверхні монтморилоніту з катіонної форми на аніонну, що вказує на зміну знаку заряду поверхні з позитивного на негативний.

Однак слід зазначити, що отриманий в результаті адсорбції аніонного чорного на поверхні катіонної форми монтморилоніту пігмент чорного кольору є стійкими в межах рН 3-10, при цьому не було виявлено десорбції барвника. З хімічної точки зору, це можна пояснити тим, що наявність на поверхні модифікованого монтморилоніту олігокатіонів хрому з сильною комплексоутворювальною здатністю допускає утворення комплексних сполук між ними та функціональними групами аніонних барвників (наприклад, $-\text{SO}_3\text{H}^+$), що виступають у ролі лігандів. З іншого боку, внаслідок електростатичних та координаційних взаємодій можливе утворення нерозчинних милоподібних комплексних сполук барвників з поверхневими олігокатіонами хрому типу: $\text{MMT}-\text{Cr}^{n+} \dots \text{O}_3\text{S}-\text{Rn}$. Саме цим, ймовірно, і пояснюється незворотність адсорбції барвників та висока стабільність зафарбовування отриманих пігментів, які не знебарвлюються при зміні рН.

Виявлені закономірності підтверджують ефективність отримання гібридних пігментів, які характеризуються інтенсивністю та стійкістю забарвлення в широкому спектрі рН, що є позитивним у прогнозуванні показників якості покривних фарб для оздоблення шкір в разі використання плівкоутворювачів з вузьким рН-інтервалом стійкості, переважно, в межах рН 7,5-8,0. Зазначене вказує на високу спорідненість до плівкоутворювачів, що не буде викликати коагуляцію останнього під час приготування покривних композицій.

Відповідно до проведених досліджень запропоновано склад гібридних пігментів, що представлено в табл. 4.

За представленим складом, в результаті адсорбції барвників аніонного чорного, аніонного темно-зеленого та аніонного синього були отримані гібридні пігменти чорного, темно-зеленого та темно-синього кольорів, які характеризувались інтенсивністю відтінку та насиченістю кольору. Властивості отриманих пігментів представлені в табл. 5.

Таблиця 4

Склад гібридних пігментів

Складова пігменту	Вміст, мас. %
Монтморилоніт	10,0
Карбонат натрію	0,6
Основний сульфат хрому, в перерахунку на Cr_2O_3	1,0
Аніонний барвник	10,0
Вода	решта

Таблиця 5

Властивості пігментних концентратів

Показник якості пігменту	Пігмент / колір		
	Чорний	Темно-зелений	Темно-синій
Сухий залишок, %	22,9	21,1	23,7
Осаджувальність, %	Не виявлено		
Покривність, г/м^2	12,0	14,0	16,0
рН	6,0	5,8	5,9
Стійкість до розшарування	250 діб і більше		

Отримані гібридні пігменти були використані для оздоблення лицьових шкір для верху взуття за методикою [23] у вигляді покривних композицій із вмістом пігменту та плівкоутворювача у співвідношенні 1 : 5 відповідно. Приготування покривних композицій здійснювали згідно складу (табл. 6) шляхом змішування пігменту та акрилового плівкоутворювача, додатково в склад покривних композицій вводили воскову емульсію та казеїн.

Таблиця 6

Склад покривних композицій

Складова покривної композиції	Вміст, мас. %
Пігмент	10,0
Плівкоутворювач	50,0
Казеїн (10-відсотковий розчин)	5,0
Воскова емульсія	3,0
Вода	30,0

Після отримання покривних композицій було здійснено оздоблення шкір за стандартною методикою [23] та оцінено якість покриття на шкірі (табл. 7).

Таблиця 7

Показники якості оздоблювального покриття на шкірі

Показники	Пігмент / колір		
	Чорний	Темно-зелений	Темно-синій
Адгезія, Н/м - сухий стан - мокрий стан	490	460	430
	220	240	200
Товщина покривної плівки, г/м ²	25,7	23,5	26,7
Стійкість до багаторазових вигинів, бали	5	5	5
Стійкість до мокрого тертя, об.	560	890	550

Використання отриманих пігментів у складі покривної композиції сприяє отриманню шкір з високими органолептичними характеристиками лицьової поверхні, а саме, об'ємність мереживки, зернистість, приємний гриф.

За показниками якості покриття, шкіри всіх варіантів оздоблення відповідають вимогам стандарту [24].

Покриття на основі отриманих пігментів характеризуються високою адгезією до сухої і мокрої шкіри на рівні 430–490 Н/м, що обумовлено характером взаємодії частинок монтморилоніту з аніонним барвником та рівнем впливу мінеральної складової на структурування та пластифікацію покривної композиції на основі акрилового плівкоутворювача. Слід відмітити, достатньо високу стійкість покриття до мокрого тертя шкір на рівні 550–890 обертів, що перевищує вимоги стандарту.

В цілому, можна зробити висновок, що використання пігментів на основі модифікованого монтморилоніту та аніонних барвників сприяє отриманню високоякісного покриття на шкірі з хорошими експлуатаційними показниками при здешевленні вартості пігментних концентратів та зменшених витратах покривної фарби для оздоблення.

Висновки

Стаття присвячена розробці пігментів на основі монтморилоніту та аніонних барвників для ефективного застосування в покривному оздобленні шкір.

В роботі досліджено ефективність адсорбції аніонних барвників на поверхні позитивно-зародженого монтморилоніту, для чого здійснювали його модифікацію гідроксохромовими комплексами шляхом використання основного сульфату хрому. Виявлено високий рівень адсорбції барвників аніонного чорного, аніонного темно-зеленого та аніонного синього, які широко використовуються в шкірній промисловості. Показано роль структури барвника, його функціональних груп та рівня критичної концентрації міцелування на рівень адсорбції барвника на поверхні монтморилоніту, що є проявом стеричного фактору адсорбційної здатності його асоціатів у щільних мікропорах катіонної форми мінералу.

Виявлено вплив рН на рівень адсорбції барвників в межах 5-6,5, що узгоджується з максимальним рівнем ζ -потенціалу монтморилоніту, модифікованого гідроксокомплексами хрому. Запропоновано використовувати постадійну модифікацію монтморилоніту з наступною адсорбцією аніонних барвників на його позитивно-зарядженій поверхні для отримання гібридних пігментів.

Запропоновано оптимальний склад гібридних пігментів чорного, темно-зеленого та синього кольорів, які характеризуються інтенсивністю та стійкістю забарвлення в широку спектрі рН, є стійкими до осадження та розшарування у часі, мають високу криючу здатність та необхідний рівень рН для ефективного суміщення з плівкоутворювачами для отримання покривних фарб у оздобленні шкір. Отримані пігменти використано для покривного оздоблення шкір, в результаті якого досягнуто високих показників якості покриття.

Література

1. Covington T. Tanning chemistry: The science of leather: RSC publishing. 2009. 315 p.
2. Касьян Е. Є. Фізико-хімія полімерних плівкоутворювачів для оздоблення шкіри : навч. посіб. / Касьян Е. Є. – Київ : Освіта України, 2019. – 178 с.
3. Паламар В. А. Ринок натуральних шкір в Україні / В. А. Паламар // Товари і ринки. – 2017. – № 2. Том 2. – С. 117–123.
4. Winter C., Borges Agustini C., Elizabeth M., Schultz R., Gutterres M. Influence of pigment addition on the properties of Polymer films for leather finishing. J. Soc. Leather. Technol. Chem. 2017. Vol. 101. № 2. P. 78–85.
5. Jianzhong M., Zhijie Z., Lingyun L. et al. Application of acrylic resin coating agent modified by nano SiO₂. J. Soc. Leather. Technol. Chem. 2006. Vol. 90. № 5. P. 188–192.
6. Peizhi L., Yiding S., Xiaowu Y. et al. Preparation of cationic fluorinated polyurethane microemulsion and its application in leather finishing. J. Soc. Leather. Technol. Chem. 2010, Vol. 94. № 6. 240–248.

7. Кужель Я.А. Пігментні концентрати для покривного оздоблення натуральних шкір / Я.А. Кужель, А.О. Бондарева, О.Р. Мокроусова // Матер. VI Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів «Науково-практичні розробки молодих учених в хімічній, харчовій та парфумерно-косметичній галузях промисловості» (14-15 листопада 2019 р., м. Херсон, ХНТУ). – Херсон, 2019. – С. 10-11.
8. Osgood m. J. Pigments in modern leather finishing. J. Soc. Leather. Technol. Chem. 1990. Vol. 74. № 1. P. 1–6.
9. Мокроусова О. Р. Технологія отримання мінеральних пігментних концентратів для шкіряної промисловості / О. Р. Мокроусова // Вісник КНУТД. – 2011. – № 3. – С. 67–74.
10. Mokrousova O., Pleten O., Kasyan E. Pigment concentrate with montmorillonite for leather coat finishing. Innovations in clothes and footwear ed M. Pawlowa and I. Frydrych. Radom, 2010. P. 391–396.
11. Marzec A., Szadkowski B., Rogowski J., Maniukiewicz W., Rybiński P., Prochoń M. New Organic/Inorganic Pigments Based on Azo Dye and Aluminum-Magnesium Hydroxycarbonates with Various Mg/Al Ratios. Materials. 2019, 12(8), P. 1349–1364.
12. Mahmoodi A., Ebrahimi M., Khosravi A., Mohammadloo Eivaz H. A hybrid dye-clay nano-pigment: Synthesis, characterization and application in organic coatings. Dyes and Pigments. 2017. Vol. 147. P. 234–240.
13. Onur Yılmaz, Catalina N.Cheaburu, Gürbüz Gülümser, Cornelia Vasile. Rheological behaviour of acrylate/montmorillonite nanocomposite latexes and their application in leather finishing as binders. Progress in Organic Coatings. 2011. Vol. 70, Issue 1. P. 52–58.
14. Onur Yılmaz, Aurica P. Chiriac, Catalina Natalia Cheaburu, Loredana E. Nita, Gürbüz Gülümser, Donatella Duraccio, Sossio Cimmino, Cornelia Vasile. Nanocomposites based on montmorillonite/acrylic copolymer for aqueous coating of soft surfaces. Solid State Phenomena. 2009. Vol. 151. P. 129–134.
15. Onur Yılmaz. A hybrid polyacrylate/OMMT nanocomposite latex: Synthesis, characterization and its application as a coating binder. Progress in Organic Coatings. 2014. Vol. 77, Issue 1. P. 110–117.
16. Yılmaz O., Cheaburu C.N., Durraccio D., Gulumser G., Vasile C. Preparation of stable acrylate/montmorillonite nanocomposite latex via in situ batch emulsion polymerization: Effect of clay types. Applied Clay Science. 2010. Vol. 49, Issue 3. P. 288–297.
17. Ляликов Ю. С. Физико-химические методы анализа / Ляликов Ю. С. – Издание 5-е, перераб. доп. – М. : Химия, 1973. – 536 с.
18. Данилкович А. Г. Практикум з хімії та технології шкіри та хутра : навч. посібник / Данилкович А. Г. – Київ : Фенікс, 2006. – 338 с.
19. Мокроусова О. Р. Поліфункціональних матеріали для рідинного оздоблення шкір. Вплив модифікування монтморилоніту сполуками Cr (III) на електроповерхневі та структурні властивості дисперсій / О. Р. Мокроусова, В.Н. Морару // Вісник КНУТД. – 2011. – № 1. – С. 84–93.
20. Морару В. Н. Устойчивость и электрокинетический потенциал водных дисперсий графита в растворах солей поливалентных металлов / В. Н. Морару, Ф. Д. Овчаренко // Коллоид журн. – 1986. – Т. 48, № 1. – С. 90–95.
21. Bottero J. Y., Cases J. Y. Adsorption on new and modified inorganic sorbents. Amsterdam: Elsevier, 1996. P. 319–331.
22. Гороновский И. Справочник по химии / Гороновский И., Назаренко Ю., Некряч Е. – Киев : Наукова думка, 1987. – 829 с.
23. Данилкович А. Г. Технологія і матеріали виробництва шкіри : навч. посіб. / Данилкович А. Г., Мокроусова О. Р., Охмат О. А. – Київ : Фенікс, 2009. – 580 с.
24. Шкіра для верху взуття. Технічні умови : ДСТУ 2726-94 (ГОСТ 939-94). – [Чинний від 01-01-1996]. – Київ : Держспоживстандарт України, 1996. – 19 с.

References

1. Covington T. Tanning chemistry: The science of leather: RSC publishing. 2009. 315 p.
2. Kasian E. Ye. Fyzyko-khimiia polimerykh plivkoutvoriuvachiv dlia ozdoblennia shkiry : navch. posib. / Kasian E. Ye. – Kyiv : Osvita Ukrainy, 2019. – 178 s.
3. Palamar V. A. Rynok naturalnykh shkir v Ukraini / V. A. Palamar // Tovary i rynky. – 2017. – № 2. Tom 2. – S. 117–123.
4. Winter C., Borges Agustini C., Elizabeth M., Schultz R., Gutterres M. Influence of pigment addition on the properties of Polymer films for leather finishing. J. Soc. Leather. Technol. Chem. 2017. Vol. 101. № 2. P. 78–85.
5. Jianzhong M., Zhijie Z., Lingyun L. et al. Application of acrylic resin coating agent modified by nano SiO₂. J. Soc. Leather. Technol. Chem. 2006. Vol. 90. № 5. P. 188–192.
6. Peizhi L., Yiding S., Xiaowu Y. et al. Preparation of cationic fluorinated polyurethane microemulsion and its application in leather finishing. J. Soc. Leather. Technol. Chem. 2010, Vol. 94. № 6. 240–248.
7. Kuzhel Ya.A. Pihmentni kontsentraty dlia pokryvnoho ozdoblennia naturalnykh shkir / Ya.A. Kuzhel, A.O. Bondarieva, O.R. Mokrousova // Mater. VI Vseukrainskoi naukovopraktychnoi konferentsii molodykh uchenykh i studentiv «Naukovopraktychni rozrobky molodykh uchenykh v khimichnii, kharchovii ta parfumerno-kosmetichnii haluziakh promyslovosti» (14-15 lystopada 2019 r., m. Kherson, KhNTU). – Kherson, 2019. – S. 10-11.
8. Osgood m. J. Pigments in modern leather finishing. J. Soc. Leather. Technol. Chem. 1990. Vol. 74. № 1. P. 1–6.
9. Mokrousova O. R. Tekhnolohiia otrymannia mineralnykh pihmentnykh kontsentrativ dlia shkirianoï promyslovosti / O. R. Mokrousova // Visnyk KNUVD. – 2011. – № 3. – S. 67–74.
10. Mokrousova O., Pleten O., Kasyan E. Pigment concentrate with montmorillonite for leather coat finishing. Innovations in clothes and footwear ed M. Pawlowa and I. Frydrych. Radom, 2010. P. 391–396.

11. Marzec A., Szadkowski B., Rogowski J., Maniukiewicz W., Rybiński P., Prochoń M. New Organic/Inorganic Pigments Based on Azo Dye and Aluminum-Magnesium Hydroxycarbonates with Various Mg/Al Ratios. *Materials*. 2019, 12(8), R. 1349–1364.
12. Mahmoodi A., Ebrahimi M., Khosravi A., Mohammadloo Eivaz H. A hybrid dye-clay nano-pigment: Synthesis, characterization and application in organic coatings. *Dyes and Pigments*. 2017. Vol. 147. P. 234–240.
13. Onur Yılmaz, Catalina N.Cheaburu, Gürbüz Gülümser, Cornelia Vasile. Rheological behaviour of acrylate/montmorillonite nanocomposite latexes and their application in leather finishing as binders. *Progress in Organic Coatings*. 2011. Vol. 70, Issue 1. P. 52–58.
14. Onur Yılmaz, Aurica P. Chiriac, Catalina Natalia Cheaburu, Loredana E. Nita, Gürbüz Gülümser, Donatella Duraccio, Sossio Cimmino, Cornelia Vasile. Nanocomposites based on montmorillonite/acrylic copolymer for aqueous coating of soft surfaces. *Solid State Phenomena*. 2009. Vol. 151. P. 129–134.
15. Onur Yılmaz. A hybrid polyacrylate/OMMT nanocomposite latex: Synthesis, characterization and its application as a coating binder. *Progress in Organic Coatings*. 2014. Vol. 77, Issue 1. P. 110–117.
16. Yılmaz O., Cheaburu C.N., Duraccio D., Gulumser G., Vasile C. Preparation of stable acrylate/montmorillonite nanocomposite latex via in situ batch emulsion polymerization: Effect of clay types. *Applied Clay Science*. 2010. Vol. 49, Issue 3. P. 288–297.
17. Lyalikov Yu. S. Fiziko-himicheskie metody analiza / Lyalikov Yu. S. – Izdanie 5-e, pererab. dop. – M. : Himiya, 1973. – 536 s.
18. Danylkovych A. H. *Praktykum z khimii ta tekhnolohii shkiry ta khutra : navch. posibnyk / Danylkovych A. H. – Kyiv : Feniks, 2006. – 338 s.*
19. Mokrousova O. R. Polifunksionalnykh materialy dlia ridynnoho ozdoblennia shkir. Vplyv modyfikuvannia montmorylonitu spolukamy Cr (III) na elektropoverkhnevi ta strukturni vlastyvyosti dyspersii / O. R. Mokrousova, V.N. Moraru // *Visnyk KNUVD*. – 2011. – № 1. – S. 84–93.
20. Moraru V. N. Ustojchivost i elektrokineticheskij potencial vodnyh dispersij grafita v rastvorah solej polivalentnyh metallov / V. N. Moraru, F. D. Ovcharenko // *Kolloid zhurn.* – 1986. – T. 48, № 1. – С. 90–95.
21. Bottero J. Y., Cases J. Y. Adsorption on new and modified inorganic sorbents. Amsterdam: Elsevier, 1996. P. 319–331.
22. Goronovskij I. *Spravochnik po khimii / Goronovskij I., Nazarenko Yu., Nekryach E. – Kiev : Naukova dumka, 1987. – 829 s.*
23. Danylkovych A. H. *Tekhnolohiia i materialy vyrobnytstva shkiry : navch. posib. / Danylkovych A. H., Mokrousova O. R., Okhmat O. A. – Kyiv : Feniks, 2009. – 580 s.*
24. *Shkira dlia verkhu vzuttia. Tekhnichni umovy : DSTU 2726-94 (HOST 939-94). – [Chynnyi vid 01-01-1996]. – Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 1996. 19 s.*

Рецензія/Peer review : 25.4.2020 р.

Надрукована/Printed : 16.6.2020 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Андреева О.А.

I.M. КУПЧУК, В.Ю. ВОВК, Д.А. ДАЦЮК
Вінницький національний аграрний університет

ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНІЧНОЇ МОДЕРНІЗАЦІЇ ПІДГОТОВЧОГО ЕТАПУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ЕТАНОЛУ

Виробництво етанолу є однією із найбільш важливих галузей економіки нашої держави, що формує сировинну базу для низки інших провідних галузей – харчової, хімічної, мікробіологічної, фармацевтичної тощо. Крім того, взаємодія із сільським господарством полягає у переважному використанні у якості сировини для виробництва етанолу – зерна крохмалевмісних культур, у тому числі непродовольчого. Саме тому вдосконалення технологічних процесів виробництва спирту є актуальною задачею для економіки держави. В результаті проведеного аналізу наукової літератури було встановлено, що невід'ємною частиною технології спиртового виробництва та водночас одним із найбільш енергозатратних процесів є подрібнення сировини, від якості якого значно залежать подальші витрати на переробку, вихід спирту та, як наслідок, собівартість готової продукції. Технологічні машини для подрібнення – молоткові дробарки – добре зарекомендували себе під час подрібнення кондиційної сировини, характеризуються простотою конструкції та нескладністю в експлуатації. Разом із тим до суттєвих недоліків цього класу машин відносять значну енергоємність процесу під час обробки зерна із підвищеним вологовмістом. Це пов'язано зі збільшенням пластичності матеріалу та граничної деформації руйнування, а також із налипанням подрібненого матеріалу на сепараційну поверхню, що призводить до утворення застійних зон на периферії робочої камери. Стаття присвячена обґрунтуванню доцільності модернізації технологічного процесу виробництва етанолу, зокрема операції подрібнення зернової крохмалевмісної сировини на підготовчій стадії виробництва за рахунок впровадження до складу машинно-апаратурної лінії вібраційної роторної дробарки ударно-різального принципу дії замість класичної молоткової дробарки з ударно-стираючим способом подрібнення. Також в статті представлена схема машини, що пропонується до впровадження та основні результати експериментальних досліджень, необхідних для встановлення вихідних характеристик для техніко-економічного аналізу розробки. За результатами виконаного техніко-економічного обґрунтування розробки зроблено висновки про доцільність та перспективність використання запропонованого процесу та впровадження обладнання до складу машинно-апаратурної лінії підготовчого етапу виробництва етанолу.

Ключові слова: етанол, подрібнення, крохмалевмісна сировина, термін окупності, економічний ефект.

I.M. KUPCHUK, V.YU. VOVK, D.A. DATSIUK
Vinnytsia National Agrarian University

ASSESSMENT OF ECONOMIC EFFICIENCY OF TECHNICAL MODERNIZATION OF THE STAGE OF PREPARATION OF TECHNOLOGICAL PROCESS OF ETHANOL PRODUCTION

Ethanol production is one of the most important sectors of our economy, which forms the raw material base for a number of other leading industries - food, chemical, microbiological, pharmaceutical and more. In addition, the interaction with agriculture is mainly used as a raw material for the production of ethanol - grains of starchy crops, including non-food. That is why the improvement of technological processes of alcohol production is an urgent task for the state economy. An analysis of the scientific literature revealed that an integral part of the technology of alcohol production and at the same time one of the most energy-intensive processes is the grinding of raw materials, the quality of which significantly affects further processing costs, alcohol yield and consequently the cost of finished products. Technological machines for grinding - hammer crushers, well-proven in grinding conditioned raw materials, are characterized by simplicity of construction and ease of operation. However, the significant disadvantages of this class of machines include the significant energy consumption of the process in the processing of grain with high moisture content. This is due to the increase in the plasticity of the material and the ultimate deformation of the fracture, as well as the adhesion of the crushed material on the separation surface, which leads to the formation of stagnant zones on the periphery of the working chamber. The article is devoted to substantiation of expediency of modernization of technological process of ethanol production, in particular operation of grinding of grain starch-containing raw materials at a preparatory stage of production at the expense of introduction in structure of a machine-equipment line of the vibrating rotary crusher with shock-cutting principle of action. Also in the article the scheme of the machine offered for introduction and the main results of experimental researches necessary for establishment of initial characteristics for the technical and economic analysis of development is presented. Based on the results of the feasibility study, conclusions were made about the feasibility and prospects of using the proposed process and the introduction of equipment into the machine-equipment line of the preparatory stage of ethanol production.

Keywords: ethanol, grinding, starch-containing raw materials, payback period, economic effect.

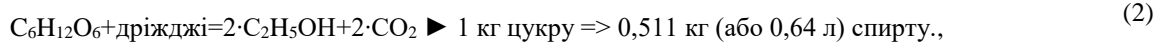
Вступ. Спиртова галузь займає важливе місце в економіці окремих регіонів та нашої держави в цілому. Одним із найголовніших її споживачів є харчова промисловість, яка використовує етиловий спирт під час виробництва лікєро-горілчанних та плодово-ягідних напоїв, для кріплення виноматеріалів і купажування виноградних вин, у виробництві оцту, харчових ароматизаторів і парфюмерно-косметичних виробів [1]. У мікробіологічній і медичній промисловості етанол застосовують для осадження ферментних препаратів, для одержання вітамінів та інших лікарських препаратів як дезінфікуючий засіб. Крім того, біоетанол може застосовуватись як альтернативний вид палива для бензинових двигунів внутрішнього згоряння.

Таким чином, спиртова промисловість тісно пов'язана, з одного боку, з численними галузями народного господарства, для яких спирт є сировиною, основним і допоміжним матеріалами, з другого – із

сільським господарством, яке забезпечує означене виробництво рослинною сировиною та отримує взамін вилучені із неї білкові вітамінізовані корми [2]. Стратегічна важливість цієї галузі зумовлює актуальність досліджень, спрямованих на вдосконалення технологій виробництва, в тому числі за рахунок розробки високоефективного обладнання машинно-апаратних ліній із застосуванням принципово нових механізмів, процесів та принципів технологічної обробки матеріалу.

Аналіз досліджень та публікацій.

Економічна ефективність виробництва спирту значною мірою залежить від концентрації в сировині крохмалю або цукру, вартості та витрат на зберігання певного виду сировини. Розрахунки на основі теоретичних хімічних перетворень крохмалю в спирт мають наступні результати (табл. 1) [2]:



Таблиця 1

Теоретичний вихід спирту із різних видів сировини [2, 3]

Крохмалевмісна		Цукровмісна	
Сировина	Спирт, мл/кг	Сировина	Спирт, мл/кг
Крохмаль	710	Цукор	640
Саго	600	Меляса 50%	320
Рис	530	Виноград	115
Кукурудза	450	Агрис	110
Пшениця	430	Буряк 16%	102
Боби	390	Малина	100
Пшоно	380	Яблука	65
Жито	360	Полуниця	58
Ячмінь	350	Вишня	57
Овес	280	Слива	55
Горох	240	Смородина ч.	54
Картопля	140	Березовий сік	25

Із зернових культур, поширених у Вінницькій області, найкращою сировиною для виробництва спирту є кукурудза, яка характеризується відносно більшим вмістом крохмалю (рис. 1) та жиру (що підвищує кормову цінність барди) і низькою кількістю клітковини, та, як наслідок, теоретичним виходом спирту [2, 3].

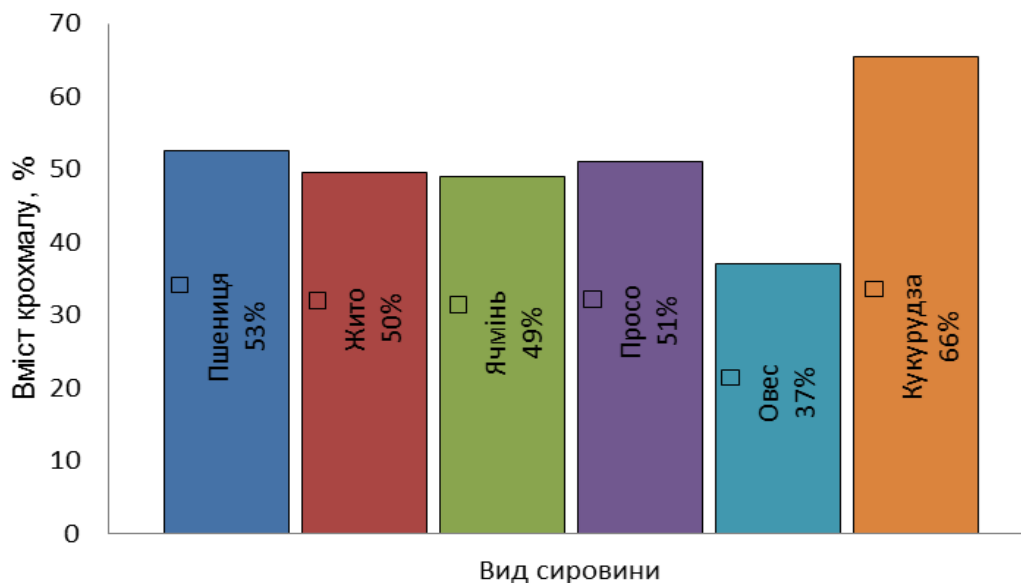


Рис. 1. Вміст крохмалю в зерновій сировині

Процес отримання спирту із крохмалевмісної сировини полягає в очищенні та підготовці сировини, оцукрюванні розвареної маси та охолодженні сусла, приготуванні посівної культури дріжджів, зброджуванні сусла, перегонці бражки та ректифікації спирту. В свою чергу, процес розварювання, оцукрювання і бродіння крохмалевмісної сировини можна класифікувати за трьома способами: періодичним, напівбезперервним і безперервним (рис. 2) [2, 4]. Періодичний спосіб зберігається на одиничних спиртових заводах невеликої потужності. Спосіб напівбезперервного розварювання і оцукрювання є перехідним ступенем від періодичного до безперервного.

При напівбезперервному способі здійснюється періодичне триступеневе розварювання сировини і безперервне одно- або двоступеневе оцукрювання розвареної маси [4]. В передзаварник додають воду відповідно до режиму варіння, після чого завантажують сировину, яка підігрівається вторинною парою, що надходить з витримувача, у верхній частині якого відбувається її сепарація.

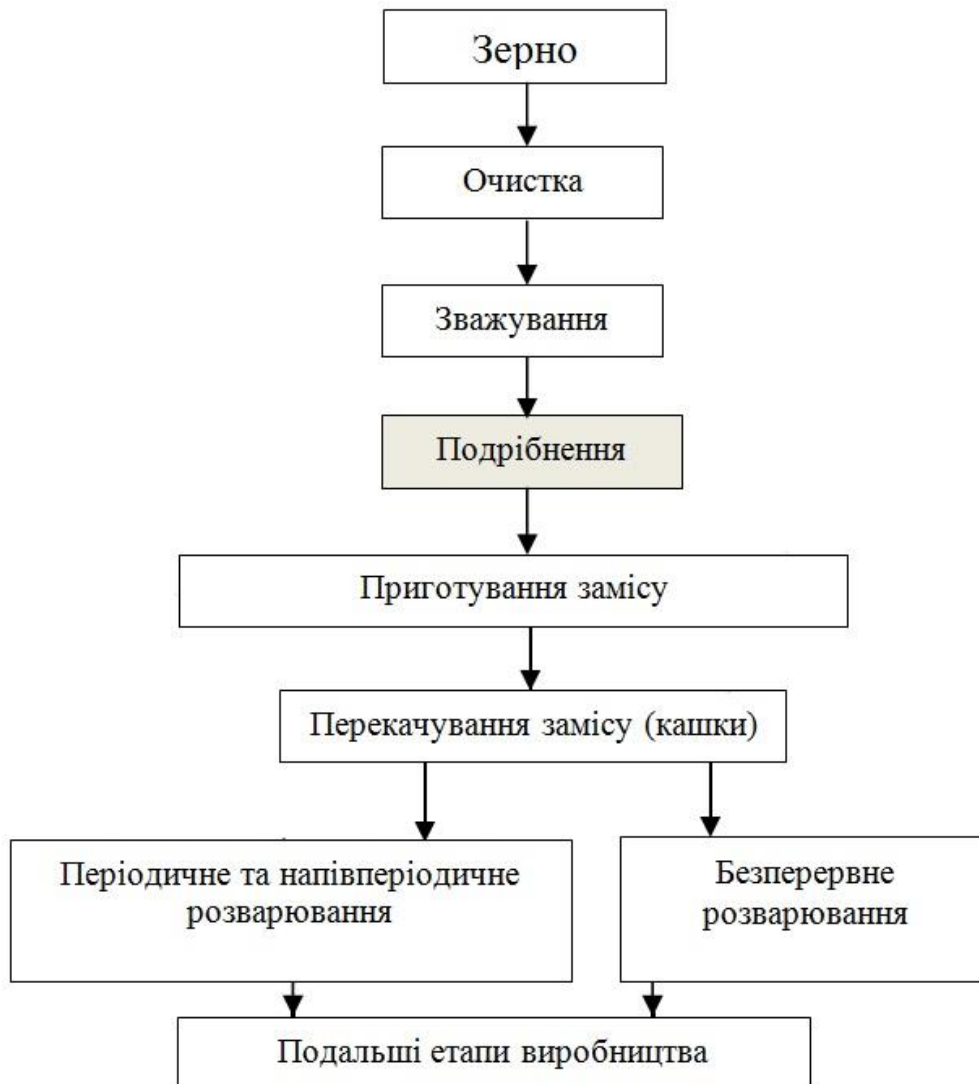


Рис. 2. Схема підготовчого етапу технологічного процесу виробництва етанолу

Серед механічних процесів у виробництві спирту одним з найважливіших етапів відзначають [2, 3, 5] подрібнення сировини, оскільки від показників якості вихідної сировини, зокрема дисперсності матеріалу, залежить витрата пари на розварювання замісів, та вихід спирту на 1 т матеріалу.

Найбільшого поширення при виробництві етанолу отримали молоткові дробарки ударно-стираючого принципу дії. Так відома конструкція решітної молоткової дробарки із шарнірно-підвішеними молотками ДДМ-5 (рис. 3), в якій можна виділити ряд переваг, таких як легка заміна зношуваних деталей (сит і молотків), можливість подрібнення достатньо різноманітної за своїми фізико-механічними властивостями сировини, що використовується у спиртовому виробництві, отримання різного ступеню подрібнення залежно від використання сит з відповідними розмірами отворів [1].

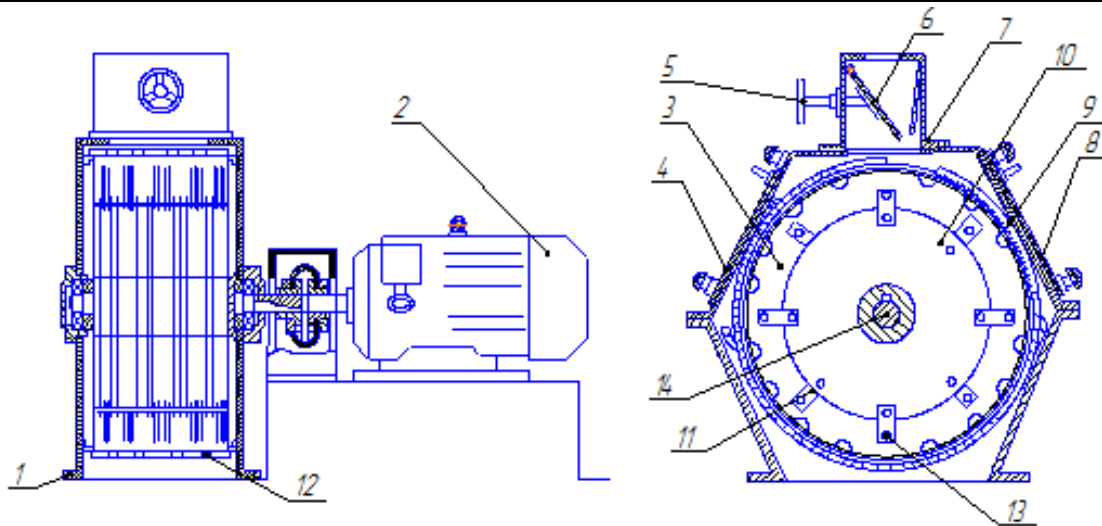


Рис. 3. Молоткова дробарка: 1 – основа корпусу; 2 – електродвигун; 3 – ротор; 4 – ліва відкидна кришка; 5 – маховик; 6 – заслінка; 7 – живильник; 8 – права відкидна кришка; 9 – дека; 10 – диск; 11 – вісь; 12 – сито; 13 – молоток; 14 – вал ротора дробарки

Проте в ході обробки матеріалу з використанням даного обладнання виникає ряд проблем. Так, під час подрібнення матеріалу із вологістю вищою за базисну норму (від 14 %) мають місце значні енерговитрати, внаслідок зниження руйнівного зусилля стиску, що вказує на поступове збільшення пластичності зерна і зменшення його крихкості, із одночасним підвищенням абсолютної деформації, яку зерно витримує до руйнування, в результаті чого опір зерна подрібненню зростає, крім того внаслідок збільшення адгезійних зв'язків відбувається забивання сепараційної поверхні, що призводить до несвочасного виведення продукту із зони подрібнення. Попереднє ж зневоложення значно збільшує питомі енерговитрати на одиницю готової продукції. Істотною проблемою також становить порівняно швидкий вихід з ладу робочого інструменту, зокрема молотків дробарок внаслідок зношування поверхонь контакту з сировиною.

З метою зниження витрат при подрібненні некондиційного матеріалу, досить перспективним є впровадження машин, що запропоновані Сергєєвим Н.С. [6], Абрамовим А.А. [7], Нанкою О.В. [8], принцип роботи яких базується на комбінванні способів різання та сколювання. Перевагою такого комбінвання є локальне надлишкове напруження поверхневих мікрооб'ємів у місцях прикладання навантажень. У процесі різання лезо ножа вклинюється в продукт і біля поверхні контакту створюється питомий тиск, достатній для руйнування тіла.

На базі лабораторії кафедри теорії механізмів і машин Вінницького національного аграрного університету було розроблено віброторну дробарку (рис. 4), в якій під час включення електродвигуна 5 крутний момент через муфту 6 передається на кінематичний вал 7 з противагами 8, обертання якого призводить до створення комбінованого силового та моментного дисбалансу розміщеного на ньому ротора 9 з осями та дисковидними білами 10 [9].

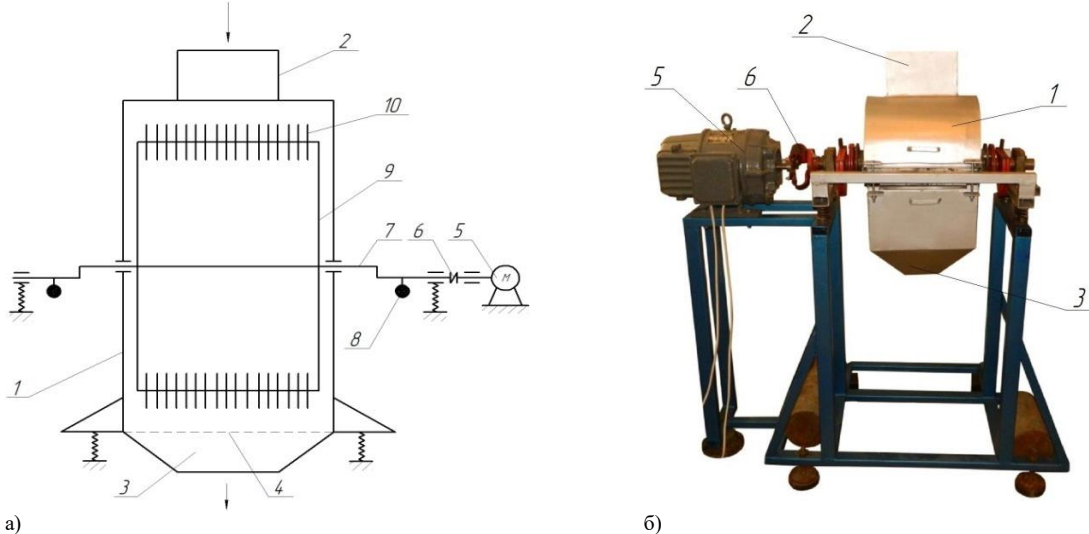


Рис. 4. Віброторна дробарка: а) принципова схема; б) загальний вигляд; 1 – корпус; 2, 3 – завантажувальна та розвантажувальна горловини; 4 – сито; 5 – електродвигун; 6 – муфта еластична; 7 – вал кінематичний; 8 – противаги; 9 – ротор; 10 – біла дисковидні

Подрібнення матеріалу відбувається безперервно внаслідок обертового та коливного руху дисковидних бил 10. Зерно потрапляє в робочу камеру через завантажувальну горловину 2 та піддається інтенсивним ударно-різальним силовим навантаженням. Зі зменшенням розмірів частинок, під впливом відцентрових сил та знакозмінних навантажень через ситову поверхню матеріал піддається сепарації: частинки рівні або менші діаметру отворів сита 4 вивантажуються через горловину 3, решта – на повторне подрібнення.

Таке поєднання способів подрібнення (удару і різання) надає змогу здійснювати обробку некондиційної сировини із високим показником вологовмісту при зменшенні енерговитрат на дану технологічну операцію, що було підтверджено результатами попередніх експериментальних досліджень.

Отже, існуюча схема виробництва спирту, зокрема етап підготовки сировини, має ряд недоліків, одними з яких є енергозатратне двостадійне здійснення технологічної операції подрібнення ударно-стираючим способом, невисока продуктивність та якість готового продукту при подрібненні зерна із вологістю більше 14 %. Це обумовлює необхідність проведення техніко-економічного аналізу щодо перспектив впровадження запропонованої конструкції вібраторної машини до складу машинно-апаратурної лінії виробництва етанолу як альтернативу молотковим дробаркам.

Формулювання цілей

Метою даної роботи є оцінка потенціалу щодо підвищення ефективності виробництва етанолу за рахунок засування у складі технологічної лінії вібраторної дробарки шляхом техніко-економічного обґрунтування такої технічної модернізації.

Матеріали і методи

За результатами проведених лабораторних випробувань експериментальної моделі машини для подрібнення зерна кукурудзи [10, 11, 12] було обґрунтовано режими роботи машини [13] та складена її технічна характеристика (табл. 2), що є основою під час оцінки економічної ефективності впровадження розробки методами техніко-економічного аналізу.

Таблиця 2

Технічні та технологічні показники експериментальної моделі вібраторної дробарки

Найменування параметрів	Значення
Режим роботи	безперервний
Рух робочого органу	вібровідцентровий
Форма коливань	плоскі еліптичні
Розмір перфорації ситових поверхонь, мм	1,6...1,8 мм
Потужність електродвигуна, кВт	1,6
Кутова швидкість валу ротора, с ⁻¹	125-130
Подача матеріалу, кг/год.	400-500
Продуктивність, кг/год.	380-450
Діапазон вологовмісту матеріалу, %	13-27
Питомий прохід крізь контрольне сито (1 мм), %	85-95 %
Діаметр дискового била, мм	90
Кут загострення дробильного диску, град.	15
Габаритні розміри, м:	
Довжина	1,37
Ширина	0,65
Висота	1,35
Маса, кг	120

Для комплексної оцінки ефективності та доцільності промислового використання здійснювалося співставлення економічних ефектів що можуть бути отримані від використання запропонованого варіанту обладнання – вібраторної дробарки та базового. У якості останнього було прийнято молоткову дробарку ДДМ-5, технічну характеристику якої було отримано із відкритих джерел та уточнено у виробничих умовах підприємства «Овечацьке МПД» ДП «Укрспирт».

Порівняння варіантів відбувається з дотриманням умови технічної та економічної співставності різних технічних рішень, дотримання якої забезпечувалось виконанням масштабного переходу від моделі вібраторної дробарки ВРД-0,5 до натурального (промислового) зразка ВРД-5 за розробленою методикою [14], яка базується на основних положеннях та теоремах теорії подібності технічних систем [15, 16].

Оцінку економічної ефективності впровадження розробки здійснювали відповідно до положень ДСТУ 4397:2005 «Методика економічного оцінювання техніки на етапі випробування» [17] та ГСТУ 46.012-2000 «Техніка сільськогосподарська. Методи економічної оцінки техніки для тваринництва» [18].

Результати досліджень та їх обговорення

Економічний ефект від впровадження вібраційної роторної дробарки з дисковими робочими елементами забезпечується за рахунок таких факторів:

- зниження експлуатаційних витрат, за рахунок зменшення енергоспоживання;

- зменшення собівартості подрібнення матеріалу за рахунок збільшення продуктивності процесу подрібнення;

- зменшення виробничих витрат, за рахунок використання сировини з нижчою ринковою вартістю.
За аналог прийнято молоткову дробарку ДДМ-5, що застосовується у спиртовому виробництві для подрібнення сировини на підготовчому етапі виробництва.

Дані порівняльної характеристики наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Порівняльна характеристика базового та проектного обладнання

№	Показник	Од. виміру	Базове (ДДМ-5)	Проектоване (ВРД-5)
1	Вартість виготовлення, C_g	грн.	70 000	75 000
2	Споживані енерговитрати, N_c	кВт/год.	50	22,5
4	Продуктивність, P при $W=13-14\%$ при $W=17-18\%$ при $W=26-27\%$	кг/год.	4400 3500 2800	4500 3900 3700

Серед основних експлуатаційних витрат розробленої машини можна відзначити витрати на виготовлення машини, енерговитрати при її роботі та витрати на заробітну плату обслуговуючого персоналу.

Витрати на виготовлення $Z_{виг}$ виготовлення промислового зразка віброторної дробарки становлять:

$$Z_{виг}^n = C_g^n \cdot E_n, \quad (3)$$

де C_g^n – вартість виготовлення машини, яка становить $C_g^n = 75000$ грн;

E_n – нормативний коефіцієнт капітальних вкладень; $E_n = 0,15$.

Тоді:

$$Z_{виг}^n = 75000 \cdot 0,15 = 11250 \text{ грн.}$$

Річні енерговитрати $Z_{ен}^n$ при експлуатації даної машини складають:

$$Z_{ен}^n = N_c^n \cdot t_{з.м.р.} \cdot n_{з.м.} \cdot n_p, \quad (4)$$

де N_c^n – споживані енерговитрати, кВт/год., $N_c^n = 22,5$ кВт/год.;

$t_{з.м.р.}$ – робочий час за одну зміну, $t_{з.м.р.} = 7$ год.;

$n_{з.м.}$ – кількість змін, $n_{з.м.} = 1$;

n_p – кількість робочих днів на 2020 рік, $n_p = 251$ д. [19].

Тоді:

$$Z_{ен}^n = 22,5 \cdot 7 \cdot 1 \cdot 258 = 40635 \text{ кВт}$$

Якщо прийняти вартість однієї кіловат-години 2,53 грн [20], то річні енерговитрати в грошовому виразі становлять:

$$Z_{ен}^n = 40635 \cdot 2,114 = 85902 \text{ грн.}$$

Річні витрати на заробітну плату обслуговуючого персоналу становлять:

$$Z_{зп}^n = Z_{зп.м.} \cdot n_m \cdot n_{np}, \quad (5)$$

де $Z_{зп.м.}$ – місячна заробітна плата одного працівника, що обслуговує дробарку станом на 2020 рік. Розмір мінімальної погодинної оплата праці в 2020 році становить $Z_{зп.м.} = 28,31$ грн [21];

n_m – кількість місяців в році, $n_m = 12$;

n_{np} – кількість чоловік обслуговуючого персоналу, $n_{np} = 1$.

Тоді:

$$Z_{зп}^n = 2500 \cdot 12 \cdot 1 = 30000 \text{ грн.}$$

Таким чином, загальні експлуатаційні витрати машини складають:

$$Z^n = Z_{\text{виз}}^n + Z_{\text{ен}}^n + Z_{\text{зм}}^n = 11250 + 85902 + 30000 = 127152 \text{ грн.}, \quad (6)$$

Аналогічно розраховуємо загальні експлуатаційні витрати для базової технологічної одиниці.

Для даної дробарки загальні споживані енерговитрати становлять $N_c^{\text{б}} = 50$ кВт, загальна вартість становить $C_e^{\text{б}} = 70000$ грн.

$$Z_{\text{виз}}^{\text{б}} = 70000 \cdot 0,15 = 10500 \text{ грн.}$$

Річні енерговитрати на експлуатацію базової машини з урахуванням вартості електроенергії становлять:

$$Z_{\text{ен}}^{\text{б}} = 50 \cdot 7 \cdot 1 \cdot 258 \cdot 2,114 = 190894 \text{ грн.}$$

Річні витрати на заробітну плату обслуговуючому персоналу при $n_{\text{пр}} = 1$.

$$Z_{\text{зм}}^{\text{б}} = 2500 \cdot 12 \cdot 1 = 30000 \text{ грн.}$$

Загальні експлуатаційні витрати для базової машини становлять:

$$Z^{\text{б}} = 10500 + 190894 + 30000 = 231394 \text{ грн.}$$

Загальний економічний ефект від промислового впровадження запропонованого варіанту машини:

$$E = E_1 + E_2 + E_3, \quad (7)$$

де E_1 – економічний ефект від збільшення продуктивності;

E_2 – економічний ефект від зменшення експлуатаційних витрат;

E_3 – економічний ефект від зменшення вартості сировини.

Дані складові визначаємо наступним чином:

$$E_1 = \frac{Z_{\text{зм}}(n_p^{\text{б}} - n_p^n)}{n_p^{\text{б}}}, \quad (8)$$

де $n_p^{\text{б}}$ – кількість днів роботи за рік базових машин;

n_p^n – кількість днів роботи проектної машини, яка визначається за умови виконання даного машиною об'єму робіт, що виконується базовими машинами за рік.

$$n_p^n = \frac{\Pi_{\text{зм}}^{\text{б}} \cdot n_p^{\text{б}}}{\Pi_{\text{зм}}^n}, \quad (9)$$

де $\Pi_{\text{зм}}^{\text{б}}, \Pi_{\text{зм}}^n$ – відповідно продуктивність за зміну проектної та базових машин. Так, як продуктивність машин суттєво залежить від фізико-механічних властивостей матеріалу, розрахунок проведемо за умови подрібнення матеріалу середньої вологості (17-18 %) для базової машини, та 26-27 % для проектної машини виходячи з умов виконання даною машиною об'єму робіт, що виконується базовою машиною за зміну.

$$\Pi_{\text{зм}} = \Pi \cdot t_{\text{зм}}, \quad (10)$$

де Π – годинна продуктивність машини, кг/год.; $T_{\text{ц}}$ – цикловий час, год.

Загальний час роботи однієї технологічної машини впродовж однієї зміни можна розділити на цикловий та позацикловий час. Цикловий час є структурною складовою експлуатаційного часу обладнання, яка характеризує основну технологічну дію на продукцію.

Позацикловий час необхідний для підготовки основного циклу обробки і містить час на підготовку обладнання до експлуатації та робочого місця до та після змінного часу, тобто час на реалізацію підготовчо-заклучних операцій $t_{\text{нз}}$, час простою через несправності або регульовально-налагоджувальні операції $t_{\text{пр}}$, час відновлення працездатності обслуговуючого персоналу або фізіологічний час $t_{\text{ф}}$.

Таким чином:

$$T_{зм} = T_{ц} + T_{н.ц.} \quad (11)$$

де $T_{зм}$ – час робочої зміни, який приймаємо, 8 год; $T_{ц}$ – цикловий час; $T_{н.ц.}$ – позацикловий час:

$$T_{н.ц.} = t_{н.з.} + t_{np} + t_{ф} \quad (12)$$

Приймаємо $t_{н.з.} = 10$ хв, $t_{np} = 20$ хв, $t_{ф} = 60$ хв.

Тоді:

$$\begin{aligned} T_{н.ц.} &= 10 + 20 + 60 = 1,5 \text{ год,} \\ T_{ц} &= T_{зм} - T_{н.ц.} = 8 - 1,5 = 6,5 \text{ год.} \end{aligned} \quad (13)$$

Тоді

$$\begin{aligned} \Pi_{зм}^{\sigma} &= 3500 \cdot 6,5 = 22750 \text{ кг/зм;} \\ \Pi_{зм}^n &= 3700 \cdot 6,5 = 24050 \text{ кг/зм.} \\ n_p^n &= \frac{22750 \cdot 258}{24050} = 244 \text{ дні.} \end{aligned}$$

Економічний ефект від збільшення продуктивності:

$$E_1 = \frac{30000 \cdot (258 - 244)}{258} = 1630 \text{ грн.}$$

Економічний ефект від зменшення експлуатаційних витрат:

$$E_2 = 3^{\sigma} - 3^n = 231394 - 127152 = 104242 \text{ грн.}$$

Економічний ефект від зменшення виробничих витрат, за рахунок використання сировини з нижчою ринковою вартістю можна визначити за формулою:

$$E_3 = \Pi_{зм}^{\sigma} \cdot n_p (C_{18} - C_{27}), \quad (14)$$

де C_{18}, C_{27} – ринкова ціна на кукурудзу із вологістю 17-18 % та 26-27 % відповідно, грн./т. Станом на липень 2020 року середня ціна за тону зерна кукурудзи становить: $C_{18} = 4300$ грн/т та $C_{27} = 3500$ грн/т [22].

Економічний ефект від зменшення виробничих витрат:

$$E_3 = \Pi_{зм}^{\sigma} \cdot n_p (C_{18} - C_{27}) = 22,75 \cdot 258 (1020 - 1000) = 117390 \text{ грн.}$$

Таким чином загальний економічний ефект від технічної модернізації машинно-апаратної лінії підготовчого етапу виробництва станолу (при впровадженні однієї одиниці обладнання) становить:

$$E = 1630 + 104242 + 117390 = 223262 \text{ грн.}$$

Коефіцієнт економічної ефективності однієї промислової віброторної дробарки ВРД-5 складає:

$$E_p = \frac{E}{3^n} = \frac{223262}{127152} = 1,76,$$

тобто прибуток отриманий від однієї затраченої гривні на промислове впровадження розробки становить 1,76.

Термін окупності технічної модернізації (для однієї одиниці обладнання) буде становити:

$$T = \frac{3^n}{E} = \frac{127152}{223262} = 0,56 \text{ року.}$$

Зведені дані техніко-економічної оцінки технічної модернізації підготовчого етапу технологічного процесу виробництва етанолу за рахунок промислового впровадження однієї віброторної дробарки врД-5 представлено в табл. 4.

Таблиця 4

Економічна ефективність технічної модернізації (для однієї машини)

Показники	Розмірність	ДДМ-5	ВРД-5
Продуктивність, P	кг/год.	3 500	3 700
Загальні експлуатаційні витрати, Z	грн.	231 394	127 152
Ефект від збільшення продуктивності, E_1	грн./рік	-	1630
Ефект від зменшення експлуатаційних енерговитрат, E_2	грн./рік	-	104 242
Ефект від зменшення витрат на сировину, E_3	грн./рік	-	117 390
Загальний економічний ефект, E	грн./рік	-	223 262
Коефіцієнт економічної ефективності, E_p	-	-	1,76
Термін окупності, T	Роки	-	0,56

Висновки.

За результатами аналізу показників економічної ефективності впровадження (табл. 4) можна зробити висновок, що використання розробленої дробарки ВРД-5 для подрібнення крохмалевмісної зернової сировини, зокрема, кукурудзи, в технології виробництва етанолу має істотні переваги порівняно із базовим обладнанням ДДМ-5, яка нині використовується на промислових підприємствах спиртової галузі.

Комплексна техніко-економічна оцінка модернізації технологічного процесу виробництва етанолу за рахунок заміни в машинно-апаратурній лінії однієї молоткової дробарки ДДМ-5 (ударно-стираючий спосіб подрібнення) на вібраційну роторну ВРД-5 (ударно-різальний спосіб подрібнення) показала, що дане оновлення надає змогу отримати загальний економічний ефект у 223 262 грн за один рік експлуатації. Прогнозований термін окупності затрат на модернізацію становить близько 0,56 року, що свідчить про доцільність та обгрунтованість впровадження розробки.

Література

1. Паламарчук І.П. Перспективи застосування низькочастотних коливань в процесі подрібнення сировини спиртового виробництва / І.П. Паламарчук, І.М. Купчук // Вібрації в техніці та технологіях. – 2012. – № 4 (68). – С. 5–13.
2. Технологія спирту / [Маринченко В.О., Домарецький В.А., Шиян П. Л. та ін.] ; під ред. проф. В.О. Маринченка. – Вінниця : Поділля-2000, 2003. – 496с.
3. Василенко З.В. Влияние видовых особенностей зерновых культур на выход и качество пищевого этилового спирта / З.В. Василенко, Е.А. Цед, С. В. Волкова // Производство спирта и ликероводочных изделий. – 2010. – № 1. – С. 26–29.
4. Паламарчук І. П. Обгрунтування технології та обладнання для попередньої обробки крохмалевмісної сировини при виробництві спирту / І. П. Паламарчук, В. П. Янович, І. М. Купчук // Вібрації в техніці та технологіях. – 2013. – № 4 (72). – С. 112–116.
5. Абрамова И. М. Особенности переработки пшеничного сырья, обеспечивающие производства спирта с высокими показателями качества / И. М. Абрамова // Производство спирта и ликероводочных изделий. – 2012. – № 1. – С. 4–5.
6. Сергеев С.Н. Центробежно-роторные измельчители фуражного зерна : автореф. дис. на соискание науч. степени док. техн. наук : 05.20.01 «Механизация сельскохозяйственного производства» / С. Н. Сергеев. – Челябинск, 2008. – 42 с.
7. Абрамов А.А. Обоснование параметров и режимов работы измельчителя зерна скальвающего типа : автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук : 05.20.01 «Механизация сельскохозяйственного производства» / А. А. Абрамов. – Ростов-на-Дону, 2006. – 20 с.
8. Нанка О.В. Шляхи зниження енергоємності подрібнення зернових кормів та підвищення якості подрібнення / О.В. Нанка, І.Г. Бойко // Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва : збірник наукових праць БНАУ. – Біла Церква : БНАУ, 2012. – Вип. 7. – С. 55–58.
9. Паламарчук І.П. Розробка конструктивно-технологічної схеми віброторної дробарки / І.П. Паламарчук, В.П. Янович, І.М. Купчук, І.В. Соломко // Вібрації в техніці та технологіях. – 2013. – № 1 (69). – С. 125–129
10. Kupchuk I.M. Verification of the mathematical model of the energy consumption drive for vibrating disc crusher / I.M. Kupchuk, O.V. Solona, I.A. Derevenko, I.V. Tverdokhlib // INMATEH – Agricultural Engineering. – 2018. – Vol. 55. – No. 2. – P. 113–120.
11. Yanovych V.P. Determination of rational operating parameters for a vibrating disk-type grinder used in ethanol industry / V.P. Yanovych, I.M. Kupchuk // INMATEH – Agricultural Engineering. – 2017. – Vol. 52. – No. 2. – 2017. – P. 143–148.

12. Паламарчук І. П. Обґрунтування режимних параметрів процесу подрібнення зернової крохмалевмісної сировини спиртової промисловості / І. П. Паламарчук, В. П. Янович, І. М. Купчук // Наукові пр. ОНАХТ. Серія: Технічні науки. – 2014. – № 46. – С. 231–235.
13. Купчук І.М. Компромісна оптимізація режимних параметрів процесу подрібнення зернової сировини при виробництві етилового спирту / І.М. Купчук // Вібрації в техніці та технологіях. – 2017. – № 4(87). – С. 91–100.
14. Янович В. П. Розробка методики масштабного переходу фізична модель – натуральний зразок при проектуванні вібраторної дробарки спиртової промисловості / В. П. Янович, Ю. А. Полєвода, І. М. Купчук // Зб. наук. пр. Вінн. нац. аграр. ун-ту. Серія: Технічні науки. – 2015. – № 1 (89), Т. 2. – С. 164–167.
15. Тихонов А.И. Основы теории подобия и моделирования (электрические машины) : учеб. пособие / Тихонов А.И. ; ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». –Иваново, 2011. – 132 с.
16. Основы теории и техники физического моделирования и эксперимента : учебное пособие / [Н.Ц. Гагачова, А.Н. Колиух, Н.В. Орлова, А.Ю. Орлов]. – Тамбов, 2014. – 77 с.
17. Методики економічного оцінювання техніки на етапі випробування : ДСТУ 4397:2005. – [Чинний від 2006-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України 2006. – 20 с. – (Національний стандарт України).
18. Техніка сільськогосподарська. Методи економічної оцінки техніки для тваринництва : ГСТУ 46.012-2000. – [Чинний від 2001.02.01] – К. : Мінагрополітики України, 2000. – III, 18 с. – (Галузевий стандарт України).
19. Бухгалтер. Норми тривалості робочого часу на 2020 рік [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://buhgalter.com.ua/dovidnik/normi-robochogo-chasu/normi-trivalosti-robochogo-chasu-na-2020-rik/> – Дата звернення 08.07.2020.
20. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг. Тарифи на електроенергію для побутових споживачів [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.nerc.gov.ua/?id=15985/> – Дата звернення 08.07.2020.
21. Бухгалтер.ua - Ліга: Закон. Мінімальна зарплата 2020 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://buh.ligazakon.net/ua/aktualno/7266_mnmalna-zarplata-2020/ – Дата звернення 08.07.2020.
22. Нібулон. Закупівельні ціни [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://nibulon.com/data/zakupivlya-silgosprodukcii/zakupivelni-cini.html#price/> – Дата звернення 08.07.2020.

References

1. Palamarchuk I.P. Perspektivy zastosuvannya nyzkochastotnykh kolyvan v protsesi podribnennia syrovyny spyrtovoho vyrobnytstva / I.P. Palamarchuk, I.M. Kupchuk // Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh. – 2012. – № 4 (68). – С. 5–13.
2. Tekhnolohiia spyrту / [Marynchenko V.O., Domaretskyi V.A., Shyian P. L. ta in.] ; pid red. prof. V.O. Marynchenka. – Vinnytsia : Podillia-2000, 2003. – 496s.
3. Vasilenko Z.V. Vliyanie vidovykh osobennostey zernovykh kultur na vyhod i kachestvo pishevogo etilovogo spirta / Z.V. Vasilenko, E.A. Ced, S. V. Volkova // Proizvodstvo spirta i likerovodochnykh izdelij. – 2010. – № 1. – С. 26–29.
4. Palamarchuk I. P. Obgruntuvannya tekhnolohii ta obladnannia dlia poperednoi obrobky krokhmalevmisnoi syrovyny pry vyrobnytstvi spyrту / I. P. Palamarchuk, V. P. Yanovykh, I. M. Kupchuk // Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh. – 2013. – № 4 (72). – С. 112–116.
5. Abramova I. M. Osobennosti pererabotki pshenichnogo syrja, obespechivayushie proizvodstva spirta s vysokimi pokazatelyami kachestva / I. M. Abramova // Proizvodstvo spirta i likerovodochnykh izdelij. – 2012. – № 1. – С. 4–5.
6. Sergeev S.N. Centrobezhno-rotornye izmelchiteli furazhnogo zerna : avtoref. dis. na soiskanie nauch. stepeni dok. tehn. nauk : 05.20.01 «Mehanizaciya selskohozyajstvennogo proizvodstva» / S. N. Sergeev. – Chelyabinsk, 2008. – 42 s.
7. Abramov A.A. Obosnovanie parametrov i rezhimov raboty izmelchatelya zerna skalyvayushogo tipa : avtoref. dis. na soiskanie nauch. stepeni kand. tehn. nauk : 05.20.01 «Mehanizaciya selskohozyajstvennogo proizvodstva» / A. A. Abramov. – Rostov-na-Donu, 2006. – 20 s.
8. Nanka O.V. Shliakhy znyzhennia enerhoiemnosti podribnennia zernovykh kormiv ta pidvyshchennia yakosti podribnennia / O.V. Nanka, I.H. Boiko // Tekhnolohiia vyrobnytstva i pererobky produktii tvarynystva : zbirnyk naukovykh prats BNAU. – Bila Tserkva : BNAU, 2012. – Vyp. 7. – С. 55–58.
9. Palamarchuk I.P. Rozrobka konstruktyvno-tekhnolohichnoi skhemy vibratortnoi drobarky / I.P. Palamarchuk, V.P. Yanovykh, I.M. Kupchuk, I.V. Solomko // Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh. – 2013. – № 1 (69). – С. 125–129
10. Kupchuk I.M. Verification of the mathematical model of the energy consumption drive for vibrating disc crusher / I.M. Kupchuk, O.V. Solona, I.A. Derevenko, I.V. Tverdokhlib // INMATEH – Agricultural Engineering. – 2018. – Vol. 55. – No. 2. – R. 113–120.
11. Yanovykh V.P. Determination of rational operating parameters for a vibrating disk-type grinder used in ethanol industry / V.P. Yanovykh, I.M. Kupchuk // INMATEH – Agricultural Engineering. – 2017. – Vol. 52. – No. 2. – 2017. – P. 143–148.
12. Palamarchuk I. P. Obgruntuvannya rezhymnykh parametriv protsesu podribnennia zernovoi krokhmalevmisnoi syrovyny spyrtovoi promyslovosti / I. P. Palamarchuk, V. P. Yanovykh, I. M. Kupchuk // Naukovi pr. ONAKhT. Seria : Tekhnichni nauky. – 2014. – № 46. – С. 231–235.
13. Kupchuk I.M. Kompromisna optymizatsiia rezhymnykh parametriv protsesu podribnennia zernovoi syrovyny pry vyrobnytstvi etylovoho spyrту / I.M. Kupchuk // Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh. – 2017. – № 4(87). – С. 91–100.
14. Ianovykh V. P. Rozrobka metodyky masshtabnoho perekhodu fizychna model – naturalnyi zrazok pry проектуванні вібраторної дробарки спиртової промисловості / V. P. Yanovykh, Yu. A. Polievoda, I. M. Kupchuk // Zb. nauk. pr. Vinn. nats. ahrar. un-tu. Seria: Tekhnichni nauky. – 2015. – № 1 (89), Т. 2. – С. 164–167.
15. Tihonov A.I. Osnovy teorii podobiya i modelirovaniya (elektricheskie mashiny) : ucheb. posobie / Tihonov A.I. ; FGBOUVPO «Ivanovskij gosudarstvennyj energeticheskij universitet im. V.I. Lenina». –Ivanovo, 2011. – 132 s.
16. Osnovy teorii i tekhniki fizicheskogo modelirovaniya i eksperimenta : uchebnoe posobie / [N.C. Gatapova, A.N. Koliuh, N.V. Orlova, A.Yu. Orlov]. – Tambov, 2014. – 77 s.
17. Metodyky ekonomichnogo otsiniuvannya tekhniki na etapi vyprobuvannia : DSTU 4397:2005. – [Chynnyi vid 2006-01-01]. – К. : Derzhspozhyvstandart Ukrainy 2006. – 20 s. – (Natsionalnyi standart Ukrainy).

18. Tekhnika silskohospodarska. Metody ekonomichnoi otsinky tekhniki dlia tvarynnytstva : HSTU 46.012-2000. – [Chynnyi vid 2001.02.01] – K. : Minahropolityky Ukrainy, 2000. – III, 18 s. – (Haluzevyi standart Ukrainy).
19. Bukhhalter. Normy tryvalosti robochoho chasu na 2020 rik [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://bukhalter.com.ua/dovidnik/normi-robochogo-chasu/normi-trivalosti-robochogo-chasu-na-2020-rik/> – Data zvernennia 08.07.2020.
20. Natsionalna komisiia, shcho zdiisniue derzhavne rehuliuвання u sferakh enerhetyky ta komunalnykh posluh. Taryfy na elektroenerhiu dlia nepobutovykh spozhyvachiv [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://www.nerc.gov.ua/?id=15985/> – Data zvernennia 08.07.2020.
21. Bukhhalter.ua - Liha: Zakon. Minimalna zarplata 2020 [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : https://bukh.ligazakon.net/ua/aktualno/7266_mnmalna-zarplata-2020/ – Data zvernennia 08.07.2020.
22. Nibulon. Zakupivelni tsiny [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://nibulon.com/data/zakupivlya-silgospprodukcii/zakupivelni-cini.html#price/> – Data zvernennia 08.07.2020.

Рецензія/Peer review : 14.4.2020 р.

Надрукована/Printed : 16.6.2020 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Стаднік М.І.

Т.О. ГОВОРУЩЕНКО, М.В. КРАСОВСЬКИЙ, А.А. ЯВНЮК
Хмельницький національний університет

МОДЕЛЬ ТА МЕТОД СТАБІЛІЗАЦІЇ ОДНОВІСНОЇ ПЛАТФОРМИ ДЛЯ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОЇ КООПЕРАТИВНОЇ РОБОТОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ

Проведений аналіз відомих методів та рішень в галузі кооперативної робототехніки свідчить про те, що наразі все ж залишається велика кількість невирішених питань в цій галузі, зокрема, стабілізація одновісної платформи, що і є метою даного дослідження. В статті розроблено модель стабілізації одновісної платформи за допомогою PID-алгоритму в пакеті MATLAB Simulink. Розроблено також метод дослідження якості алгоритмів стабілізації одновісної платформи.

Ключові слова: кооперативний робот, багатофункціональна кооперативна робототехнічна система, одновісна платформа, алгоритм стабілізації.

T.O. HOVORUSHCHENKO, M.V. KRASOVSKYI, A.A. YAVNYUK
Khmelnytskyi National University

MODEL AND METHOD OF STABILIZATION OF THE SINGLE-AXIS PLATFORM FOR A MULTI-FUNCTIONAL COOPERATIVE ROBOTIC SYSTEM

The conducted analysis of known methods and solutions in the field of cooperative robotics shows that there are still a large number of unresolved issues in this area, in particular, the stabilization of the single-axis platform, which is the purpose of this study. Cooperative robotics is a new branch of industrial robotics that enables joint production. Cooperative production largely depends on the availability of cooperative robot. The creation of cooperative robots that work in close contact with humans is a direction that is rapidly developing. Cooperative application, natural for such tasks, should provide absolute safety, high functional flexibility and autonomy of the robots used. This requires the development of new technologies in the field of management, the creation of new design solutions, the development of algorithms for planning and execution of movements that ensure the safety of physical interaction between man and robot. Given that the market for cooperative robots is projected to reach \$ 12,303 million by 2025 from \$ 710 million in 2018, i.e. will increase by 50.31% during 2018-2025, the urgent task now is to develop a multifunctional cooperative robotic system or technology. The analysis of known methods and solutions in the field of cooperative robotics shows that there are still a large number of unresolved issues in this area, in particular, the stabilization of the single-axis platform. The paper develops a model for stabilizing a single-axis platform using the PID algorithm in the MATLAB Simulink, which allows fine-tuning additional parameters of a single-axis platform and optimizing transients, which emerge due to external factors that negatively affect the real prototype. A method for studying the quality of a single-axis platform stabilization algorithms has also been developed, as a result of which graphs are constructed for each of a single-axis platform stabilization algorithms, according to which the quality of the stabilization algorithm can be analytically determined - each graph is compared to others, the lower and narrower graph indicates more quality algorithm of stabilization of a single-axis platform.

Keywords: cooperative robot, multifunctional cooperative robotic system, single-axis platform, stabilization algorithm.

Вступ

Кооперативна робототехніка – це нова галузь промислової робототехніки, яка дає можливість спільного виробництва. Кооперативне виробництво значною мірою залежить від наявності кооперативного (колективного, колаборативного) робота (кобота). Кооперативний робот – це варіант промислового робота, оснащеного системою сенсорів та комп'ютерного зору, що дозволяє з високим ступенем ймовірності попереджати зіткнення пристрою з людиною та перешкодами, включаючи ситуацію збою вбудованого програмного забезпечення. Такі роботи призначені для використання в тісній кооперації з людьми, поруч з ними. Кооперативний робот повинен мати наступні якості: відсутність необхідності в інтеграції (вся система повинна бути роботоздатною одразу); відсутність необхідності в програмуванні або навчанні (робот повинен бути готовим до роботи за лічені хвилини); наявність широких функційних можливостей; наявність розвинутої логіки для роботи з врахуванням оточуючої обстановки, включаючи автоматичне відновлення після збоїв; забезпечення безпеки при експлуатації (навіть при зіткненні з оператором на повному ході) [1]. Основна задача кооперативних роботів – допомогти розв'язати складні задачі, які неможливо автоматизувати. Кооперативний робот змінює поняття автоматизації від повністю автоматизованих операцій до напіваавтономних операцій, де рішення працівника впливатимуть на дії кобота і навпаки [2].

Створення кооперативних роботів, які працюють в тісному контакті з людиною, – напрям, який інтенсивно розвивається. Актуальність розроблення таких роботів обумовлена необхідністю надання допомоги людям при виконанні важких робіт на промислових підприємствах і повсякденних робіт по дому, догляді за похилими людьми та інвалідами, медичному обслуговуванні в лікарнях та післяопераційній реабілітації, забезпеченні дозвілля та навчання. Кооперативне застосування, природне для подібних задач, передбачає абсолютну безпеку, високу функційну гнучкість та автономність використовуваних роботів. Для цього необхідне розроблення нових технологій в галузі управління, створення нових конструктивних рішень, розроблення алгоритмів планування та виконання рухів, які забезпечують безпеку фізичної взаємодії людини та робота [3].

Кооперативний робот повинен задовольняти вимогам Міжнародних стандартів, основним з яких є стандарт ISO/TS 15066:2016 [4], який є фактично технічною специфікацією, зокрема, вимог безпеки для коботів, для сумісної роботи промислових робототехнічних систем та робочого середовища.

Враховуючи, що ринок кооперативних робіт прогнозовано досягне 12303 млн дол. США до 2025 р. з 710 млн дол. США у 2018 р., тобто зросте на 50,31% протягом 2018–2025 років [5], актуальною задачею наразі є розроблення багатофункціональної кооперативної робототехнічної системи або технології.

Аналіз літератури на предмет пошуку відомих методів та рішень для галузі кооперативної робототехніки був проведений авторами у [6]. Проведений аналіз відомих методів та рішень в галузі кооперативної робототехніки свідчить про те, що наразі все ж залишається велика кількість невирішених питань в цій галузі, зокрема, стабілізація одновісної платформи, що і є метою даного дослідження.

Модель стабілізації одновісної платформи за допомогою PID-алгоритму

Для підвищення якості стабілізації алгоритму, заснованого на використанні PID-регулятора, одновісна платформа потребує точного налаштування додаткових параметрів та оптимізації перехідних процесів, що виникають внаслідок наявності зовнішніх чинників і негативно впливають на реальний прототип. Для вирішення цієї проблеми було розроблено модель стабілізації одновісної платформи за допомогою PID-алгоритму в пакеті MATLAB Simulink (рис. 1).

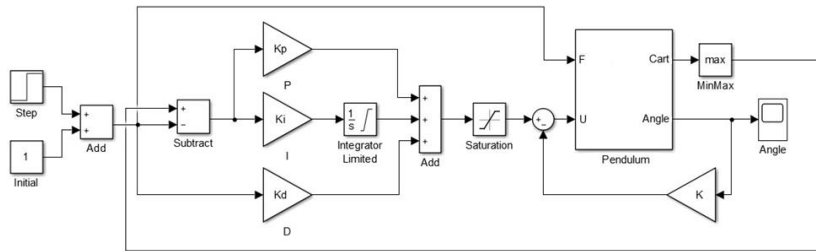


Рис. 1. Модель стабілізації одновісної платформи за допомогою PID-алгоритму в Matlab Simulink

Розроблену модель можна умовно розділити на три частини, де перша містить усю початкову інформацію для нормальної роботи системи, друга складається з функціональних блоків, що відповідають за відтворення пропорційного, інтегрального та диференційного регуляторів, а третя містить математичні блоки, що відповідають за розрахунок поточного положення інвертованого маятника, амплітуди його коливань та блоку візуалізації отриманих даних, який на основі попередніх результатів розрахунків формує діаграму стабільності системи (рис. 2).

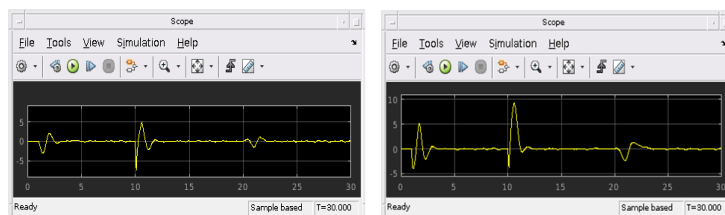


Рис. 2. Результат роботи розробленої моделі стабілізації одновісної платформи за допомогою PID-алгоритму

Метод дослідження якості алгоритмів стабілізації одновісної платформи

При розробці систем автоматичної стабілізації тіла в просторі, виникає необхідність підтримки параметра стабілізації в діапазоні заданих значень. Теорія автоматичного керування для цієї мети пропонує використовувати різні методи, серед яких математична модель на основі рівняння Ейлера-Лагранжа та PID-регулятор [7–12].

Функціонування методу передбачає наявність експериментальної зони, що обмежуватиме переміщення одновісної платформи, її розмір визначається в залежності від габаритів досліджуваної системи за наступними відношеннями: $M=1.5:1$, $L=8:1$ (рис. 3). Зону умовно розділено на вісім секторів a, b, c, d, e, f, g , ширина яких визначається залежно від ширини досліджуваної системи $n=1:1$.

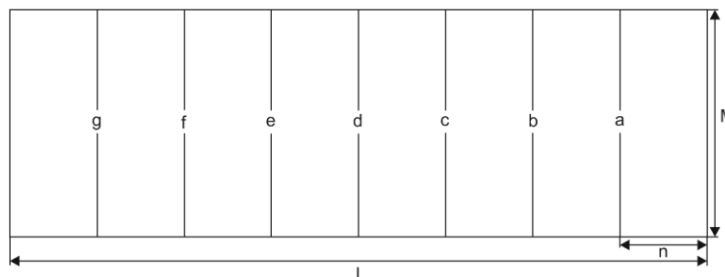


Рис. 3. Експериментальна зона переміщення одновісної платформи

Метод дослідження якості алгоритмів стабілізації одновісної платформи складається з наступних етапів:

- 1) Одновісну систему необхідно розмістити в центрі зони дослідження d .
- 2) Протягом часового інтервалу t , що визначається в залежності від швидкості руху системи, необхідно визначити кількість перетинів окремо ліній a та g .

- 3) Протягом наступного часового інтервалу t_1 необхідно визначити кількість перетинів окремо ліній b та f .
- 4) Протягом наступного часового інтервалу t_2 необхідно визначити кількість перетинів окремо ліній c та e .
- 5) Побудувати графік на основі отриманих результатів, де на осі x – відобразити назви секторів, а на осі y – кількість їх перетину одновісною платформою.
- 6) Етапи 1–5 повторити для всіх алгоритмів стабілізації одновісної платформи.

В результаті роботи описаного методу будуть побудовані графіки для кожного з алгоритмів стабілізації одновісної платформи. Якість алгоритму стабілізації визначається аналітичним шляхом – чим нижчим і «вужчим» є один графік в порівнянні з іншими, тим якіснішим є алгоритм стабілізації, який описує даний графік.

Для порівняння якості алгоритмів стабілізації одновісної платформи було побудовано зону дослідження (рис. 4), де рух інвертованого маятника 1 обмежувався зоною 2, по краях якої було розміщено фотодатчики 3 та 4, навпроти яких знаходилися світлодіоди 5 і 6. Коли досліджувана система під час своєї стабілізації перетинала умовні лінії 7 та 8, це фіксував мікроконтролер, головним завданням якого було підрахувати кількість перетинів окремо ліній 7 та 8. Протягом кожних двох хвилин здійснювалось переміщення датчиків на 8 сантиметрів все ближче до центру зони дослідження, після кожного зміщення датчиків мікроконтролер окремо визначав кількість перетинів кожного нового сегменту.

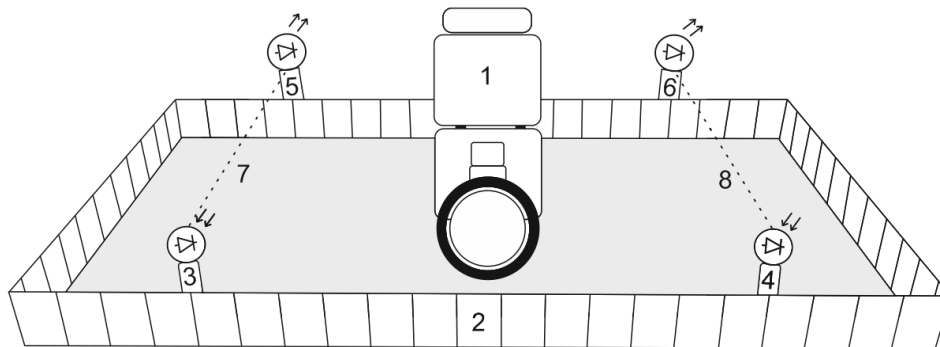


Рис. 4. Макет експериментальної зони переміщення одновісної платформи

На рис. 5 представлено результат порівняння двох алгоритмів стабілізації – математичної моделі на основі рівняння Ейлера-Лагранжа (частина 1 рис. 5) та пропорційно-інтегрально-диференціального (PID) регулятора (частина 2 рис. 2). Оскільки графік частини 2 рис. 5 є нижчим і «вужчим», то більш якісним є алгоритм пропорційно-інтегрально-диференціального (PID) регулятора.

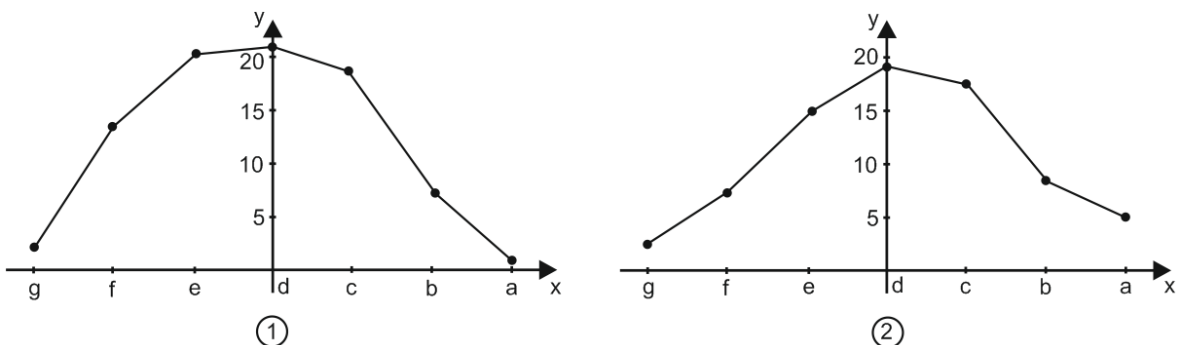


Рис. 5. Результат порівняння двох алгоритмів стабілізації – математичної моделі на основі рівняння Ейлера-Лагранжа (частина 1 р) та пропорційно-інтегрально-диференціального (PID) регулятора (частина 2)

В роботі [13] авторами проведено порівняння систем стабілізації тіла в просторі з використанням аналітичного дослідження, яке також дало можливість обрати PID-регулятор за основу для побудови системи стабілізації, отже, роботоздатність та коректність результатів функціонування розробленого методу підтверджуються іншими дослідженнями.

Висновки

Проведений аналіз відомих методів та рішень в галузі кооперативної робототехніки свідчить про те, що за чималою кількості ефективних рішень наразі в галузі залишається ряд невирішених питань, зокрема, стабілізація одновісної платформи. В статті розроблено модель стабілізації одновісної платформи за допомогою PID-алгоритму в пакеті MATLAB Simulink, яка дозволяє виконати точне налаштування додаткових параметрів одновісної платформи та оптимізувати перехідні процеси, що виникають внаслідок наявності зовнішніх чинників і негативно впливають на реальний прототип. Розроблено також метод дослідження якості алгоритмів стабілізації одновісної платформи, в результаті якого будуються графіки для кожного з алгоритмів стабілізації одновісної платформи, згідно з якими аналітичним шляхом можна визначити якість алгоритму стабілізації – чим нижчим і «вужчим» є один графік в порівнянні з іншими, тим якіснішим є алгоритм стабілізації, що описується даним графіком.

Література

1. Innovation in robotics and safety [Electronic resource]. – Access mode : <https://controlengrussia.com/innovatsii/innovatsii-v-robototekhnike-i-bezopasnost/>.
2. Sadik A. R. Towards a Complex Interaction Scenario in Worker-cobot Reconfigurable Collaborative Manufacturing via Reactive Agent Ontology / S. R. Sadik, B. Urban // The 9-th International Joint Conference on Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management: Proceedings (Madeira, November 1-3, 2017). – Madeira (Portugal), 2017. – P. 27–38.
3. Spasskyi B. Soft robotics in cooperative tasks: the state and prospects of development / B. Spasskyi, V. Titov, I. Shardyko // Robotics and technical cybernetics. – 2018. – Vol. 1(18). – P. 14–25.
4. ISO/TS 15066:2016. Robots and robotic devices – Collaborative robots. – [Introduced 01.06.2016]. – Geneva (Switzerland) : ISO, 2016. – 38 p. – (International standard).
5. Collaborative robot market projected to grow at a CAGR of 50.31% from 2018 to 2025 [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.reportsnreports.com/reports/650005-collaborative-robots-market-by-payload-up-to-5-kg-up-to-10-kg-above-10-kg-application-industry-and-geography-global-forecast-to-2022.html>.
6. Говорущенко Т.О. Сучасні проблеми багатofункціональних кооперативних робототехнічних систем / Т. О. Говорущенко, М. В. Красовський, В. В. Шамрелюк // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2019. – № 30 (106). – С. 134–146.
7. Формальский А. М. О стабилизации перевернутого маятника с неподвижной или подвижной точкой подвеса / А. М. Формальский // ДАН. – 2006. – Т. 406. – № 2. – С. 175–179.
8. Арановский С. В. Синтез наблюдателя в задаче стабилизации обратного маятника с учетом ошибки в датчиках положения / С. В. Арановский, А. Э. Бирюк, Е. В. Никульчев, И. В. Рядчиков, Д. В. Соколов // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2019. – № 2. – С. 145–153
9. Гусев А. Синтез и исследование модели глобального экспоненциально-устойчивого наблюдателя угловой скорости для обратного маятника с маховиком / А. Гусев, Е. Никульчев, И. Рядчиков, Д. Соколов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2018. – № 3. – С. 129–137.
10. Золотухин Ю. Управление перевернутым маятником с подвижной точкой подвеса / Ю. Золотухин, А. Нестеров // Известия Самарского научного центра РАН. – 2018. – № 3. – С. 291–297.
11. Мартыненко Ю. Г. Маятник на подвижном основании / Ю. Г. Мартыненко, А. М. Формальский // Доклады Академии Наук. – 2011. – Том 439. – № 6. – С. 746–751.
12. PID-регуляторы [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://www.bookasutp.ru/Chapter5.aspx>
13. Говорущенко Т.О. Порівняння систем стабілізації тіла в просторі для побудови макету для демонстрації можливостей платформи Arduino / Т. О. Говорущенко, А. А. Явнюк, Є. Г. Гнатчук // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2019. – № 2. – С. 118–123.

References

1. Innovation in robotics and safety [Electronic resource]. – Access mode : <https://controlengrussia.com/innovatsii/innovatsii-v-robototekhnike-i-bezopasnost/>.
2. Sadik A. R. Towards a Complex Interaction Scenario in Worker-cobot Reconfigurable Collaborative Manufacturing via Reactive Agent Ontology / S. R. Sadik, B. Urban // The 9-th International Joint Conference on Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management: Proceedings (Madeira, November 1-3, 2017). – Madeira (Portugal), 2017. – P. 27–38.
3. Spasskyi B. Soft robotics in cooperative tasks: the state and prospects of development / B. Spasskyi, V. Titov, I. Shardyko // Robotics and technical cybernetics. – 2018. – Vol. 1(18). – P. 14–25.
4. ISO/TS 15066:2016. Robots and robotic devices – Collaborative robots. – [Introduced 01.06.2016]. – Geneva (Switzerland) : ISO, 2016. – 38 p. – (International standard).
5. Collaborative robot market projected to grow at a CAGR of 50.31% from 2018 to 2025 [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.reportsnreports.com/reports/650005-collaborative-robots-market-by-payload-up-to-5-kg-up-to-10-kg-above-10-kg-application-industry-and-geography-global-forecast-to-2022.html>.
6. Hovorushchenko T.O. Suchasni problemy bahatofunktsionalnykh kooperatyvnykh robototekhnichnykh system / T. O. Hovorushchenko, M. V. Krasovskiy, V. V. Shamreliuk // Elektrotekhnichni ta kompiuterni systemy. – 2019. – № 30 (106). – S. 134–146.
7. Formalskij A. M. O stabilizatsii perevernutogo mayatnika s nepodvizhnoy ili podvizhnoy tochkoj podvesa / A. M. Formalskij // DAN. – 2006. – T. 406. – № 2. – S. 175–179.
8. Aranovskij S. V. Sintez nablyudatelya v zadache stabilizatsii obratnogo mayatnika s uchetom oshibki v datchikah polozheniya / S. V. Aranovskij, A. E. Biryuk, E. V. Nikulchev, I. V. Ryadchikov, D. V. Sokolov // Izvestiya RAN. Teoriya i sistemy upravleniya. – 2019. – № 2. – S. 145–153
9. Gusev A. Sintez i issledovanie modeli globalnogo eksponencialno-ustojchivogo nablyudatelya uglovoj skorosti dlya obratnogo mayatnika s mahovikom / A. Gusev, E. Nikulchev, I. Ryadchikov, D. Sokolov // Prikaspijskij zhurnal: upravlenie i vysokie tehnologii. – 2018. – № 3. – S. 129–137.
10. Zolotuhin Yu. Upravlenie perevernutym mayatnikom s podvizhnoy tochkoj podvesa / Yu. Zolotuhin, A. Nesterov // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN. – 2018. – № 3. – S. 291–297.
11. Martynenko Yu. G. Mayatnik na podvizhnom osnovanii / Yu. G. Martynenko, A. M. Formalskij // Doklady Akademii Nauk. – 2011. – Tom 439. – № 6. – S. 746–751.
12. PID-regulyatory [Elektronnyj resurs] – Rezhim dostupa : <https://www.bookasutp.ru/Chapter5.aspx>
13. Hovorushchenko T.O. Porivniannia system stabilizatsii tila v prostori dlia pobudovy maketu dlia demonstratsii mozhlyvostei platformy Arduino / T. O. Hovorushchenko, A. A. Yavnyuk, Ye. H. Hnatchuk // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. – 2019. – № 2. – S. 118–123.

ФОРМАЛІЗОВАНЕ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ПРОФІЛІВ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ: СЕМАНТИЧНІ ТАКСОНОМІЧНІ СТРУКТУРИ

В роботі розглядається необхідність формалізованого опису та представлення профілів програмного забезпечення (ПЗ). Проведено аналіз існуючих робіт в цій області і сформульована мета статті – формалізований опис і представлення профілів ПЗ з використанням семантичних таксономічних структур. Для опису профілів ПЗ, наприклад, профілів вимог ПЗ, профілів дефектів ПЗ тощо використовуються семантичні таксономічні структури, які дозволяють точно описати структуру і семантичний зміст профілів ПЗ. У частині структури вони подаються у вигляді ієрархічних, фасетних і змішаних (фасетного-ієрархічних) таксономій. Ієрархічна структура – класифікаційна структура, яка заснована на багаторівневій формі організації об'єктів з суворим співвідношенням об'єктів нижнього рівня певному об'єкту верхнього рівня. Фасетна структура – класифікаційна структура, заснована на поділі множини, що класифікується за кількома класифікаційними ознаками одночасно. Змішана або фасетно-ієрархічна структура об'єднує в собі елементи ієрархічної та фасетної структур. Кожен тип структури включає в себе множини таксонів і множини класифікаційних ознак, які взаємопов'язані між собою і містять семантичне наповнення. Профіль ПЗ у вигляді ієрархічної структури описується наступними матрицями: матрицею суміжності, матрицею відповідності, матрицею семантичного змісту таксонів і матрицею семантичного змісту класифікаційних ознак. Профіль ПЗ у вигляді фасетної структури описується наступними матрицями: матрицею відповідності, матрицею семантичного змісту таксонів і матрицею семантичного змісту фасет. У рамках подальших досліджень планується детально розглянути і представити формалізований опис операцій над семантичними таксономічними структурами, а також надати реальний приклад опису та формування профілю ПЗ.

Ключові слова: профіль ПЗ, формалізований опис профілю ПЗ, семантичні таксономічні структури, ієрархічні структури, фасетні структури, фасетно-ієрархічні структури.

OLEKSANDR GORDIEIEV, ANDREY LAPSHIN
Banking University

FORMALIZED DESCRIPTION OF SOFTWARE PROFILES: SEMANTIC TAXONOMIC STRUCTURES

The paper considers the need for a formalized description and presentation of software profiles. The analysis of existing work in this area is carried out. The goal of this paper is a formalized description and presentation of software profiles using semantic taxonomic structures. To describe software profiles, for example, software requirements profiles, software defect profiles, etc., semantic taxonomic structures are used that accurately describe the structure and semantic content of software profiles. In terms of structure they are represented in the form of hierarchical, faceted and mixed (facet-hierarchical) taxonomies. A hierarchical structure is a classification structure, which is based on a multi-level form of objects organization with a strict correlation of lower-level objects to a certain upper-level object. Faceted structure is a classification structure based on dividing a classified set by several classification features at the same time. A mixed or facet-hierarchical structure combines the elements of a hierarchical and facet structure. Each type of structure includes many taxa and many classification features that are interconnected and contain semantic content. A software profile in the form of a hierarchical structure is described by the following matrices: the adjacency matrix, the correspondence matrix, the semantic content matrix of taxa and the semantic content matrix of classification features. A software profile in the form of a facet structure is described by the following matrices: a correspondence matrix, a matrix of semantic content of taxa, and a matrix of semantic content of facets. As part of further research, it is planned to examine in detail and present a formalized description of operations on semantic taxonomic structures and to provide a real example of description and formation of a software profile.

Keywords: software profile, formalized description of software profile, semantic taxonomic structures, hierarchical structures, faceted structures, faceted hierarchical structures.

Постановка проблеми

Протягом процесу розробки програмного забезпечення залежно від етапу життєвого циклу (ЖЦ) програмного забезпечення (ПЗ) передбачається формування множини вербальних елементів, які представлені у вигляді структури з певним семантичним змістом. Прикладами таких множин вербальних елементів є характеристики ПЗ, вимоги ПЗ, ризики ПЗ, тести ПЗ, дефекти ПЗ, техніки верифікації ПЗ, метрик оцінки ПЗ тощо. Загальною назвою для позначених множин є профіль ПЗ [1] відповідного типу, а процес його формування називають профілюванням ПЗ. Типами профілю ПЗ є профіль характеристик ПЗ, профіль вимог ПЗ, профіль ризиків ПЗ, профіль тестів ПЗ, профіль дефектів ПЗ, профіль технік верифікації ПЗ, профіль метрик оцінки ПЗ. Робота з формування профілів ПЗ виконується, як правило, експертом аналітично, використовуючи національну і міжнародну нормативну базу, а також відповідні ретроспективні дані (більшою мірою вони необхідні в ході формування профілю тестів і дефектів). Така робота вимагає від експерта відповідного досвіду, знань і зосередженості. Відсутність автоматизації при виконанні такої роботи підвищує ризик здійснення помилки експертом, а також вимагає від нього істотних витрат часу. Автоматизація процесу профілювання передбачає формалізоване представлення і опис типів профілів ПЗ. Відсутність такої формалізації не може забезпечити навіть часткову автоматизацію процесу профілювання ПЗ і, як наслідок, формування профілю ПЗ автоматизовано.

Аналіз останніх джерел

Аналіз існуючих робіт, у яких представлені структури, які підходять для формального опису типів профілів програмного забезпечення, дозволив об'єднати їх в наступні групи:

- перша група робіт, у яких представлена і описана проблема формалізації представлення профілів ПЗ [2–4]; у таких дослідженнях автори не пропонують варіанти формалізованого опису профілів ПЗ;
- друга група робіт, у яких автори для опису профілів ПЗ пропонують використання таксономічних фасетного-ієрархічних структур [5–8]; у таких роботах розглядається представлення профілів ПЗ тільки на рівні їх структур: ієрархічна, фасетна і змішана – фасетно-ієрархічна;
- третя група робіт, у яких представлені елементи формального представлення і опису профілів програмного забезпечення [9–11], проте повноцінний опис і представлення відсутні.

У зв'язку з цим **метою роботи** є формалізований опис і представлення профілів ПЗ з використанням семантичних таксономічних структур.

Виклад основного матеріалу

Будемо вважати, що терміни «об'ємні» і «семантичні» є еквівалентними так само, як і «плоскі», і «несемантичні».

Представимо об'ємні таксономічні структури в теоретико-множинному вигляді.

Раніше в роботах [7, 8] аналізувалися тільки так звані «плоскі таксономічні структури», які для ієрархічних структур (TS_H) описувалися наступним чином (1):

$$TS_H = \{CF_H, T_H, \Psi_H\}, \tag{1}$$

де CF_H (CF – classification features, H – hyerahical) – множина класифікаційних ознак ієрархічних структур, T_H (T – taxons) – множина таксонів у ієрархічній структурі, Ψ_H – відношення між CF_H и T_H .

Семантичні (об'ємні) таксономічні структури мають істотну відмінність від звичайних плоских таксономічних структур. Плоскі таксономічні структури враховують тільки структурні зв'язки між своїми елементами (таксонами і класифікаційними ознаками (фасетами)), а в об'ємних таксономічних структурах додатково подається і описується семантичний зміст елементів. Таким чином, застосування об'ємних таксономічних структур під час представлення та опису профілів ПЗ забезпечує наступні переваги:

1. Більш суворо формалізований, а, отже, більш повний і точний опис профілю вимог ПЗ і, відповідно, самого процесу профілювання.
2. Процес профілювання може бути більш автоматизованим, а його результат (профіль вимог ПЗ) – більш точним, повним і достовірним.

Таким чином, при описі і профілюванні вимог ПЗ краще застосовувати семантичні (об'ємні) таксономічні структури. У зв'язку з цим елементи таксономічних структур будуть розглядатися як елементи об'ємних таксономічних структур, тобто замість таксонів будемо застосовувати семантичні таксони, а замість класифікаційних ознак – семантичні класифікаційні ознаки (рис. 1).

Дамо пояснення позначенням, які представлені на рис. 1:

- $TE_{tts(i),j}$ – TE -таксони (taxon element), tts – тип таксономічної структури (type of taxonomic structure), i – номер таксономічної структури, j – номер елемента по порядку;
- $STE_{tts(i),j}$ – STE – семантичні таксони (semantic taxon elements), tts – тип таксономічної структури (type of taxonomic structure), i – номер таксономічної структури, j – номер елемента по порядку;
- $CFE_{tts(i),j}$ – CFE – класифікаційні ознаки (classification feature elements), tts – тип таксономічної структури (type of taxonomic structure), i – номер

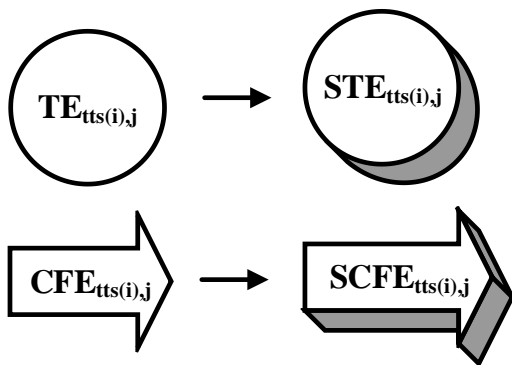


Рис. 1. Заміщення плоских елементів таксономічних структур об'ємними

- $SCFE_{tts(i),j}$ – $SCFE$ – семантичні класифікаційні ознаки (semantic classification feature elements), tts – тип таксономічної структури (type of taxonomic structure), i – номер таксономічної структури, j – номер елемента по порядку.

Таким чином, при подальшому викладенні матеріалу замість поняття «таксономічні структури» будемо використовувати поняття «об'ємні таксономічні структури» (рис. 2).

Будемо вважати, що далі в ході викладу матеріалу наступні пари понять будуть еквівалентними: «семантична таксономічна структура» і «таксономічна структура», «семантична ієрархічна структура» і «ієрархічна структура», «семантична фасетна структура» і «фасетна структура», «семантична класифікаційна ознака» і «класифікаційна ознака», «семантичний таксон» і «таксон».

Відзначимо, що в даній роботі для семантичних таксонів і семантичних класифікаційних ознак, що входять до складу об'ємних ієрархічних структур, порядок має значимий характер. Для об'ємних фасетних структур порядок не важливий. У зв'язку з цим для опису елементів об'ємних ієрархічних структур буде застосовуватися кортеж або впорядкована множина (позначається $\langle \dots \rangle$), а для об'ємних фасетних структур

– звичайна неупорядкована множина (позначається $\{\dots\}$).

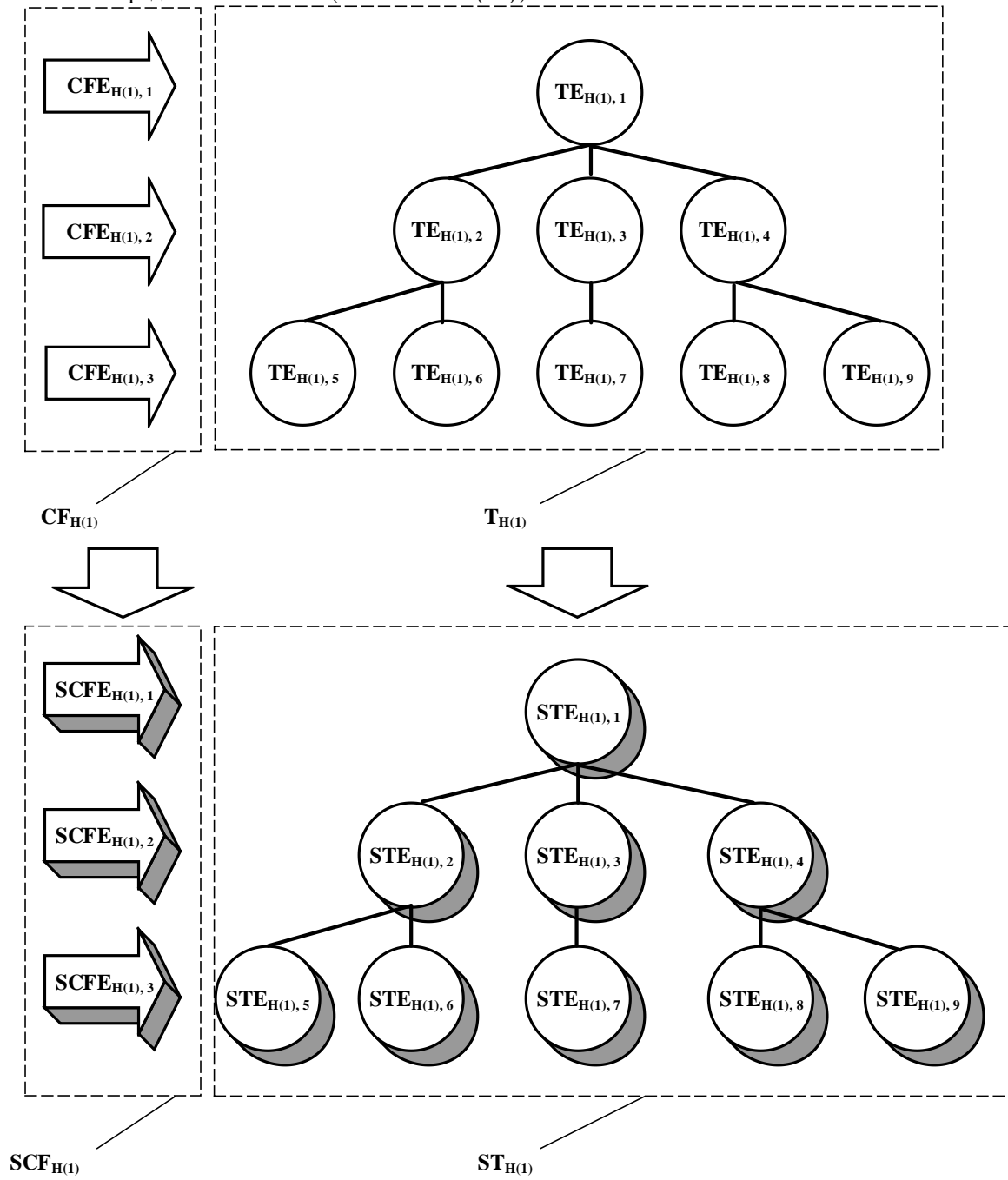


Рис. 2. Заміщення плоских таксономічних структур об'ємними таксономічними структурами

Дослідимо варіанти представлення об'ємних таксономічних структур. Об'ємна ієрархічна таксономічна структура ($STS_{H(i)}$ – Semantic Taxonomic Structure) (рис. 3) може бути представлена як множина, що складається з трьох елементів (2):

$$STS_{H(i)} = \{SCF_{H(i)}, ST_{H(i)}, \Psi_{H(i)}\}, \quad (2)$$

де $SCF_{H(i)}$ – множина (кортеж) семантичних класифікаційних ознак в об'ємній ієрархічній структурі $SCF_{H(i)} = \langle SCFE_{H(i),j} \rangle_{j=1}^n$, $ST_{H(i)}$ – множина (кортеж) семантичних таксонів в об'ємній ієрархічній структурі, $ST_{H(i)} = \langle \dots \langle STE_{H(i),j..k} \rangle \dots \rangle$ – вкладені кортежи, які забезпечують можливість опису підпорядкованості ієрархій, $\Psi_{H(i)}$ – відношення між елементами множин $SCF_{H(i)}$ и $ST_{H(i)}$, причому:

- $\Delta ST_{H(i)} = \langle STE_{H(i),j} \rangle_{j=1}^n$ – підмножина (кортеж) семантичних таксонів в об'ємній ієрархічній структурі, що відповідає семантичній класифікаційній ознаці;

- $\Psi : \forall SCFE_{H(i)} \leftrightarrow \Delta STE_{H(i)} \subset ST_{H(i)}$ – відношення між семантичними класифікаційними ознаками і множиною семантичних таксонів в об'ємній ієрархічній структурі.

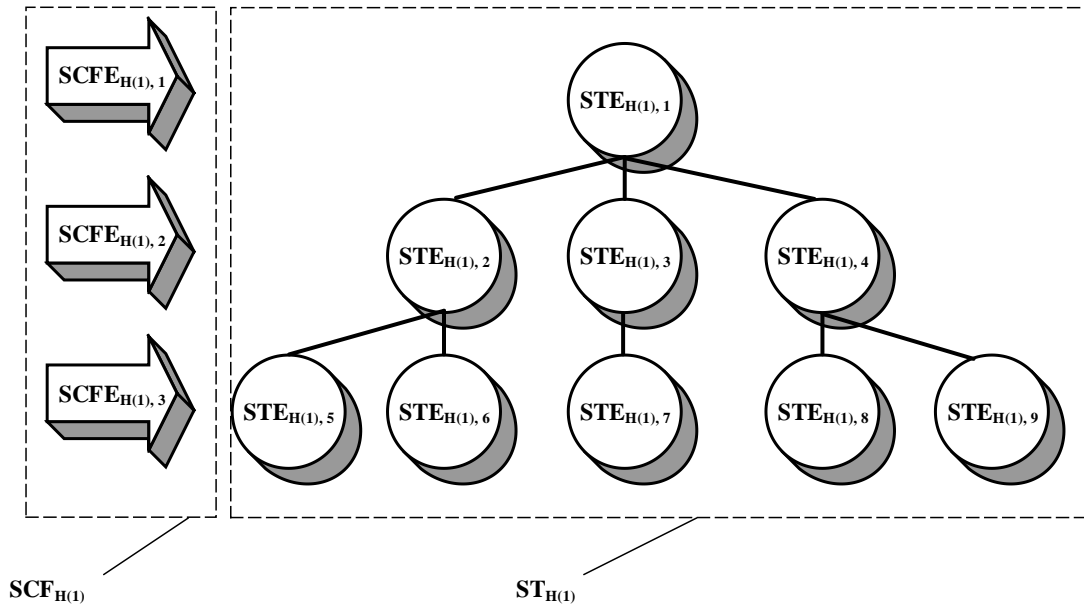


Рис. 3. Об'ємна ієрархічна структура

Для подання об'ємних фасетних таксономічних структур ($STS_{F(i)}$) (рис. 4) використовується наступний запис (3):

$$STS_{F(i)} = \{SCF_{F(i)}, ST_{F(i)}, \Psi_{F(i)}\}, \quad (3)$$

де $SCF_{F(i)}$ – множина семантичних класифікаційних ознак (тобто фасет) $SCF_{F(i)} = \{SCFE_{F(i),j}\}_{j=1}^n$, $ST_{F(i)}$ – множина семантичних таксонів $ST_{F(i)} = \{STE_{F(i),j}\}_{j=1}^n$, $\Psi_{F(i)}$ – відношення між елементами множин $SCF_{F(i)}$ и $ST_{F(i)}$ причому:

- $SCF_{F(i)} = \{SCFE_{F(i),j}\}_{j=1}^n$ – множина семантичних класифікаційних ознак у фасетній структурі;
- $ST_{F(i)} = \cup_{j=1}^n \Delta STE_{F(i),j}$ – множина семантичних таксонів у фасетній структурі, яка складається з

об'єднання кожного з підмножин $\Delta STT_{F(i)}$, що відповідає класифікаційній ознаці (фасетному ряду);

- $\Delta STE_{F(i)} = \{ste_{F(i),j}\}_{j=1}^n$ – множина семантичних таксонів, що відповідає семантичній класифікаційній ознаці (фасетному ряду);
- $\Delta STE_{F(i),k} \cap \Delta STE_{F(j),p} = \emptyset$ – підмножини семантичних таксонів, які відповідають різним непересічним семантичним класифікаційними ознаками (фасетним рядам);
- $\Psi : \forall SCFE_{F(i),j} \leftrightarrow \Delta STE_{F(i),p} \subset ST_{F(i),k}$ – відношення між семантичними таксономічними ознаками і множиною семантичних таксонів у фасетній структурі.

Об'ємна ієрархічна структура (рис. 3) описується наступним чином:

$$ST_{H(1)} = \left\{ \begin{array}{l} STE_{H(1),1}, STE_{H(1),2}, STE_{H(1),3}, STE_{H(1),4}, STE_{H(1),5}, \\ STE_{H(1),6}, STE_{H(1),7}, STE_{H(1),8}, STE_{H(1),9} \end{array} \right\} \quad - \text{множина}$$

семантичних таксонів;

$$SCF_{H(1)} = \{SCFE_{H(1),1}, SCFE_{H(1),1}, SCFE_{H(1),3}\} \quad - \text{множина елементів}$$

семантичних класифікаційних ознак.

Об'ємна фасетна структура (рис. 4) описується наступним чином:

- $ST_{F(1)} = \left\{ STE_{F(1),1}, STE_{F(1),2}, STE_{F(1),3}, STE_{F(1),4}, STE_{F(1),5}, \right.$
 $\left. STE_{F(1),6}, STE_{F(1),7}, STE_{F(1),8}, STE_{F(1),9} \right\}$ – множина семантичних таксонів;
 - $SCF_{F(1)} = \left\{ SCFE_{F(1),1}, SCFE_{F(1),2}, SCFE_{F(1),3} \right\}$ – множина елементів семантичних класифікаційних ознак (фасет).

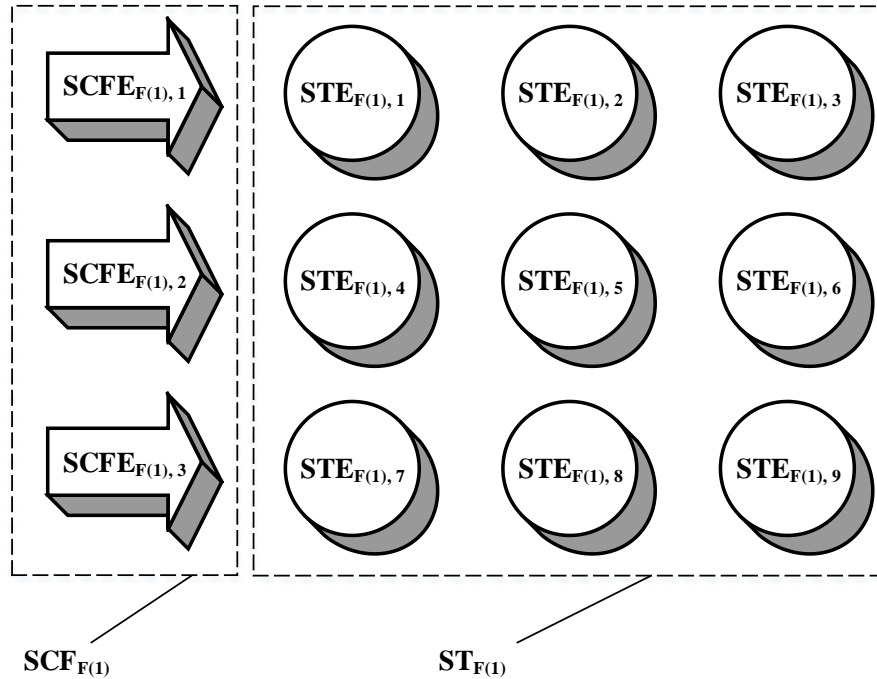


Рис. 4. Об'ємна фасетна структура

Будемо вважати, що неподільним семантичним елементом для об'ємних таксономічних структур є слово в реченні або ж стійке словосполучення за умови, що його поділ на окремі слова буде спотворювати зміст.

Подамо матрично-множинне представлення об'ємних таксономічних структур окремо для ієрархічних і фасетних структур.

Відзначимо, що об'ємні таксономічні структури описуються 4 матрицями:

- матриця суміжності для опису структурних зв'язків між таксонами (табл. 1); відзначимо, що під час опису об'ємної фасетної структури матриця суміжності відсутня, оскільки у фасетній структурі відсутні структурні зв'язки між таксонами;
- матриця відповідності для опису структурних зв'язків між класифікаційними ознаками (табл. 2, 5);
- матриця (таблиця) семантичного змісту таксонів для позначення семантичного індексу таксонів (його назви) і всієї їх семантики (табл. 3, 6);
- матриця (таблиця) семантичного змісту класифікаційних ознак (фасет) для позначення семантичного індексу класифікаційних ознак і всієї їх семантики (табл. 4, 7).

Таблиця 1

Матриця суміжності

	$STE_{H(1),1}$	$STE_{H(1),2}$	$STE_{H(1),3}$	$STE_{H(1),4}$	$STE_{H(1),5}$	$STE_{H(1),6}$	$STE_{H(1),7}$	$STE_{H(1),8}$	$STE_{H(1),9}$
$STE_{H(1),1}$	0	1	1	1	0	0	0	0	0
$STE_{H(1),2}$	1	0	0	0	1	1	0	0	0
$STE_{H(1),3}$	1	0	0	0	0	0	1	0	0
$STE_{H(1),4}$	1	0	0	0	0	0	0	1	1
$STE_{H(1),5}$	0	1	0	0	0	0	0	0	0
$STE_{H(1),6}$	0	1	0	0	0	0	0	0	0
$STE_{H(1),7}$	0	0	1	0	0	0	0	0	0
$STE_{H(1),8}$	0	0	0	1	0	0	0	0	0
$STE_{H(1),9}$	0	0	0	1	0	0	0	0	0

Таблиця 2

Матриця відповідності

	$STE_{H(1),1}$	$STE_{H(1),2}$	$STE_{H(1),3}$	$STE_{H(1),4}$	$STE_{H(1),5}$	$STE_{H(1),6}$	$STE_{H(1),7}$	$STE_{H(1),8}$	$STE_{H(1),9}$
$SCFE_{H(1),1}$	1	0	0	0	0	0	0	0	0
$SCFE_{H(1),2}$	0	1	1	1	0	0	0	0	0
$SCFE_{H(1),3}$	1	0	0	0	1	1	1	1	1

Таблиця 3

Матриця семантичного змісту таксонів

Позначення таксона	Семантичний індекс таксона	Семантичний зміст таксона
$STE_{H(1),1}$	Семантичний індекс таксона 1	Вимога 1
$STE_{H(1),2}$	Семантичний індекс таксона 2	Вимога 2
$STE_{H(1),3}$	Семантичний індекс таксона 3	Вимога 3
$STE_{H(1),4}$	Семантичний індекс таксона 4	Вимога 4
$STE_{H(1),5}$	Семантичний індекс таксона 5	Вимога 5
$STE_{H(1),6}$	Семантичний індекс таксона 6	Вимога 6
$STE_{H(1),7}$	Семантичний індекс таксона 7	Вимога 7
$STE_{H(1),8}$	Семантичний індекс таксона 8	Вимога 8
$STE_{H(1),9}$	Семантичний індекс таксона 9	Вимога 9

Таблиця 4

Матриця семантичного змісту класифікаційних ознак

Позначення класифікаційної ознаки	Семантичний індекс класифікаційної ознаки	Семантичний зміст класифікаційної ознаки
$SCFE_{H(1),1}$	Індекс класифікаційної ознаки 1	Класифікаційна ознака 1
$SCFE_{H(1),2}$	Індекс класифікаційної ознаки 2	Класифікаційна ознака 2
$SCFE_{H(1),3}$	Індекс класифікаційної ознаки 3	Класифікаційна ознака 3

Таблиця 5

Матриця відповідності

	$STE_{F(1),1}$	$STE_{F(1),2}$	$STE_{F(1),3}$	$STE_{F(1),4}$	$STE_{F(1),5}$	$STE_{F(1),6}$	$STE_{F(1),7}$	$STE_{F(1),8}$	$STE_{F(1),9}$
$SCFE_{F(1),1}$	1	0	0	0	0	0	0	0	0
$SCFE_{F(1),2}$	0	1	1	1	0	0	0	0	0
$SCFE_{F(1),3}$	1	0	0	0	1	1	1	1	1

Таблиця 6

Матриця семантичного змісту таксонів

Позначення таксона	Семантичний індекс таксона	Семантичний зміст таксона
$STE_{F(1),1}$	Семантичний індекс таксона 1	Вимога 1
$STE_{F(1),2}$	Семантичний індекс таксона 2	Вимога 2
$STE_{F(1),3}$	Семантичний індекс таксона 3	Вимога 3
$STE_{F(1),4}$	Семантичний індекс таксона 4	Вимога 4
$STE_{F(1),5}$	Семантичний індекс таксона 5	Вимога 5
$STE_{F(1),6}$	Семантичний індекс таксона 6	Вимога 6
$STE_{F(1),7}$	Семантичний індекс таксона 7	Вимога 7
$STE_{F(1),8}$	Семантичний індекс таксона 8	Вимога 8
$STE_{F(1),9}$	Семантичний індекс таксона 9	Вимога 9

Таблиця 7

Матриця семантичного змісту фасет

Позначення класифікаційної ознаки	Семантичний індекс класифікаційної ознаки	Семантичний зміст класифікаційної ознаки
$SCFE_{F(1),1}$	Індекс класифікаційної ознаки 1	Класифікаційна ознака 1
$SCFE_{F(1),2}$	Індекс класифікаційної ознаки 2	Класифікаційна ознака 2
$SCFE_{F(1),3}$	Індекс класифікаційної ознаки 3	Класифікаційна ознака 3

Висновки

У статті запропоновано формалізоване представлення і опис профілів ПЗ у вигляді таксономічних структур з семантичним наповненням. Зокрема, окремо представлено опис у вигляді ієрархічної та фасетної структур. Надалі

планується більш детально розглянути і представити формалізований опис операцій над семантичними таксономічними структурами, а також надати реальний приклад опису та формування профілю ПЗ.

Література

1. Watts H., Daughtrey T. The software quality profile. Fundamental Concepts for the Software Quality Engineer, American Society for Quality (ASQ). 2001, p. 3–17.
2. Андрашов А.А. Анализ моделей представления требований к программному обеспечению при их профилировании / А.А. Андрашов, Ю.А. Кременчуцкий, В.С. Харченко // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. – 2009. – № 7(41). – С. 186–191.
3. Yu Chen Zhen, Shengji Yao, Jian Qiang Lin, Yong Zeng, Armin Eberlein. Formalisation of product requirements: From natural language descriptions to formal specifications. International Journal of Manufacturing Research (IJMR). 2007. Vol. 2, No. 3. p. 362–387.
4. Шостак И. В. Подход к автоматизации процесса формирования нормативного профиля при сертификации программных продуктов / И. В. Шостак, Ю. И. Бутенко // Системы обработки информации. – 2010. – № 8 (89). – С. 122–126.
5. Андрашов А.А. Таксономические модели профилирования требований информационно-управляющих систем критического применения / А.А. Андрашов // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. – 2010. – № 7(48). – С. 104–108.
6. Андрашов А.А. Фасетно-иерархические семантические структуры в задачах обеспечения качества программного обеспечения / А.А. Андрашов // Интегрированные компьютерные технологии в машиностроении «ИКТМ-2008»: материалы Междунар. науч.-техн. конф., м. Харьков. – 2008. – Т. 2. – С. 204.
7. Гордеев О.О. Фасетно-иерархические структуры у задачах оценки качества программного обеспечения / О.О. Гордеев, В.С. Харченко // Информационные технологии та компьютерная инженерия. – 2005. – № 3. – С. 190–196.
8. Гордеев А.А. Профилирование дефектов и требований ПО с использованием операций над таксономическими структурами / А.А. Гордеев // Междунар. науч.-техн. конф. «Интегрированные компьютерные технологии в машиностроении» (ИКТМ-2005). – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2005. – С. 364.
9. Бутенко Ю. И. Онтологическая модель формирования нормативного профиля для сертификации систем критического применения / Ю. И. Бутенко // Современные направления информационно-коммуникационных технологий та засобів управління: тез. доп. Першої наук.-техн. конф. – Харьков, 2010. – С. 40.
10. Шостак И.В. Знаниеориентированные методы формирования нормативных профилей к системам критического применения на основе онтологий / И.В. Шостак, Ю.И. Бутенко, Е.И. Шостак // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. – 2010. – № 5. – С. 104–108.
11. Шостак И. В. Классификационная модель текстов нормативной базы при экспертировании программного обеспечения / И.В. Шостак, Ю.И. Бутенко // II Всеукраїнська науково-практична конференція «Інтелектуальні системи та прикладна лінгвістика», 28 березня, м. Харьков. – 2013. – С. 20–23.

References

1. Watts H., Daughtrey T. The software quality profile. Fundamental Concepts for the Software Quality Engineer, American Society for Quality (ASQ). 2001, p. 3–17.
2. Andrashov A.A. Analiz modelej predstavleniya trebovanij k programnomu obespecheniyu pri ih profilirovani / A.A. Andrashov, Yu.A. Kremenchuckij, V.S. Harchenko // Radioelektronni i kompiuterni systemy. – 2009. – № 7(41). – S. 186–191.
3. Yu Chen Zhen, Shengji Yao, Jian Qiang Lin, Yong Zeng, Armin Eberlein. Formalisation of product requirements: From natural language descriptions to formal specifications. International Journal of Manufacturing Research (IJMR). 2007. Vol. 2, No. 3. p. 362–387.
4. Shostak I. V. Podhod k avtomatizacii processa formirovaniya normativnogo profilya pri sertifikacii programmyh produktov / I. V. Shostak, Yu. I. Butenko // Systemy obrobky informatsii. – 2010. – № 8 (89). – S. 122–126.
5. Andrashov A.A. Taksonomicheskie modeli profilirovaniya trebovanij informacionno-upravlyayushih sistem kriticheskogo primeneniya / A.A. Andrashov // Radioelektronni i kompiuterni systemy. – 2010. – № 7(48). – S. 104–108.
6. Andrashov A.A. Fasetno-ierarhicheskie semanticheskie struktury v zadachah obespecheniya kachestva programnogo obespecheniya / A.A. Andrashov // Intehrovani kompiuterni tekhnologii v mashynobuduvanni «IKTM-2008»: materialy Mizhnar. nauk.-tekhn. konf., m. Kharkiv. – 2008. – T. 2. – S. 204.
7. Hordieiev O.O. Fasetno-ierarkhichni struktury u zadachakh otsinky yakosti prohramnoho zabezpechennia / O.O. Hordieiev, V.S. Kharchenko // Informatsiini tekhnologii ta kompiuterna inzheneriia. – 2005. – № 3. – S. 190–196.
8. Gordeev A.A. Profilirovanie defektov i trebovanij PO s ispolzovaniem operacij nad taksonomicheskimi strukturami / A.A. Gordeev // Mizhnar. nauk.-tekhn. konf. «Intehrovani kompiuterni tekhnologii v mashynobuduvanni» (IKTM-2005). – Kharkiv: NAKU «KhAI», 2005. – S. 364.
9. Butenko Yu. I. Ontologicheskaya model formirovaniya normativnogo profilya dlya sertifikacii sistem kriticheskogo primeneniya / Yu. I. Butenko // Suchasni napriamky informatsiino-komunikatsiinykh tekhnologii ta zasobiv upravlinnia: tez. dop. Pershoi nauk.-tekhn. konf. – Kharkiv, 2010. – S. 40.
10. Shostak I.V. Znanieorientirovannye metody formirovaniya normativnyh profilej k sistemam kriticheskogo primeneniya na osnove ontologii / I.V. Shostak, Yu.I. Butenko, E.I. Shostak // Radioelektronni i kompiuterni systemy. – 2010. – № 5. – С. 104–108.
11. Shostak I. V. Klassifikacionnaya model tekstov normativnoj bazy pri ekspertirovanii programnogo obespecheniya / I.V. Shostak, Yu.I. Butenko // II Vseukrainska naukovopraktychna konferentsiia «Intelektualni systemy ta prykladna linhvistyka», 28 bereznia, m. Kharkiv. – 2013. – С. 20–23.

Рецензія/Peer review : 23.5.2020 р.

Надрукована/Printed : 16.6.2020 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ПРИКОЧУВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ КОМБІНОВАНОГО ПОСІВНОГО АГРЕГАТУ

Гребенева технологія обробітку просапних культур забезпечує більш сприятливі умови для проростання насіння і розвитку рослин в порівнянні з суцільним посівом. Однак сівалки і ґрунтообробні катки для гребневого посіву не повністю відповідають агротехнічним вимогам: вони енерговитратні, металомісткі, а також мають низький рівень універсалізації. Мета дослідження – підвищення якості посіву просапних культур на основі застосування ресурсозберігаючих технологій і засобів механізації. Для досягнення поставленої мети запропонований гребневий спосіб посіву просапних культур. Він полягає в одночасному виконанні декількох операцій за один прохід агрегату: передпосівної культивування, висіву насіння, внесення мінеральних добрив і формування ущільненого гребеня ґрунту над висіяним насінням. Для реалізації гребневого способу посіву просапних культур розроблений комбінований посівний агрегат. Виконано експериментальні дослідження процесу формування гребеня ґрунту катком-гребнеутворювачем. Для узагальненої оцінки впливу незалежних факторів на процес формування гребеня ґрунту обраний параметр оптимізації – коефіцієнт відповідності еталону, який характеризує ступінь відповідності фактичних розмірів гребеня і щільності ґрунту агротехнічним вимогам. Аналіз математичних моделей формування гребеня ґрунту показав, що максимальне значення коефіцієнта відповідності еталону (0,91) досягається, якщо швидкість руху агрегату дорівнює 5,1 км/год, кут атаки сферичних дисків – 13°, зусилля стиснення пружини катка – 630 Н, зміщення прикочувальних кілець – 8 см. Виробничі випробування підтвердили відповідність якості гребеня агротехнічним вимогам. При гребневому посіві сходи кукурудзи з'явилися на 1-2 дні раніше, ніж на контрольних ділянках, а рослини розвивалися краще. В результаті врожайність зеленої маси виявилася на 17,2% вище. Експлуатаційні витрати на обробіток кукурудзи знизилися на 39%.

Ключові слова: гребневий посів, ґрунтообробний посівний агрегат, каток-гребнеутворювач, коефіцієнт відповідності еталону, економічна ефективність.

OPTIMISATION OF PARAMETERS OF THE PRESS WHEEL OF THE COMBINED SOWING UNIT

Comb cultivation technology of cultivated crops provides more favourable conditions for seed germination and plant development compared to continuous sowing. However, seeders and tillage rollers do not fully meet the agro-technical requirements: they are energy-efficient, metal-intensive and have a low level of versatility. The purpose of the study is to improve the quality of sowing crops on the basis of the use of resource-saving technologies and means of mechanization. To achieve this goal, a comb method of sowing cultivated crops is proposed. It consists in the simultaneous execution of several operations in one pass of the unit: pre-sowing cultivation, sowing of seeds, application of mineral fertilizers and formation of compacted soil ridge over sown seeds. For the implementation of the comb method of sowing cultivated crops combined sowing unit was developed. Experimental researches of the process of formation of a ridge of soil by a roller-ridge-forming have been made. For a generalized assessment of the influence of independent factors on the process of soil crest formation, the optimization parameter is chosen – the coefficient of conformity of the standard, which characterizes the degree of conformity of the actual size of the crest and the density of the soil to agrotechnical requirements. Analysis of mathematical models of soil crest formation showed that the maximum value of the standard of coefficient of correspondence (0.91) is reached if the speed of movement of the unit is 5.1 km/h, the angle of attack of the spherical disks – 13°, the compression force of the spring roller – 630 N, displacement connecting rings – 8 cm. Production tests have confirmed the quality of the comb agrotechnical requirements. When sowing corn seedlings appeared 1-2 days earlier than in the control areas, and the plants developed better. As a result, the green mass yield was 17.2% higher. Maize operating costs were reduced by 39%.

Keywords: ridge sowing, soil tillage unit, roller-rake, coefficient of conformity of the standard, economic efficiency.

Вступ

Державна програма розвитку сільського господарства країни передбачає його технологічну та технічну модернізацію. Реалізація цієї програми можлива завдяки розробці і впровадженню у виробництво сучасних ресурсозберігаючих технологій обробітку культур і засобів механізації для їх ефективного здійснення [1–3].

В даний час в багатьох країнах світу широко поширена гребенева технологія, що охоплює широкий спектр оброблюваних культур і дозволяє створити сприятливі температурні, водні та повітряні умови для проростання насіння і розвитку рослин протягом всього періоду вегетації.

Однак, незважаючи на наявний широкий асортимент посівних машин і знарядь для гребневого посіву, аналіз їх конструкцій показав, що сівалки і ґрунтообробні катки в повному обсязі відповідають агротехнічним вимогам: вони енерговитратні, металомісткі, а також мають низький рівень універсалізації. Тому актуальною є задача створення знарядь і їх робочих органів, що забезпечують виконання агротехнічних вимог при посіві просапних культур з низькими експлуатаційними витратами.

Мета роботи

Мета дослідження – підвищення якості посіву просапних культур на основі застосування ресурсозберігаючих технологій і засобів механізації.

Матеріали і методи

Для досягнення поставленої мети, а також для усунення вищезгаданих недоліків авторами запропонований гребеневий спосіб посіву просапних культур [4]. Він передбачає одночасне виконання операцій передпосівної культивуації, висіву насіння, внесення мінеральних добрив і формування ущільненого гребня ґрунту над висіяним насінням за один прохід агрегату. Це покращує умови проростання насіння і в кінцевому підсумку збільшує врожайність вирощуваних культур [5]. Для реалізації запропонованого гребеневого способу посіву просапних культур розроблений комбінований посівний агрегат (рис. 1). На його рамі 1 встановлені бункери для насіння 2 і посівні секції 3. Кожна секція обладнана сошником 4, виконаним у вигляді стрілкової лапи, і загортачем 5.

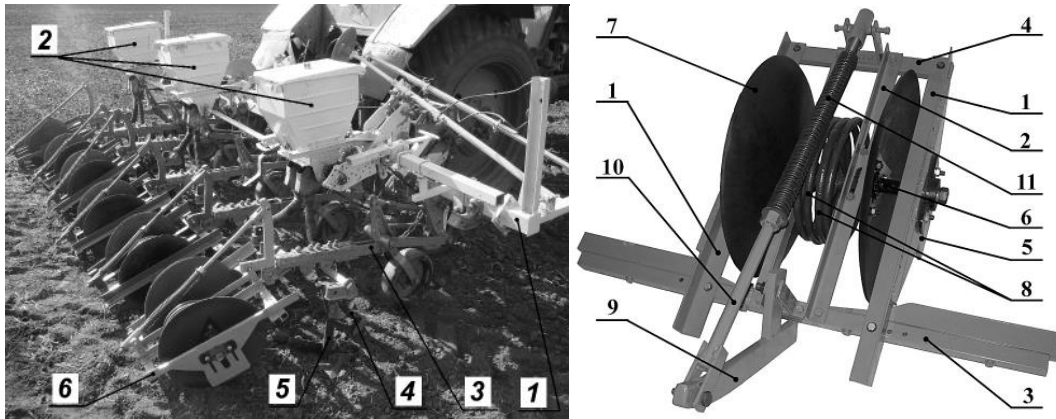


Рис. 1. Комбінований посівний агрегат: каток-гребнеутворювач: 1 – бокові балки; 2 – поздовжні балки; 3 – передня балка; 4 – задня балка; 5 – пластина з прорізами; 6 – піввісь; 7 – сферичні диски; 8 – прикочувальні кільця; 9 – кронштейн; 10 – штанга; 11 – пружина

Для формування гребнів ґрунту кожна посівна секція оснащена катком 6 [6, 7]. Конструктивні особливості катка дозволяють формувати гребні ґрунту необхідної якості (рис. 1).

Для оптимізації конструктивно-режимних параметрів катка був складений алгоритм, відповідно до якого виконані експериментальні дослідження процесу формування гребня ґрунту катком. Для узагальненої оцінки впливу незалежних факторів на процес формування гребня ґрунту обраний параметр оптимізації – коефіцієнт відповідності еталону $k_{\text{еє}}$, який характеризує ступінь наближення фактичних розмірів гребня і щільності ґрунту агротехнічним вимогам:

$$k_{\text{еє}} = \left[1 - \left(\left| \rho_{\text{онм}} - \rho_3 / \rho_{\text{онм}} \right| \right) \right] \left[1 - \left(\left| S_{\text{онм}} - S_3 / S_{\text{онм}} \right| \right) \right] \quad (1)$$

де $\rho_{\text{онм}}$ – оптимальна щільність ґрунту на глибині загортання насіння, що регламентується агро вимогами до обробітки просапних культур, $\text{кг}/\text{м}^3$; ρ_3 – щільність ґрунту в гребні, отримана після проведення експерименту, $\text{кг}/\text{м}^3$; $S_{\text{онм}}$ – оптимальна площа гребня, відповідна агро вимогами, м^2 ; S_3 – площа перетину гребня, отримана після проведення експерименту, м^2 .

При повній відповідності параметрів формованого гребня ґрунту агротехнічним вимогам $k_{\text{еє}} = 1$. Цей критерій є універсальним і дозволяє оцінити якість обробки ґрунту катками такого типу. В якості основних незалежних факторів, що роблять найбільший вплив на процес формування гребня ґрунту, були обрані: x_1 – швидкість руху v катка; x_2 – зусилля стиснення $F_{\text{пр}}$ пружини; x_3 – кут атаки α сферичних дисків; x_4 – зміщення λ прикочувальних кілець. При різних поєднаннях незалежних факторів визначено геометричні розміри сформованого гребня ґрунту. Потім визначали щільність ґрунту ρ_3 в центральній частині гребня на глибині залягання насіння. Після цього, з урахуванням оптимальної щільності ґрунту $\rho_{\text{онм}}$ і площі $S_{\text{онм}}$, розраховували $k_{\text{еє}}$. Після обробки результатів визначено адекватні математичної моделі процесу формування гребня ґрунту катком.

Отримано рівняння регресії в натуральних значеннях факторів, що характеризує вплив швидкості руху агрегату і зусилля стиснення пружини катка на коефіцієнт відповідності еталону:

$$k_{\text{еє}} = 0,6392 + 0,1186v + 0,0004F_{\text{пр}} - 0,0421v^2 - 1,6072 \cdot 10^{-5} vF_{\text{пр}} - 2,6813 \cdot 10^{-7} F_{\text{пр}}^2 \quad (2)$$

Рівняння (2) в кодованих значеннях факторів має вигляд:

$$Y = 0,8108 - 0,127x_1 - 0,0341x_1^2 - 0,0043x_1x_2 - 0,0241x_2^2 \quad (3)$$

де Y – коефіцієнт відповідності еталону.

Графічне зображення поверхні відгуку від взаємодії швидкості руху катка і зусилля стиснення пружини катка-гребнеутворювача, а також їх спільного впливу на коефіцієнт відповідності еталону представлено на рисунку 2.

Дана поверхня випукла і має вершину (максимум) в області експериментальних значень швидкості v і зусилля стиснення $F_{\text{пр}}$. Після отримання математичних моделей і визначення виду поверхні виконаний її аналіз за допомогою двовірних перетинів (рис. 2).

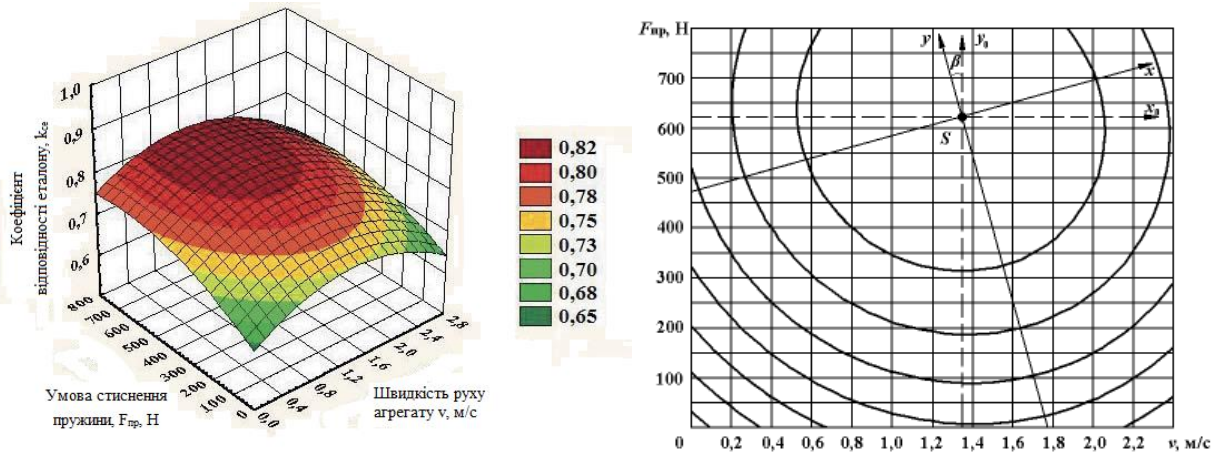


Рис. 2. Поверхня відгуку від взаємодії швидкості руху агрегату і зусилля стиснення пружини

Результати та обговорення

На основі аналізу отриманого двовимірного перетину виявлено, що максимальне значення коефіцієнта відповідності еталону в точці *S* (в локальному максимумі) досягається при швидкості руху катка $v = 1,35$ м/с і зусиллі стиснення пружини $F_{сп} = 622$ Н.

Аналогічно провели аналіз інших отриманих математичних моделей формування гребеня ґрунту, на основі якого зроблено висновок, що максимальне значення коефіцієнта відповідності еталону $k_{се} = 0,91$ досягається при швидкості руху агрегату $v = 5,1$ км/год, кутові атаки сферичних дисків $\alpha = 13^\circ$, а також зусиллі стиснення пружини катка $F_{сп} = 630$ Н і зміщення прикочуючих кілець $\lambda = 8$ см.

При виробничому випробуванні посівного агрегату на посіві кукурудзи виявлено, що якість формованого гребеня ґрунту відповідає агротехнічним вимогам. Так, значення $k_{се}$ при посіві відхиляються від показників, отриманих в ході лабораторних досліджень, не більше ніж на 5%.



Рис. 3. Рослини кукурудзи через 26 днів після посіву

Встановлено також, що при гребневому посіві сходи з'явилися на 1-2 дні раніше, ніж на контрольних ділянках. Рослини кукурудзи, посіяні по гребневій технології, випереджали в розвитку аналоги на контрольній ділянці (рис. 3).

Висновок

Урожайність кукурудзи при гребневому способі посіву з використанням запропонованих засобів механізації склала 321,6 ц/га зеленої маси, що вище на 17,2% в порівнянні з гладким способом посіву на контрольній ділянці.

При використанні посівного агрегату з запропонованими катками експлуатаційні витрати на обробіток кукурудзи знизилися на 39%. Таким чином, гребнева технологія обробітку із застосуванням запропонованих засобів механізації дозволяє знизити експлуатаційні витрати, а також підвищити врожайність просяпних культур.

Література

1. Гуськов, В. В. Трактори, теорія / В. В. Гуськов. – М. : Машинобудування, 1988. – 376 с.

2. Курдюмов В.И. Экспериментальные исследования устройства для формирования гребней почвы / В.И. Курдюмов, И.А. Шаронов, Е.С. Зыкин, В.В. Мартынов // Известия международной академии аграрного образования. – 2013. – № 17. – С. 63–67.
3. Джавадов Р.Д. Теоретическое обоснование комбинированного полуактивного почвообрабатывающего рабочего органа культиватора / Р.Д. Джавадов // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2009. – № 4. – С. 33–37.
4. Курдюмов В.И. Орудия для междурядной обработки / В.И. Курдюмов, Е.С. Зыкин, И.А. Шаронов и др. // Сельский механизатор. – 2013. – № 12. – С. 16–17.
5. Рехлицкий О.В. Математическое описание механизма поворота колес самоходной сельскохозяйственной машины / О.В. Рехлицкий, Ю.В. Чупрынин, Д.В. Джасов // Механика машин, механизмов и материалов. – 2014. – № 2 (27). – С. 23–29.
6. Сільськогосподарські машини. Основи теорії і розрахунку : підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін. ; за ред. Д.Г. Войтюка. – К. : Вища освіта, 2005. – 464 с. : іл. – ISDN 966-8081-38-2

References

1. Guskov V.V. Tractors, theory. M.: Mashinobuduvannya, 1988. 376 p.
2. Kurdyumov V.I., Sharonov I.A., Zykin E.S., Martynov V.V. Experimental studies of the device for the formation of soil ridges. Bulletin of the International Academy of Agricultural Education. 2013. No. 17. S. 63–67.
3. Javadov R.D. The theoretical justification of the combined semi-active tillage the working body of the cultivator. Agricultural machines and technologies. 2009. No. 4. P. 33–37.
4. Kurdyumov V.I., Zykin E.S., Sharonov I.A. Tools for inter-row processing. Rural machine operator. 2013. No. 12. P. 16-17.
5. Rekhilitsky O. V., Chuprynin Yu. V., Dzhasov D. V. Mathematical description of the mechanism of rotation of the wheels of a self-propelled agricultural machine. Mechanics of machines, mechanisms and materials. 2014. No. 2 (27). P. 23–29.
6. Voytyuk D.G., Baranovsky V.M., Bulgakov V.M. Agricultural cars. Fundamentals of theory and rosette: Pidruchnik; edited by D.G. Voytyuk. K.: Vishcha sovita, 2005. 464 p. ISDN 966-8081-38-2

Рецензія/Peer review : 27.4.2020 р.

Надрукована/Printed : 16.6.2020 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

ВИЗНАЧЕННЯ ПЛОЩІ КАНАВОК ТРИКУТНОЇ ФОРМИ ЧАСТКОВО РЕГУЛЯРНОГО МІКРОРЕЛЬЄФУ, СФОРМОВАНОГО НА ТОРЦЕВИХ ПОВЕРХНЯХ ТІЛ ОБЕРТАННЯ

Метою статті є визначення впливу геометричних параметрів елементів канавок частково-регулярного мікрорельєфу сформованого на торцевих поверхнях тіл обертання на їх площу. Розглянуто схему сформованого частково регулярного мікрорельєфу та виявлено, що параметри канавок такого мікрорельєфу змінюються залежно від відстані до центра обертання поверхні за однакових технологічних режимів оброблення. При цьому зміна площі елемента частково регулярного мікрорельєфу залежно від відстані до центра обертання торцевої поверхні тіла обертання носить нелінійний характер. Отримано аналітичні залежності для визначення площі канавок трикутної форми частково регулярного мікрорельєфу, сформованого на торцевих поверхнях тіл обертання вібраційним методом. Побудовані графічні залежності площі канавок залежно від радіуса R_k при різних значеннях кількості елементів N_k , амплітуди A_k , радіуса канавки ρ_k , та встановлено їх ступінь впливу на площу канавки.

Ключові слова: регулярний мікрорельєф, площа, канавка, торцева поверхня, вібрація.

VOLODYMYR OLEKSIYOVYCH DZYURA
Ternopil Ivan Puluj National Technical University

DETERMINATION OF TRIANGULAR GROOVES AREA OF PARTIALLY REGULAR MICRORELIF FORMED ON THE ROTATION BODIES END FACES

The purpose of the article is to determine the impact of geometrical parameters of grooves elements of partially regular microrelief formed on the rotation bodies end faces on their area. The analysis of the known scientific works, which is devoted to the determination of the parameters of the grooves what was formed on different types of surfaces was carried out. The publications where area of a triangular profile of the groove partially regular microrelief formed on the rotation bodies' end faces were not found. The scheme of a formed partially regular microrelief has been considered and it was found that the grooves parameters of the above-mentioned micro relief vary depending on the distance to the surface rotation center at the same machining modes. In this case, the element area variation of partially regular microrelief depending on the distance to the rotation center of the rotation body end face is of linear character. Some analytical dependencies to determine the triangular grooves area of partially regular microrelief formed on the rotation bodies' end faces have been obtained by vibration method. Some graphs of grooves area dependence on the radius R_k at different values of elements number N_k , amplitude A_k , radius of a groove ρ_k have been built. Their impact level on the grooves area has been determined. It was found that the largest influence on the change of the area of a triangular profile of the groove partially regular microrelief formed on the rotation bodies' end faces has the change of the groove radius ρ_k size. The analytical dependencies between the geometrical parameters of the grooves are obtained. It allow calculating their area according to the data that are known. In order to ensure the same areas of the grooves elements of partially regular microrelief formed on the rotation bodies end faces, it is necessary to adjust the amplitude of the vibrations A_k . This will ensure stable surface properties and its long service life.

Key words: regular microrelief, area, groove, bodies end faces, vibration.

Вступ. Сучасне машинобудівне виробництво постійно розширює номенклатуру виробів, в яких робочі поверхні деталей машин отримують найскладнішу форму. В автомобільній промисловості все більшого поширення набувають безступінчасті варіаторні трансмісії, основними робочими елементами яких є конусні привідні елементи з які наближено можна вважати дисками. Найпоширеніше застосування такі деталі отримали у варіаторах JF011E, які використовуються на автомобілях Dodge Caliber, Nissan X-trail, Nissan Qashqai, Nissan Teana, Nissan Tiida, Mitsubishi Lancer, Mitsubishi Outlander, Mitsubishi Galant, Mitsubishi GalantASX, Peugeot 4007, Renault Scenic, Renault Megane, Renault Fluence, Renault Koleos, а також на варіаторах JF015E, які використовують на автомобілях Nissan Juke, Nissan Micra, Suzuki Swift. Використання на таких поверхнях регулярного мікрорельєфу (PMP) дозволить збільшити ресурс роботи трансмісії і зменшити витрати на експлуатацію згаданих автомобілів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Формування на робочих поверхнях деталей машин регулярного мікрорельєфу [1] значно підвищує ресурс їх роботи за рахунок більшого опору схоплюванню як з мастилом так і без нього, більшої маслоємності поверхонь тертя, меншого періоду припрацювання або його відсутність; меншого тертя спряжених деталей, а також вищої зносостійкості [2, 3, 4, 5].

В роботах [6, 7] досліджено вплив сформованого на робочих поверхнях деталей регулярного мікрорельєфу на шорсткість поверхонь.

В роботі [8] досліджено вплив розміщення регулярних мікронерівностей трикутної форми, утворених на поверхнях торцевих поверхонь тіл обертання на коефіцієнт тертя таких поверхонь між собою як з використанням оливи L-AN-46, так і без неї. При цьому сила з якою поверхні притискалися одна до одної становила 20Н, а відносна швидкість обертання складала 0,4 м/с. Авторами встановлено, що розміщення елементів мікрорельєфу чинить значний вплив на коефіцієнт тертя. При цьому найнижчий коефіцієнт тертя було отримано при взаємодії торцевих поверхонь тіл обертання з мікрорельєфом з центральним кутом мікронерівностей 90° з орієнтацією до зовнішніх сторін торцевої поверхні.

В роботі [9] запропонований імовірнісний підхід при визначенні відносної площі регулярного мікрорельєфу сформованого на плоских поверхнях за допомогою токарних верстатів з механічною коробкою подач. Встановлено, що подача в токарних верстатах з механічною коробкою подач є випадковою величиною з нормальним законом розподілу. Оскільки рух подачі бере участь у формуванні регулярного мікрорельєфу, то його площа також буде випадковою величиною.

Дослідженнями проведеними Шнейдером Ю.Г та Лебединським Г.Г. [10] встановлено, що для металевих деталей, які здійснюють відносний рух найкращим з точки зору періоду припрацювання, величини ресурсу, величини масляної плівки є регулярний мікрорельєф I виду з відносною площею 35 %.

Згідно з ГОСТ 24773-81 [1] відносна площа F_n – це виражене у відсотках відношення площі, що займають регулярні нерівності F_k до поверхні деталі, яка оброблюється F .

Відносна площа регулярного мікрорельєфу F_n – один з найважливіших його показників, який характеризує експлуатаційні властивості поверхні на якій він сформований. Оптимальне його значення коливається в межах 30–45% в залежності від умов експлуатації спряжених поверхонь.

Отже важливість забезпечення значень відносної площі RMP на всій робочій поверхні є очевидною.

Вперше частково регулярні мікрорельєфи, сформовані на торцевих поверхнях тіл обертання були використані як декоративні елементи. Спосіб їх формування був запропонований Шнейдером Ю.Г. [11] і передбачав утворення по траєкторії спіралі Архімеда частково регулярного мікрорельєфу (ЧРМР) за допомогою пружно підтиснутої кульки з трохіодою формою канавки.

Також був проведений розрахунок відносної площі канавок сформованих на торцевій поверхні тіл обертання. Він вказує на те, що особливістю такого мікрорельєфу є закономірна зміна ступеня перекриття канавок із зміною радіуса торцевої поверхні, що визначає особливості розрахунку рядку важливих параметрів такого мікрорельєфу. Зокрема для мікрорельєфу I виду залежність для визначення відносної площі канавок сформованих на торцевій поверхні тіла обертання є такою:

$$F_k = \frac{200 \cdot \rho}{3 \cdot s_1 \cdot R_{cp}} \left(2 \cdot R_{cp} + \sqrt{R_{cp}^2 + e^2 \cdot i^2} \right);$$

для мікрорельєфу II виду

$$F_k = \frac{200 \cdot \rho}{3 \cdot \pi \cdot s_1 \cdot R_{cp}} \left[\pi \left(2 \cdot R_{cp} + \sqrt{R_{cp}^2 + e^2 \cdot i^2} - 6 \cdot \rho \cdot i \right) \right],$$

де i – кількість осциляцій віброобкатника, дв. ходів /хв.

ρ – радіус відбитка канавки (ширина канавки);

$R_{cp} = (R_1 + R_2)/2$ – середній радіус вібронкатаної ділянки торцевої поверхні, мм;

s_1 – поперечна подача віброобкатника, мм/об.

В роботі Лотоцької О.І. [11] запропоновано аналітичні залежності для визначення відносної площі частково-регулярних мікрорельєфів синусоїдального типу з відсутністю перетину регулярних нерівностей, а також запропонована комплексна технологія формування мікрорельєфу на поверхнях циліндричних деталей поліграфічних машин. Отримані аналітичні залежності між режимами обробки й геометричними параметрами мікрорельєфу.

Проаналізувавши відомі наукові публікації встановлено відсутність публікацій щодо визначення площі канавок трикутного профілю ЧРМР, що сформований на торцевих поверхнях тіл обертання.

Метою статті є визначення впливу геометричних параметрів елементів канавок ЧРМР сформованого на торцевих поверхнях тіл обертання на їх площу.

Виклад основного матеріалу статті. Формуючи частково-регулярні мікрорельєфи (ЧРМР) вібраційним методом на торцевих поверхнях тіл обертання з однаковими режимами обробки (кутовою швидкістю обертання заготовки ω , амплітудою A та кількістю осциляцій i) отримуємо канавки з різним коловим кроком S_k і, відповідно, різною відносною площею F_n . Причиною цього є те, що при обертанні заготовки з однаковою кутовою швидкістю ω , віброобкатник на різній відстані від центра обертання торцевої поверхні пройде різний шлях, а отже і значення колового кроку нерівностей S_k , який впливає на площу канавок F_n , буде різним (рис. 1). Тому слід відмітити, що мікрорельєфи, що сформовані на торцевих поверхнях тіл обертання є умовно регулярними. Оскільки їх коловий крок S_k буде зменшуватись із наближенням до центра обертання такої поверхні.

Тому є доцільним введення поняття кутового кроку канавки – μ_k , який буде мати постійне значення на будь-якій відстані від центру обертання торцевої поверхні.

Коефіцієнт зменшення колового кроку μ_k визначено за формулою:

$$\mu_k = S_{k1}/S_{k2} \quad (1)$$

Площа, яку займають елементи ЧРМР, які розміщені на торцевій поверхні, визначається за формулою:

$$F_{PMP} = F_{ел} \cdot N_{ел} \quad (2)$$

Кількість елементів, розміщених на колі торцевої обертової поверхні радіусом R_k , визначається за формулою:

$$N_{el} = \frac{360^\circ}{\Phi_k} \tag{3}$$

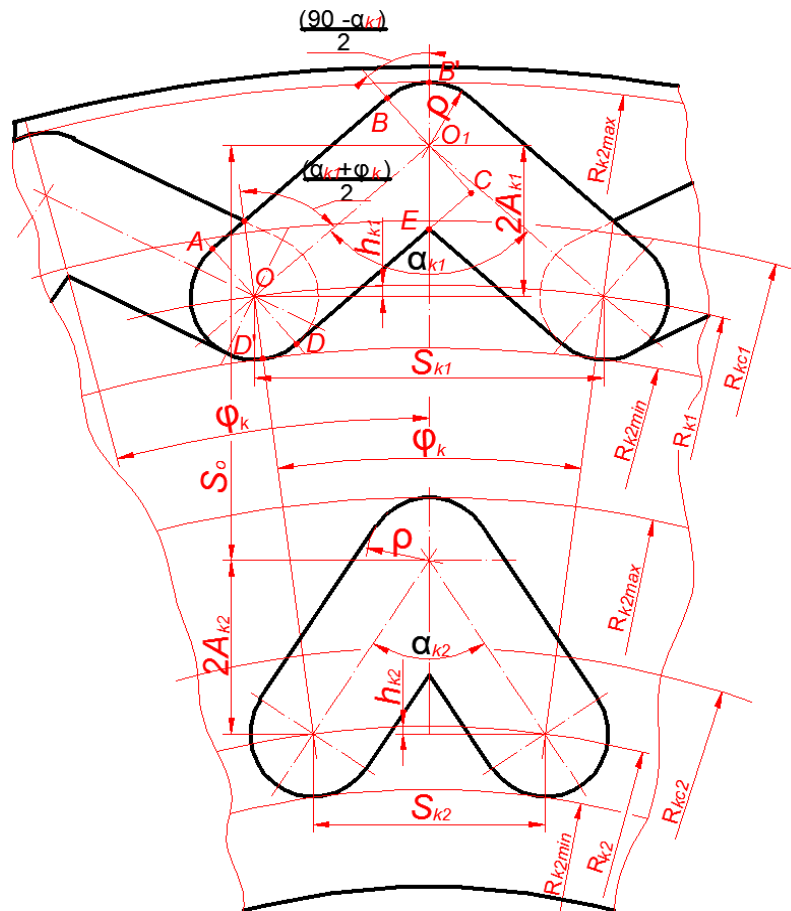


Рис. 1. Розрахункова схема для визначення площі елементів канавок трикутного профілю ЧРМР, сформованого на торцевій поверхні тіла обертання

При вібраційному методі формування регулярного мікрорельєфу кількість його елементів за один оберт заготовки визначається кількістю осциляцій інструменту, тобто кількістю подвійних його ходів $N_{el} = i_{\text{дв.ходів}}$.

Коловий крок елемента нерівності дорівнює довжині хорди дуги кола, на якому він розміщений

$$S_k = 2R_k \sin\left(\frac{\phi_k}{2}\right), \tag{4}$$

де ϕ_k – центральний кут, який відповідає одному елементу ЧРМР, розміщеному на дузі кола радіусом R_k . Звідси

$$\phi_k = 2 \arcsin\left(\frac{S_k}{2R_k}\right). \tag{5}$$

Амплітуда A_k елемента ЧРМР, коловий кроком S_k і кут α_k пов'язані залежністю:

$$A_k = \frac{S_k}{4 \cdot \text{tg}(\alpha_k/2)}. \tag{6}$$

Звідси

$$S_k = 4 \cdot A_k \cdot \text{tg}(\alpha_k/2). \tag{7}$$

$$\alpha_k = 2 \cdot \arctg(S_k/4 \cdot A_k). \tag{8}$$

Між кутами α_k і ϕ_k існує залежність

$$\alpha_k = 2 \cdot \arctg\left[\frac{2R_k \sin(\phi_k/2)}{2 \cdot A_k}\right]. \tag{9}$$

Площу одного елемента ЧРМР визначено за формулою дорівнює сумі площ двох прямокутників $ABCD$, без двох трикутників AOF і двох трикутників EO_1C , а також площі двох секторів BO_1B' , площі двох

секторів DOD' :

$$F_{el} = \frac{2 \cdot \rho \cdot S_k}{\cos\left(90 - \frac{\alpha_k}{2}\right)} - \frac{2 \cdot \rho^2 \cdot \text{tg}\left(90 - \frac{\alpha_k + \phi_k}{2}\right)}{2} - \frac{2 \cdot \rho^2 \cdot \text{tg}\left(90 - \frac{\alpha_k}{2}\right)}{2} + \frac{2 \cdot \pi \cdot \rho^2 \cdot \left(90 - \frac{\alpha_k}{2}\right)}{360} + \frac{2 \cdot \pi \cdot \rho^2 \cdot \left(90 - \frac{\alpha_k + \phi_k}{2}\right)}{360} \quad (10)$$

Спростивши вираз отримаємо

$$F_{el} = \frac{2 \cdot \rho \cdot S_k}{\sin(\alpha_k/2)} + \frac{\pi \cdot \rho^2 (180 - \alpha_k - 0,5\phi_k)}{180^\circ} - \rho^2 \left[\text{ctg}\left(\frac{\alpha_k + \phi_k}{2}\right) + \text{ctg}\left(\frac{\alpha_k}{2}\right) \right] \quad (11)$$

а використавши формулу (7) отримаємо вираз без значення S_k

$$F_{el} = \frac{8 \cdot \rho \cdot A_k \cdot \cos(\alpha_k/2)}{\cos(\alpha_k/2)} + \frac{\pi \cdot \rho^2 (180 - \alpha_k - 0,5\phi_k)}{180^\circ} - \rho^2 \left[\text{ctg}\left(\frac{\alpha_k + \phi_k}{2}\right) + \text{ctg}\left(\frac{\alpha_k}{2}\right) \right] \quad (12)$$

Так як площа не може бути від'ємною, з рівняння (11) виведемо умову мінімального значення параметра S_k елемента ЧРМР

$$\frac{2 \cdot \rho \cdot S_k}{\sin(\alpha_k/2)} + \frac{2 \cdot \pi \cdot \rho^2 (180 - \alpha_k - 0,5\alpha_{el})}{360^\circ} > \rho^2 \left[\text{ctg}\left(\frac{\alpha_k + \alpha_{el}}{2}\right) + \text{ctg}\left(\frac{\alpha_k}{2}\right) \right], \quad (13)$$

звідси

$$S_k > \left[\frac{\rho \left[\text{ctg}\left(\frac{\alpha_k + \alpha_{el}}{2}\right) + \text{ctg}\left(\frac{\alpha_k}{2}\right) \right]}{2} - \frac{\pi \cdot \rho (180 - \alpha_k - 0,5\alpha_{el})}{360^\circ} \right] \cdot \left[\sin\left(\frac{\alpha_k}{2}\right) \right]. \quad (14)$$

Отже площа, яку займають елементи ЧРМР, які розміщені на колі радіусом R_k визначається за формулою:

$$F_n = \frac{8 \cdot \rho \cdot A_k}{\cos(\alpha_k/2)} + \frac{2 \cdot \pi \cdot \rho^2 (180 - \alpha_k - 0,5\phi_k)}{360^\circ} - \rho^2 \left[\text{ctg}\left(\frac{\alpha_k + \phi_k}{2}\right) + \text{ctg}\left(\frac{\alpha_k}{2}\right) \right] \cdot N_{el} \quad (15)$$

Використавши формулу (12) побудовано залежність площі елемента ЧРМР від радіуса R_k для різних значень параметрів A_k , ρ_k та N_{el} .

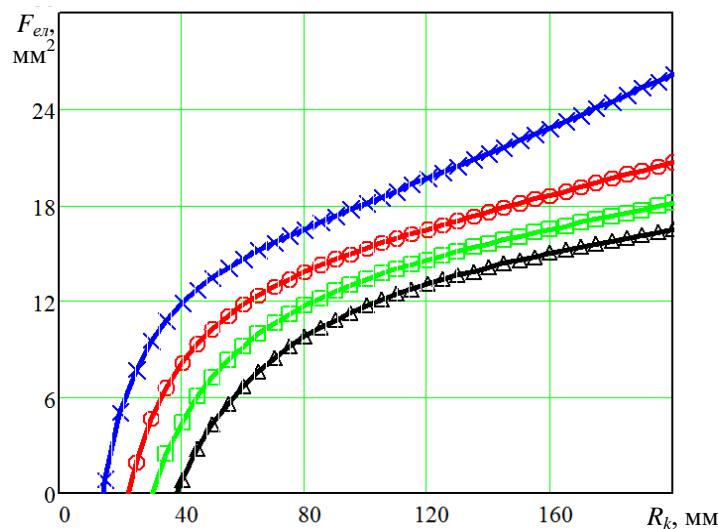


Рис. 2. Залежність площі елемента ЧРМР від радіуса R_k для $A_k=2$ мм, $\rho_k=1$ мм з різними значеннями кількості елементів N_{el} :
 \times – 120; \circ – 180; \square – 240; Δ – 300

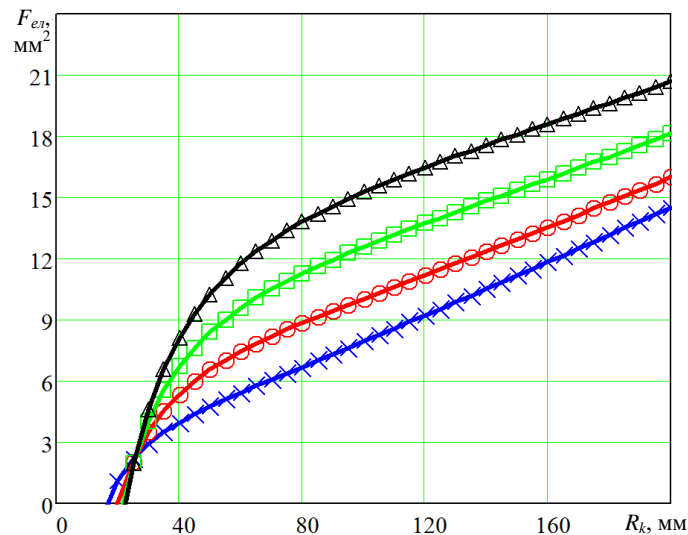


Рис. 3. Залежність площі елемента ЧРМР від радіуса R_k для $N_{er}=180$, $\rho_k=1$ мм з різними значеннями амплітуди A_k :
 \times – 0,5 мм; \circ – 1 мм; \square – 1,5 мм; Δ – 2 мм

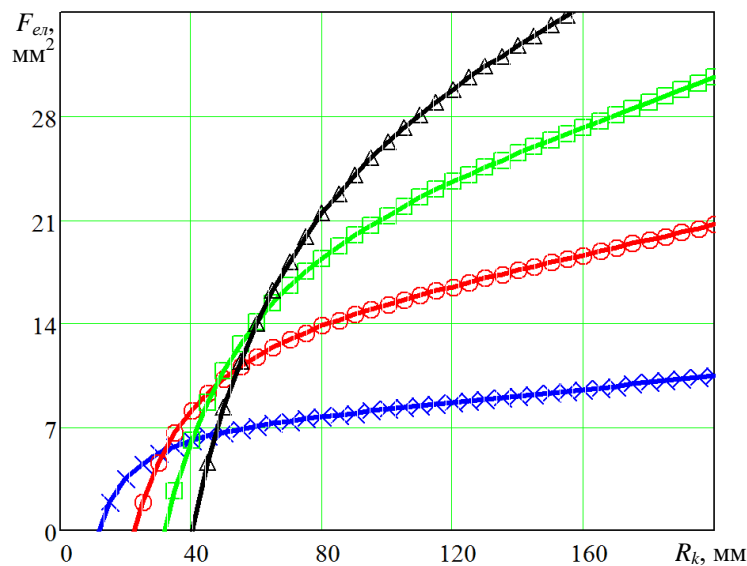


Рис. 4. Залежність площі елемента ЧРМР від радіуса R_k для $N_{er}=180$, $A_k=2$ мм з різними значеннями радіуса канавки ρ_k : \times – 0,5 мм; \circ – 1 мм; \square – 1,5 мм; Δ – 2 мм

Проаналізувавши графічні залежності (рис. 2–4) робимо висновок про те, що при формуванні ЧРМР на торцевих поверхнях тіл обертання при однакових технологічних режимах оброблення, зокрема: амплітуді A_k , радіусі канавки ρ_k , кількості обертів заготовки, площа елементів канавок буде змінюватись зі зміною відстані R_k до центра обертання торцевої поверхні. В діапазоні значень параметра R_k в межах від 40 до 160 мм значення площі елемента канавки для однакових технологічних режимів оброблення може збільшитись від 3 до 6 разів. Для забезпечення стабільних фізико-механічних властивостей робочої поверхні з ЧРМР площа елементів канавок повинна бути однаковою. Для цього доцільним є забезпечення параметра A_k – амплітуди коливань віброобкатника залежно від величини параметра R_k . Крім цього з отриманих графічних залежностей бачимо, що найбільший вплив на зміну площі елемента канавки ЧРМР, сформованого на торцевій поверхні тіла обертання, має зміна величини радіуса канавки ρ_k (рис. 4).

Висновки

1. При формуванні частково регулярних мікрорельєфів на різній відстані від центру обертання торцевих поверхонь тіл обертання, параметри елементів мікрорельєфу змінюються, що призводить до зміни площі канавок ЧРМР від 4 до 6 разів в діапазоні значень параметра R_k в межах від 40 до 160 мм. При цьому доцільним є введення поняття кутового кроку канавки – φ_k , який характеризується постійним значенням на будь-якій відстані від центру обертання. Отримано аналітичну залежність для визначення площі елемента канавки трикутної форми ЧРМР сформованого на торцевій поверхні тіла обертання вібраційним методом в залежності від його геометричних параметрів. На основі аналізу залежностей площі елемента ЧРМР від радіуса R_k його розміщення при різних значеннях кількості елементів N_k , амплітуді A_k , та радіусі канавки ρ_k встановлено, що найбільший вплив на зміну площі елемента ЧРМР чинить радіус канавки.

2. З метою забезпечення однакових значень площі елементів канавок ЧРМР сформованого на різних діаметрах торцевої поверхні тіла обертання необхідно здійснювати регулювання амплітуди коливань A_k

віброобкатника, числове значення якої необхідно визначати із залежності (12).

Література

1. Поверхности с регулярным микрорельефом. Классификация, параметры и характеристики : ГОСТ 24773-81. – [Введ. 1982–07–01]. – М. : Изд.-во стандартов, 1988. – 14 с.
2. Шнейдер Ю.Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом / Ю.Г. Шнейдер. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л. : Машиностроение, 1982. – 248 с.
3. Киричок П.О. Дослідження впливу параметрів микрорельєфу на якість обробки деталі та експлуатаційні характеристики поліграфічного обладнання / П.О. Киричок, А.В. Несхозієвський // Технологічні комплекси / Луцьк. нац. технол. ун-т. – 2007. – № 3–4. – С. 74–80.
4. Чирков Г.В. Технология получения высококачественных поверхностей отверстий в деталях автомобильных двигателей и других механизмов / Г.В. Чирков // Двигателестроение. – 2001. – № 3. – С. 14–15.
5. Попандопуло К.Х. Формирование качественных показателей поверхностного слоя, гильз цилиндров двигателя ЗМЗ-53, при его раскатывании методом осциллирующих переменных давлений / К.Х. Попандопуло, В.В. Усов, А.С. Личковаха // Технологии и средства повышения надежности машин в АПК. – Зерноград, 2006. – Вып. 2. – С. 52–58.
6. Зайдес С.А. Влияние параметров осциллирующего выглаживания на шероховатость упрочненных поверхностей / С.А. Зайдес, Нгуен Ван Хинь // Вестник ИрГТУ. – 2017. – № 4. – С. 22–29.
7. Кусий Я.М. Дослідження впливу режимів вібраційно-відцентрового зміцнення на геометричні параметри якості поверхні довгомірних циліндричних деталей / Я.М. Кусий, В.Г. Топільницький // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. – Львів, 2009. – Вип. 43. – С. 44–51.
8. Slawomir Wos, Waldemar Koszela, Pawel Pawlus Comparing tribological effects of various chevron-based surface textures under lubricated unidirectional sliding. Tribology International 146 (2020), 106–205. URL: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2020.106205>.
9. Кривий П.Д. Імовірнісний підхід при визначенні відносної площі віброобкочування плоских поверхонь / П.Д. Кривий, Н.М. Тимошенко, В.О. Дзюра, Н.П. Кашуба // Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, (Тернопіль, 11–12 грудн. 2013.) / Мін-во освіти і науки, молоді та спорту України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль : ТНТУ, 2013. – С. 104.
10. Шнейдер Ю.Г. Исследование влияния маслоёмкости рабочих поверхностей гильз цилиндров автомобильных двигателей на их прирабатываемость / Ю.Г. Шнейдер, Г.Г. Лебединский // Упрочняюще-калибрующие и формообразующие методы обработки деталей. – Ростов-на-Дону, 1970. – С. 92–93.
11. Лотоцька О. І. Теоретичні розрахунки опорної площі на циліндричних поверхнях деталей поліграфічного обладнання / О. І. Лотоцька // Технологія і техніка друкарства / ВПІ НТУУ «КПІ». – 2011. – № 2. – С. 66–72.

References

1. Poverhnosti s reguljarnym mikroreleform. Klassifikaciya, parametry i harakteristiki : GOST 24773-81. – [Vved. 1982–07–01]. – M. : Izd.-vo standartov, 1988. – 14 s.
2. Shnejder Yu.G. Eksploatacionnye svojstva detalej s reguljarnym mikroreleform / Yu.G. Shnejder. – 2-e izd., pererab. i dop. – L. : Mashinostroenie, 1982. – 248 s.
3. Kyrychok P.O. Doslidzhennia vplyvu parametriv mikroreliefu na yakist obrobky detali ta ekspluatatsiini kharakterystyky polihrafichnogo obladnannia / P.O. Kyrychok, A.V. Neskhoziievskiy // Tekhnolohichni komplekxy / Lutsk. nats. tekhnol. un-t. – 2007. – № 3–4. – S. 74–80.
4. Chirkov G.V. Tehnologiya polucheniya vysokokachestvennyh poverhnostej otverstij v detaljah avtomobilnyh dvigatelej i drugih mehanizmov / G.V. Chirkov // Dvigatelistroenie. – 2001. – № 3. – S. 14–15.
5. Popandopulo K.H. Formirovanie kachestvennyh pokazatelej poverhnostnogo sloya, gilz cilindrov dvigatelya ZMZ-53, pri ego raskatyvanii metodom oscilliruyushih peremennyh davlenij / K.H. Popandopulo, V.V. Usov, A.S. Lichkovaha // Tehnologii i sredstva povysheniya nadezhnosti mashin v APK. – Zernograd, 2006. – Vyp. 2. – S. 52–58.
6. Zajdes S.A. Vliyanie parametrov oscilliruyushogo vyglazhivaniya na sherohovatost uprochnennyh poverhnostej / S.A. Zajdes, Nguen Van Hin // Vestnik IrGTU. – 2017. – № 4. – S. 22–29.
7. Kusyi Ya.M. Doslidzhennia vplyvu rezhymiv vibratsiino-vidtsentrovoho zmitsnennia na heometrychni parametry yakosti poverkhni dovhomirnykh tsylindrychnykh detalei / Ya.M. Kusyi, V.H. Topilnytskyi // Avtomatyzatsiia vyrobnychykh protsesiv u mashynobuduvanni ta prykladobuduvanni. – Lviv, 2009. – Vyp. 43. – S. 44–51.
8. Slawomir Wos, Waldemar Koszela, Pawel Pawlus Comparing tribological effects of various chevron-based surface textures under lubricated unidirectional sliding. Tribology International 146 (2020), 106–205. URL: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2020.106205>.
9. Kryvyi P.D. Imovirnisnyi pidkhd pry vyznachenni vidnosnoi ploshchi vibroobkochuvannia ploskykh poverkhon / P.D. Kryvyi, N.M. Tymoshenko, V.O. Dziura, N.P. Kashuba // Aktualni zadachi suchasnykh tekhnolohii : zb. tez dopovidei mizhnar. nauk.-tekhn. konf. molodykh uchennykh ta studentiv, (Ternopil, 11–12 hrudn. 2013.) / Min-vo osvity i nauky, molodi ta sportu Ukrainy, Tern. natsion. tekhn. un-t im. I. Puluiia [ta in]. – Ternopil : TNTU, 2013. – S. 104.
10. Shnejder Yu.G. Issledovanie vliyania masloyomkosti rabochih poverhnostej gilz cilindrov avtomobilnyh dvigatelej na ih prirabatyvaemost / Yu.G. Shnejder, G.G. Lebedinskij // Uprochnyayushe-kalibrnyushie i formoobrazuyushie metody obrabotki detalej. – Rostov-na-Donu, 1970. – S. 92–93.
11. Lototska O. I. Teoretichni rozrakhunky opornoj ploshchi na tsylindrychnykh poverkhniakh detalei polihrafichnogo obladnannia / O. I. Lototska // Tekhnolohiia i tekhnika drukarstva / VPI NTUU «KPI». – 2011. – № 2. – S. 66–72.

Рецензія/Peer review : 03.04.2020 р.

Надрукована/Printed : 16.6.2020 р.
Рецензент: д.т.н., доц. Васильків В.В.

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПАСПОРТУ МАТЕРІАЛУ ДЛЯ БРОНЬОВАНОЇ СТАЛІ

В роботі сформовано технологічний паспорт матеріалу для броньованої сталі марки 45Х2НМФБА. Наведено особливості розрахунку функцій матеріалу (що формують паспорт матеріалу), які відображають властивості матеріалу залежно від ступеня деформації та схеми напруженого стану. Отримані залежності (крива течії, діаграма пластичності, градувальний графік) дозволять в подальшому надавати рекомендації під час побудові технологічних процесів виготовлення елементів (конструкцій) бронезахисту. Використовуючи функції, представлені в даній роботі, виробники ще на стадії проектування зможуть задавати необхідну енергопоглинальність конкретних елементів броньованих конструкцій, що дозволить значно зменшити негативні силові дії засобів ураження на людину та техніку.

Ключові слова: технологічний паспорт матеріалу, функції матеріалу, броньована сталь, бронезахист.

FEATURES OF THE FORMATION OF THE TECHNOLOGICAL PASSPORT OF THE MATERIAL FOR ARMORED STEEL

In this work, a technological passport of material for armored steel of the brand 45X2HMФBA is formed. The features of the calculation of material functions (forming the material passport) are presented, which reflect the material properties depending on the degree of deformation and the stress state scheme. The obtained dependencies (flow curve, plasticity diagram, calibration graph) will allow providing further recommendations in the construction of the technological processes of manufacturing elements (structures) of armor protection.

Using the features presented in this work, manufacturers can at the design stage be able to set the required energy absorption of specific elements of armored structures, which will significantly reduce the negative force effects of damage to humans and equipment.

Keywords: a technological passport of material, material functions, armored steel, armor protection.

Стрімке зростання необхідності захисту нашої країни зумовлює створення безпечних броньових конструкцій (елементів) захисту (бронезилетів, бронешоломів, бронетранспортерів, танків, броньованих пластин і т. д.) (рис. 1), оскільки рівень захищеності диктується тенденціями розвитку відповідних засобів ураження супротивника.



Рис. 1. Різновиди бронезахисту

Найбільш розвиненим виробникам бронезахисту ще на стадії проектування потрібно задавати необхідну енергопоглинальність конкретних елементів броньованих конструкцій. Це дозволить значно зменшити негативні силові дії засобів ураження на людину та техніку.

Під час експлуатації броньованих сталей, з яких виготовляють бронезилети, броньові пластини для бронетехніки, виникає необхідність оцінки їх якості та деформаційної здатності поглинати енергію при проникненні індентора (кулі, снаряду).

Метою роботи є формування паспорта матеріалу для броньованої сталі марки 45Х2НМФБА та отримання залежностей, які дозволять в подальшому надавати рекомендації при побудові технологічних процесів виготовлення елементів (конструкцій) бронезахисту.

В даній роботі проведені дослідження з визначення фізико-механічних характеристик сталі марки 45Х2НМФБА, яка використовується під час створення елементів бронезахисту [1].

В теорії обробки металів тиском, де розглядаються великі пластичні деформації (кінцеві деформації) таких стандартних механічних характеристик, як границя текучості – $\sigma_{0,2}$, границя пружності – $\sigma_{пр}$, границя пропорційності – $\sigma_{пс}$, границя міцності – σ_{σ} , а також характеристик пластичності – відносне залишкове видовження – $\delta = \frac{l_i - l_0}{l_0} \cdot 100\%$, відносне залишкове звуження – $\psi_u = \frac{A_0 - A_u}{A_0} \cdot 100\%$ (табл. 1),

далеко недостатньо для опису механіки процесів обробки металів тиском.

Таблиця 1

Характеристики матеріалу

Марка сталі	Номінальний хімічний склад	Твердість, НВ, МПа	КСУ, кДж/м ²	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_{σ} , МПа	δ , %	ψ_u , %
45Х2НМФБА	0,50С–0,37Si– 1,10Cr–1,80Ni– 0,80Mn–0,30Mo– 0,18V–0,30Cu	1800–2200	390	1550	1700 – 1900	10	30 – 40

В останні роки, розглянуті представлення про властивості матеріалу у вигляді функцій знаходять широке застосування при моделюванні процесів обробки металів тиском.

Такими універсальними механічними характеристиками матеріалів є функції матеріалу, які відображають властивості матеріалу залежно від ступеня деформації (здатність до зміцнення), схеми напруженого стану, історії деформування.

Базуючись на відомих методиках [2–9], будуються наступні функції матеріалу, які формують, так званий, «технологічний паспорт матеріалу» у вигляді різних функцій, таких як крива течії матеріалу; діаграма пластичності; тарувальний графік (твердість – інтенсивність напружень – інтенсивність деформацій).

Криві течії необхідні для проєктування операцій обробки металів тиском.

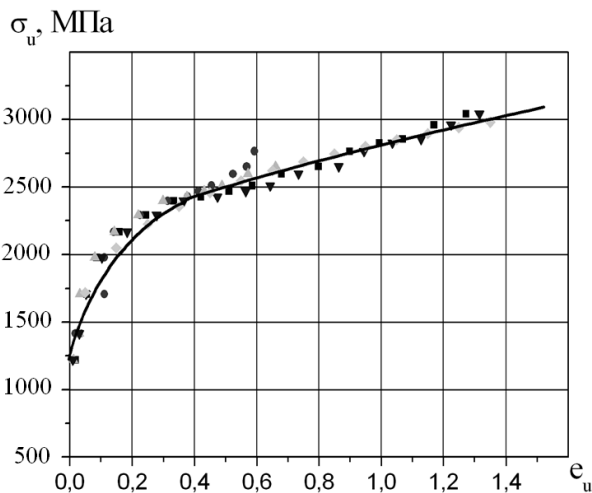
В теорії обробки металів тиском при ізотропному зміцненні часто застосовують рівняння кривої течії за П. Людвіку [4, 5]:

$$\sigma_u = A \varepsilon_u^n, \quad (1)$$

де σ_u – інтенсивність напружень, ε_u – інтенсивність деформацій, A , n – коефіцієнти апроксимації кривої течії матеріалу.

Варто відмітити, що залежно від того, які елементи броньованих конструкцій необхідно виготовити для ізотропного матеріалу з ізотропним зміцненням, як правило, криву течії будують за результатами випробування або на розтяг стандартних плоских (для листових матеріалів) або циліндричних зразків за ГОСТ 1497-84, ГОСТ 11701-64. Іноді для побудови кривої течії в області великих деформацій використовують циліндричні зразки на стиск.

В результаті проведення випробувань зразків, виготовлених з матеріалу досліджуваних елементів конструкцій, отримано криву течії матеріалу в координатах «інтенсивність напружень σ_u , інтенсивність деформацій ε_u » (рис. 2).



(● – експериментальні дані випробувань на стиск,
— – апроксимація згідно рівняння (1))

градієнт деформації і ін.

Як правило, діаграми пластичності будують за результатами трьох видів випробувань: на стиск,

В формулі (1) A , n – коефіцієнти апроксимації, що мають фізичний зміст: для матеріалу, що ізотропно зміцнюється $A = \sigma_u$ при

$\varepsilon_u = 1$, $n = \varepsilon_{кр}$ – критична деформація при умовному максимальному напруженні. Для матеріалу сталь 45Х2НМФБА коефіцієнти апроксимації $A = 2893$ МПа, $n = 0,23$.

Діаграма пластичності, що є по суті одною із механічних характеристик матеріалу, будують в координатах – накопичена інтенсивність деформацій до моменту руйнування (далі будемо називати її граничною деформацією – ε_p) – показник напруженого стану (η) [2, 4].

Універсальними термомеханічними характеристиками, від яких залежить пластичність металів, є швидкість деформації, температура, вид (схема) напруженого стану, історія деформування,

зсув, розтяг з наступною апроксимацією [3–6].

Як було зазначено в роботах [4, 6] в області зміни показника $0 \leq \eta \leq 1$ спостерігається аномальне підвищення граничної деформації зумовлене її локалізацією. Тому базуючись на розрахунках запропонованих в роботах [7, 9] розрахунок показника напруженого стану η пропонується вести за формулою

$$\eta = 1 + 3 \ln \left(1 + \frac{d_{кр}}{4} \cdot \nu \right), \tag{2}$$

де $\nu = D \cdot \exp \left(-\frac{d_u}{f} \right)$ – експоненціальна залежність,

$$D = 1,318 \text{ мм}^{-1}; f = 1,86 \text{ мм}; d_{кр} = \frac{d_u + d_{cm}}{2 \cdot 1,11}; d_u \text{ – діаметр по шийці зруйнованого зразка, мм};$$

d_{cm} – діаметр циліндричного зразка в місці рівномірної стійкої деформації, мм.

Граничну деформацію ε_p потрібно розраховувати за формулою

$$\varepsilon_p = 2 \ln \frac{2 \cdot d_0 \cdot 1,11}{(d_u + d_{cm})}, \tag{3}$$

де d_0 – діаметр робочої частини зразка до деформування.

В результаті проведених вищезазначених випробувань, використовуючи методики розрахунків запропонованих в роботах [2-9] побудована діаграма пластичності сталі 45X2НМФБА (рис. 3).

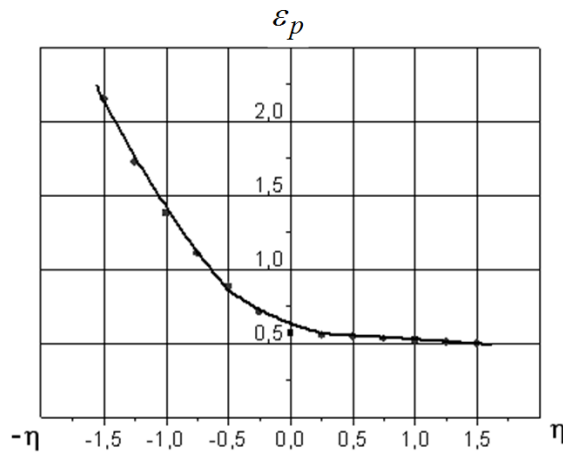


Рис. 3. Діаграма пластичності сталі 45X2НМФБА

Градуювальний (гарувальний) графік – твердість залежно від інтенсивності напружень, інтенсивності деформацій $HV = f(\sigma_u, e_u)$ (рис. 4).

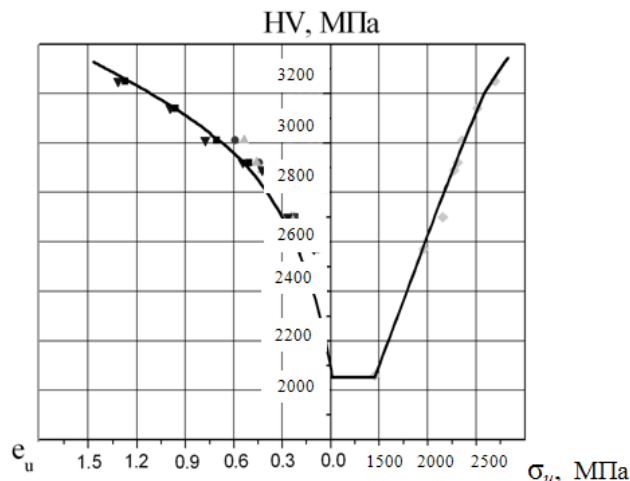


Рис. 3. Градуювальний графік

Варто зауважити, що вимоги по твердості залежать від товщини броньованого листа [1], а саме:

- при товщині 6,2...12,6 мм - HB 341...388;
- при товщині 12,7...19,0 мм - HB 331...375;
- при товщині 19,1...31,7 мм - HB 321...375;
- при товщині 31,8...50,5 мм - HB 293...331;
- при товщині 50,5...101,3 мм - HB 269...311.

Базуючись на експериментальних даних отриманих в роботі [2] при випробуванні листових матеріалів різної товщини, можна зробити висновок, що зі збільшенням товщини металу твердість зменшується. Під час проведення всіх досліджень [2, 9] при досягненні степені деформації $\varepsilon_{II} = 0,2 - 0,3$ зв'язок між твердістю та інтенсивністю напружень наближається до лінійного і має вид

$$\sigma_{II} = KH, \quad (4)$$

де K – коефіцієнт пропорційності;
 H – твердість.

Висновки

В даній роботі сформовано технологічний паспорт матеріалу для броньованої сталі марки 45X2NMФБА. Отримані залежності дозволять в подальшому надавати рекомендації при побудові технологічних процесів виготовлення елементів (конструкцій) бронезахисту.

За допомогою запропонованих підходів формуються моделі матеріалів, які є основою для розрахунку напружено-деформованого стану під час виготовлення елементів бронезахисту, а також розрахунку енергосилових параметрів процесів деформування.

Література

1. Частные вопросы конечной баллистики / Григорян В. А., Белобородко А.Н., Дорохов Н.С. и др. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. – 591 с. : ил. – ISBN 5-7038-2798-1.
2. Огородников В. А. Энергия. Деформации. Разрушение (задачи автотехнической экспертизы) : [монография] / Огородников В. А., Киселев В. Б., Сивак И. О. – В. : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2005. – 204 с.
3. Дель Г.Д. Технологическая механика / Дель Г.Д. – М. : Машиностроение, 1978. – 174 с.
4. Огородников В.А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением / Огородников В. А. – К. : Вища школа. Головное изд-во, 1983. – 175 с.
5. Малинин Н. М. Прикладная теория пластичности и ползучести / Н. М. Малинин – М. : Машиностроение, 1975. – 400 с.
6. Огородников В.А. Деформируемость и разрушение металлов при пластическом формоизменении / Огородников В.А. – К. : УМК ВО, 1989. – 152 с.
7. Кириця І.Ю. Особливості розрахунку параметрів напружено-деформованого стану та побудови діаграм пластичності в зоні локалізації деформації під час розтягу циліндричних зразків / І.Ю. Кириця // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2014. – № 2. – С. 101–107.
8. Огородников В.А. Диагностика материалов в задачах технологической механики и автотехнических экспертизах / В.А. Огородников, В.Е. Перлов, И.Ю. Кирица // Вісник Національного технічного університету України "КПІ". Серія: Машиностроение. – 2008. – № 52. – С. 21–26.
9. Огородников В. А. Механіка процесів холодного пластичного деформування вісесиметричних заготовок з глухим отвором : [монография] / Огородников В. А., Кириця І.Ю., Перлов В.Є. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 164 с.

References

1. Chastnye voprosy konechnoj ballistiki / Grigoryan V. A., Beloborodko A.N., Dorohov N.S. i dr. – M. : MGTU im. N. E. Bauman, 2006. – 591 s. : il. – ISBN 5-7038-2798-1.
2. Ogorodnikov V. A. Energiya. Deformatsii. Razrushenie (zadachi avtotekhnicheskoy ekspertizy) : [monografiya] / Ogorodnikov V. A., Kiselev V. B., Sivak I. O. – V. : UNIVERSUM–Vinnitsya, 2005. – 204 s.
3. Del G.D. Tehnologicheskaya mehanika / Del G.D. – M. : Mashinostroenie, 1978. – 174 s.
4. Ogorodnikov V.A. Ocenka deformiruемости metallov pri obrabotke davleniem / Ogorodnikov V. A. – K. : Visha shkola. Golovnoe izd-vo, 1983. – 175 s.
5. Malinin N. M. Prikladnaya teoriya plastichnosti i polzuchesti / N. M. Malinin – M. : Mashinostroenie, 1975. – 400 s.
6. Ogorodnikov V.A. Deformiruемость i razrushenie metallov pri plasticheskom formoizmenenii / Ogorodnikov V.A. – K. : UMK VO, 1989. – 152 s.
7. Kyrytsia I.Yu. Osoblyvosti rozrakhunku parametriv napruzhenno-deformovanoho stanu ta pobudovy diahram plastichnosti v zoni lokalizatsii deformatsii pid chas roztyahu tsylindrychnykh zrazkiv / I.Yu. Kyrytsia // Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu. – 2014. – № 2. – S. 101–107.
8. Ogorodnikov V.A. Diagnostika materialov v zadachah tehnologicheskoy mehaniki i avtotekhnicheskikh ekspertizah / V.A. Ogorodnikov, V.E. Perlov, I.Yu. Kirica // Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy "KPI". Seriya: Mashynostroenyie. – 2008. – № 52. – S. 21–26.
9. Ohorodnykov V. A. Mekhanika protsesiv kholodnoho plastychnoho deformuvannya visesymetrychnykh zahotovok z hlukhyim otvorom : [monohrfayia] / Ohorodnykov V. A., Kyrytsia I.Yu., Perlov V.Ie. – Vinnitsya : VNTU, 2015. – 164 s.

Рецензія/Peer review : 14.02.2020 р.

Надрукована/Printed : 16.6.2020 р.
 Рецензент: д.т.н., проф. А. П. Поляков

В.М. КИЧАК, В.І. МАКОГОН, М.В. ВАСИЛЬКІВСЬКИЙ
Вінницький національний технічний університет

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ ДРІБНОЇ МОТОРИКИ ТА СТРЕСОСТІЙКОСТІ ОПЕРАТОРІВ ДИСТАНЦІЙНО КЕРОВАНИХ ПРИСТРОЇВ

У статті розглядається інформаційна система для оцінювання рівня дрібної моторики та оцінки стресостійкості кандидатів для навчання на операторів дистанційно керованих пристроїв. Також розглянуто особливості будови дистанційно керованих пристроїв та систем керування ними. Особливу увагу приділено будові та ергономіці пультів дистанційного керування, з метою визначення можливості використання їх для оцінки дрібної моторики та фізіологічного стану оператора дистанційно керованого пристрою. Розроблена інформаційна система базується на визначенні рівня дрібної моторики та оцінці стресостійкості кандидатів на навчання операторів дистанційно керованих пристроїв. У даній системі для оцінки дрібної моторики кисті рук людини використовується персональний комп'ютер та спеціальні пристрої адаптери, в якості яких через перетворювач інтерфейсів використовується пульт керування радіомоделями. Для визначення стресостійкості під час тестування використовується вимірювач пульсу. Інформаційна система з персональних комп'ютерів зі спеціалізованим програмним забезпеченням, на яких відбувається тестування та сервера для розміщення бази даних результатів тестування. Дана система дозволить здійснювати оцінку дрібної моторики та визначати стресостійкість операторів дистанційно керованих пристроїв, зберігання та аналіз результатів тестувань, які проходить оператор протягом свого навчання та роботи. Використання запропонованої інформаційної системи дозволяє автоматизувати вимірювання, зберігати та відстежувати динаміку результатів тестування для кожного учасника, значно зменшити вартість та час навчання операторів дистанційно керованих пристроїв за рахунок попереднього відбору кандидатів за рівнем розвитку дрібної моторики та оцінки його стресостійкості.

Ключові слова: дрібна моторика, інформаційна система, тестування, оператор дистанційно керованих пристроїв.

V.M. KUCHAK, V.I. MAKOGON, M.V. VASYLKIVSKYI
Vinnytsia National Technical University

INFORMATION SYSTEM FOR DETERMINATION OF SMALL MOTOR LEVELS AND ASSESSMENT OF STRESS RESISTANCE OF REMOTE CONTROLLED OPERATORS

The article deals with an information system for determining the level of fine motor skills and assessing the stress resistance of candidates for training in operators of remote-controlled devices. Features of the construction of remote-controlled devices and their control systems are also considered. Particular attention is paid to the structure and ergonomics of the remote controls, in order to determine the possibility of using them for the assessment of fine motor skills, and the physiological condition of the operator of the remote-controlled device. The developed information system is based on determining the level of fine motor skills and assessing the stress resistance of candidates for training operators of remote-controlled devices. This system uses a personal computer and special device adapters to evaluate the fine motor skills of a person's hand using a radio remote control via the interface converter. A pulse meter is used to determine stress resistance during testing. The information system includes such components as personal computers on which specialized software is installed and on which the testing is performed and the servers on which the test results database is hosted. This system will allow you to assess fine motor skills and determine the stress resistance of operators of remote-controlled devices, storage and analysis of test results that the operator undergoes during his training and work.

The use of the proposed information system makes it possible to automate the measurement, store and track the dynamics of the test results for each participant, significantly reduce the cost and time of training of operators of remote-controlled devices by pre-selecting candidates for the level of fine motor development and assessing its stress resistance.

Keywords: fine motor skills, information system, testing, operator of remote-controlled devices.

Вступ

Швидкий розвиток технологій отримання, передачі, обробки та зберігання даних створив передумови для розвитку пристроїв з дистанційним керуванням. До таких пристроїв можна віднести безпілотні літальні апарати; роботи з колісним або гусеничним приводом; роботи, що працюють на великій глибині; роботи, що працюють у космосі і т.д. Також їх можна умовно розділити на дві частини: 1 – рухома платформа; 2 – корисне навантаження.

Рухома платформа призначена для переміщення пристрою у просторі, наприклад планер безпілотного літального апарату. Корисне навантаження – це комплекс обладнання, який виконує основне завдання місії дистанційно керованого пристрою, наприклад фотоапаратура на планері безпілотного літального апарату – розвідника. Для простих пристроїв, які виконують нескладні завдання з невеликою швидкістю, один оператор керує платформою та корисним навантаженням (можливо також використовувати нерухомі блоки корисного навантаження, такі як наприклад відеокамери, нерухомо закріплені на планері). Для більш складних пристроїв один оператор керує переміщенням пристрою, а інший керує корисним навантаженням (фото-, відеоапаратурою, маніпулятором і т.д.). Крім того, для координації роботи двох операторів дистанційно керованого пристрою призначається керівник, який слідкує за роботою операторів і дає їм необхідні вказівки для ефективного та безпомилкового використання пристрою [1].

Актуальність відбору та навчання операторів дистанційно керованих пристроїв підтверджується великою кількістю наукових праць на цю тематику за кордоном. Зокрема у праці [2] розглядаються вимоги щодо кваліфікації пілота, оператора безпілотних літальних апаратів (БПЛА) виданих авіаційними органами США, Великобританії, Китаю. Особлива увага звертається на людський фактор та показники фізіологічного здоров'я, які є важливими для відбору та навчання пілотів БПЛА.

Дистанційно керовані пристрої використовуються для виконання завдань з високим рівнем ризику. Виконання таких завдань вимагає психологічної стійкості оператора під час роботи у стресових ситуаціях. Під впливом стресу прискорюється пульс, відбуваються зміни шкіро-гальванічної реакції, з'являється відчуття спраги, сухості, підвищується артеріальний тиск, змінюється частота і ритм серцевих скорочень, показники температури тіла, знічний рефлекс, показники електроенцефалограми, електрокомуграми, електроміограми [3].

Метою роботи є розробка інформаційної системи для оцінювання рівня розвитку дрібної моторики, особливість якої полягає в тому, що для роботи з графічними фігурами використовується пульт керування радіомоделями, що дає можливість оцінити рівень розвитку дрібної моторики, необхідний для роботи оператором дистанційно керованих пристроїв, а відстеження частоти пульсу при такому тестуванні дозволяє оцінити стресостійкість кандидата для такої діяльності.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі: розробити інформаційну систему для відбору операторів дистанційно-керованих пристроїв; розробити алгоритм роботи інформаційної системи; розглянути особливості її технічної реалізації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

На даний час для визначення дрібної моторики використовуються застарілі методики, які ґрунтуються на оцінюванні маніпулювання дрібними предметами. Як приклад, можна розглянути тест маніпулювання з дрібними предметами Кроуфорда. Під час проходження такого тесту необхідно здійснювати такі операції, як розміщення штирів у отворах та нанизування на них мініатюрних кілець, інша частина тесту передбачає закручування гвинтів малих розмірів у отвори з різьбою. Для такого тестування необхідна наявність спеціального обладнання, його проведення та подальша обробка результатів важко піддається автоматизації. Тому для тестування дрібної моторики створюються інші тести з використанням комп'ютерної техніки.

Комп'ютеризований метод вимірювання швидкості реакції та точність моторики пальців рук запропоновано в праці [4]. Даний метод передбачає виконання графічних завдань за допомогою комп'ютерної миші та подальше оцінювання точності і швидкості виконання завдань. Крім того є варіанти завдань, які передбачають натискання різних кнопок миші за певних обставин (зміні кольору цілі), які дозволяють оцінити швидкість прийняття рішень та їх реалізації. Така методика тестування не відповідає вимогам, які висуваються до операторів дистанційно керованих пристроїв, адже маніпулятори типу комп'ютерної миші у них майже не використовуються, тому результати такого тестування не відображають моторику, яка задіяна при роботі з джойстиком або флайстіками.

В праці [5] запропонований інший спосіб діагностики дрібної моторики руки, який ґрунтується на натисканні рукою на клавіші клавіатури комп'ютера і подальшій обробці характеристики рухової активності. При цьому натискання виконують серіями субтестів, які включають натискання пальцями кожної руки окремо, пальцями обох рук одночасно в звичайному і перехресненому положеннях і реєструють часові і кількісні показники цих натискань. Діагностичний висновок роблять за результатами порівняння отриманих числових значень з нормою.

Такий спосіб спрямований на фіксацію кількості натискань пальцями рук та сискинезій, і обробку результатів рухової активності, що не дозволяє точно визначити рівень розвитку дрібної моторики рук.

В праці [6] запропоновано метод оцінки визначення дрібної моторики, який включає в себе виконання серії субтестів на цифровому графічному планшеті, для кожної руки окремо, подальшу обробку характеристик рухової активності, при якій реєструють час виконання кожного завдання та його тривалість. Для субтестів вибираються інтерактивні лінійні та нелінійні шаблони завдань траєкторій, динамічний тест з рухливими фігурами та вводяться процедури аналізу сили натиску цифровим бездротовим пером на поверхню цифрового графічного планшету, реєстрації кількості технічно правильно та некоректно виконаних і пропущених завдань, відхилення експериментальної довжини ліній від еталонної, розрахунку показників точності та рівня розвитку рухових навиків.

Обмежені функціональні можливості цього способу обумовлені тим, що під час визначення точності виконання завдань не враховується час виконання завдань та фіксація максимального відхилення отриманих та заданих траєкторій завдань. Утримування цифрового бездротового пера передбачає його фіксацію кількома пальцями одночасно, це приводить до того, що оцінюється дрібна моторика лише для кисті в цілому. Оскільки в пультах дистанційного керування радіомоделями основними органами керування є важелі, переміщення яких здійснюється великими пальцями руки, то вище описаний спосіб не дозволить оцінити особливості дрібної моторики рук, які необхідні для оператора дистанційно керованих пристроїв.

Розв'язання задачі

Поставлена мета досягається методом визначення рівня розвитку дрібної моторики операторів дистанційно керованих пристроїв, який включає виконання серії субтестів для кожної руки окремо за допомогою комп'ютерного пристрою. Як субтести вибирають інтерактивні лінійні та нелінійні статичні

шаблони завдань траєкторій щодо повтору руху та динамічний тест з рухомими фігурами. В процесі обробки характеристик рухової активності, реєструють час виконання кожного завдання та його тривалість, оцінюють відхилення експериментальної довжини ліній від еталонної, аналізують точність тестування та рівень розвитку рухових навиків. Для лінійних завдань використовують інтегральне відхилення, яке визначається методом трапеції. Для визначення точності здійснюють врахування часу та максимального відхилення експериментальної довжини ліній від еталонної, а для виконання тестових завдань на комп'ютерному пристрої використовують пульт дистанційного керування радіомоделями, підключений до комп'ютера.

Для оцінки стресостійкості використовується частота пульсу отримана від сенсора на тілі людини.

Структурна схема інформаційної системи для відбору операторів дистанційно керованих пристроїв наведено на рис. 1.

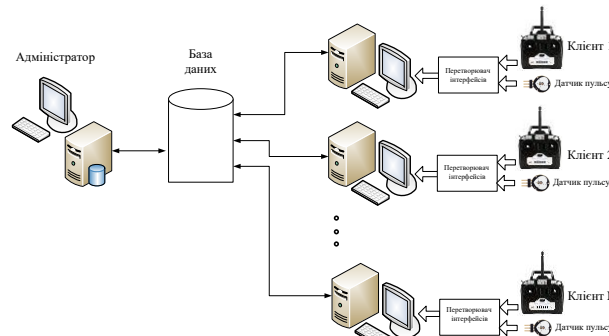


Рис. 1. Інформаційна система для відбору операторів дистанційно керованих пристроїв

Інформаційна система для відбору операторів дистанційно керованих пристроїв складається з наступних елементів:

- ПК клієнти, на яких безпосередньо відбувається тестування за допомогою спеціального програмного забезпечення та які мають зв'язок з базою даних на сервері;
- перетворювачі інтерфейсу, які здійснюють перетворення інтерфейсів пульта керування та вимірювача частоти пульсу в послідовний інтерфейс USB персонального комп'ютера;
- сервер, на якому розміщена база даних результатів тестування. Адміністратор сервера здійснює запис персональних даних перед початком тестування, зберігає дані тестування, роздруковує результати та передає їх іншим особам.

Алгоритм роботи

Робота схеми відбувається наступним чином: спочатку вносять реєстраційні дані учасника після чого розпочинається тестування. Першими виконуються завдання у вигляді прямих. Тестові прямі є графіком лінійної функції:

$$\begin{cases} x(t) = x_1 + (x_2 - x_1) \cdot t; \\ y(t) = y_1 + (y_2 - y_1) \cdot t; \end{cases} \quad (1)$$

де t – параметр рівняння прямої ($t \in [0; 1]$);

x_1, x_2 – координати крайніх точок відрізка по осі абсцис ($x_1, x_2 \in [0; \text{Width}]$), Width – ширина робочого вікна;

y_1, y_2 – координати крайніх точок відрізка по осі ординат ($y_1, y_2 \in [0; \text{Height}]$), Height – висота робочого вікна.

Для лінійних завдань, щоб визначити відхилення отриманої кривої від заданої використовують метод трапеції для визначення площі підінтегральної функції.

Далі учасник приступає до виконання нелінійних завдань. Такі завдання представляють у вигляді спіралі Архімеда, що визначаються як криві:

$$\begin{cases} X_\theta = x_{center} + \text{Radius} \cdot \theta \cdot \cos(\text{dir} \cdot 2\pi\theta / 360); \\ Y_\theta = y_{center} + \text{Radius} \cdot \theta \cdot \sin(\text{dir} \cdot 2\pi\theta / 360); \end{cases} \quad (2)$$

де X_{center} і Y_{center} – координати центру спіралі;

Radius – радіус спіралі;

dir – напрямок спіралі за часовою стрілкою або проти неї;

θ – кут нахилу спіралі (0-360), який задається у вигляді $\theta = 0 \dots 360 \cdot \text{num}^{-1}$, де num – кількість витків спіралі.

Для нелінійних завдань для визначення відхилення отриманої кривої від заданої використовують

різницю у довжинах цих ліній.

Після цього учасник виконує динамічні завдання. Шаблони цих завдань будуються шляхом генерації випадкових координат точок кривої яку учаснику тестування необхідно відтворити. При цьому час відображення точок кривої обмежений.

Паралельно з проведенням тестування дрібної моторики відбувається фіксація частоти пульсу, що в подальшому дозволить визначити її відхилення від частоти пульсу у спокої.

За допомогою комп'ютера реєструють число переглянутих (А), правильно виконаних завдань (В), технічно правильно виконаних завдань із запізненням по часу (С) та неправильно виконаних завдань (Д). На підставі цих показників розраховують критерії точності виконання завдань (Т) та оцінку рівня розвитку рухових навиків (Р):

$$T = \frac{A}{B};$$

$$P = T \cdot (B + C).$$
(3)

Після виконання тестових завдань на екрані монітора відображаються показники P , T , максимального відхилення та серцевого ритму. На основі цих значень визначають рівень розвитку дрібної моторики у осіб які прагнуть працювати оператором дистанційно керованих пристроїв та оцінюють їх стресостійкість.

Технічна реалізація

На сьогодні найбільш поширеним інтерфейсом для роботи пультів радіо керування є імпульсно-позиційна модуляція (Pulse-position modulation (PPM)).

Найбільш найбільш поширеними інтерфейсами для зв'язку периферійних пристроїв з персональним комп'ютером є послідовний інтерфейс RS-232 та USB. Тому для підключення пультів радіо керування до персонального комп'ютера необхідно розробити перетворювач інтерфейсу PPM в USB. Використаємо мікроконтролер STM32F103C8T6, основні характеристики якого описані в [7].

З врахуванням всіх елементів для відбору операторів дистанційно керованих пристроїв отримуємо наступну схему:

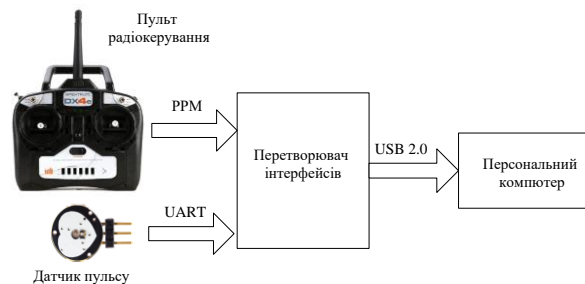


Рис. 3. Структурна схема апаратного забезпечення для тестування дрібної моторики та стресостійкості операторів дистанційно керованих пристроїв

Висновки

У роботі здійснено обґрунтування необхідності проведення тестування для кандидатів у оператори дистанційно керованих пристроїв. У якості показників для тестування обрано рівень розвитку дрібної моторики та рівень стресостійкості. Для визначення цих показників та автоматизації процесу тестування, обробки та зберігання результатів було розроблено інформаційну систему, яка відрізняється від існуючих тим, що для визначення рівня розвитку дрібної моторики використовується пульт дистанційного керування радіомоделями, за допомогою якого виконуються графічні завдання з оцінкою швидкості та точності виконання, а для визначення рівня стресостійкості використовуються дані вимірювача пульсу, які показують реакцію оператора на напружену діяльність. Наведено послідовність такого тестування та висвітлено особливості технічної реалізації такої системи.

Література

1. Ударцева Т.Е. Доцільність проведення професійного добору операторів керування безпілотними літальними апаратами / Т.Е. Ударцева // Системи озброєння і військова техніка. – 2016. – № 1(45). – С. 186–189.
2. Shengjun Qia, Feng Wang and Li Jing. Unmanned Aircraft System Pilot/Operator Qualification Requirements and Training Study. MATEC Web of Conferences 179, 03006 (2018).
3. Циганчук Т.В. Стрес у професійній діяльності / Т.В. Циганчук // Проблеми сучасної психології. – 2015. – № 30. – С. 669–678.
4. Брумштейн Ю. Компьютерезерезированные методы исследования скорости реакций и точности моторики пальцев рук / Юрий Брумштейн, Юлия Аксенова // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. –

№ 9. – С. 77–83.

5. Патент России №2314743. Способ диагностики мелкой моторики руки / Григал П.П., Хорсева Н.И. – заявл. 11.04.2007 ; опубл. 20.01.2008.

6. Аврунин О. Г. Разработка метода автоматизированного тестирования мелкой моторики ведущей руки на графическом планшете / О.Г. Аврунин, К.Г. Селиванова // Прикладная радиоэлектроника. – 2013. – Том 12. – № 3 – С. 459–465.

7. Технічні характеристики мікроконтролера STM32F103. URL: https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/reference_manual/59/b9/ba/7f/11/af/43/d5/CD00171190.pdf/files/CD00171190.pdf/jcr:content/translations/en.CD00171190.pdf

References

1. Udartseva T.E. Dotsilnist provedennia profesiinoho doboru operatoriv keruvannia bezpilotnymy litalnymy aparatamy / T.E. Udartseva // Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika. – 2016. – № 1(45). – S. 186–189.

2. Shengjun Qia, Feng Wang and Li Jing. Unmanned Aircraft System Pilot/Operator Qualification Requirements and Training Study. MATEC Web of Conferences 179, 03006 (2018).

3. Tsyhanchuk T.V. Stres u profesiinii diialnosti / T.V. Tsyhanchuk // Problemy suchasnoi psykholohii. – 2015. – № 30. – S. 669–678.

4. Brumshtejn Yu. Kompyutererezirovanye metody issledovaniya skorosti reakcij i tochnosti motoriki palcev ruk / Yuriy Brumshtejn, Yuliya Aksenova // Izvestiya YuFU. Tehnicheskie nauki. – 2012. – № 9. – S. 77–83.

5. Patent Rosii №2314743. Sposob diagnostiki melkoj motoriki ruki / Grigal P.P., Horseva N.I. – zavavl. 11.04.2007 ; opubl. 20.01.2008.

6. Avrunin O. G. Razrabotka metoda avtomatizirovanogo testirovaniya melkoj motoriki vedushej ruki na graficheskom planshete / O.G. Avrunin, K.G. Selivanova // Prikladnaya radioelektronika. – 2013. – Tom 12. – № 3 – С. 459–465.

7. Tekhnichni kharakterystyky mikrokontrolera STM32F103. URL: https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/reference_manual/59/b9/ba/7f/11/af/43/d5/CD00171190.pdf/files/CD00171190.pdf/jcr:content/translations/en.CD00171190.pdf

Рецензія/Peer review : 10.01.2020 р.

Надрукована/Printed : 16.6.2020 р.

Рецензент: к.т.н., проф. Бортник Г.Г.

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ТА ПІДВИЩЕННЯ СТРУКТУРНОЇ ЖИВУЧОСТІ РІВНЯ НАДАННЯ СЕРВІСІВ ТА ДОДАТКІВ

Однією із найважливіших властивостей телекомунікаційних мереж (ТКМ), а саме мереж нового покоління, яка забезпечує їх стабільне та надійне функціонування, є структурна живучість. Підвищення живучості є важливим завданням, однак на практиці це трудомісткий процес, особливо в умовах підвищення складності сучасних ТКМ. Тому є актуальним процес автоматизації розрахунку показників та підвищення структурної живучості ТКМ. Дана робота присвячена саме процесу автоматизації розрахунку та підвищення структурної живучості рівня сервісів та додатків (РСД) ТКМ. Для управління наданням сервісів на РСД використовується централізований принцип управління (ЦПУ). Запропоновано застосовувати показник структурної живучості РСД – середньозважене значення нижньої і верхньої границь структурної живучості – завдяки можливості визначення як множини шляхів, так і множини розрізів між пунктами – користувач і сервер послуг РСД з ЦПУ. Програмне забезпечення виконує наступні функції: забезпечує введення вхідних даних для розрахунку; будує граф мережі на основі введених даних; дозволяє проводити розрахунок показників структурної живучості для РСД з ЦПУ; визначає, чи досягнуто необхідний рівень структурної живучості в процесі резервування ділянок мережі; будує таблицю з результатами розрахунків резервування ділянок мережі. Алгоритмічна частина програмного забезпечення написана на скриптовій мові програмування JavaScript з використанням стандарту ECMAScript 6. Для створення інтерфейсу користувача використана відкрита бібліотека React з застосуванням розширення JSX. Перспективи подальших досліджень складаються в розвитку запропонованого методу та програмного забезпечення в напрямку автоматизації процесу формування вихідних даних – ймовірностей неуразження ділянок мережі – у відповідності з заданими розподілами цих даних.

Ключові слова: структурна живучість, рівень сервісів та додатків, показник структурної живучості, верхня і нижня границя структурної живучості, ймовірність неуразження ділянок мережі, оптимальна структура резерву, програмне забезпечення.

N. KNIAZIEVA, L. ZIMENKO, V. PUSTIVIY
Odessa National Academy of Food Technologies

AUTOMATION OF THE PROCESS OF INDICATORS CALCULATION AND IMPROVING THE STRUCTURAL SURVIVAL OF SERVICE AND ADDITION LAYERS

One of the most important property of telecommunication networks (TCN), namely next generation networks, which ensures their stable and reliable functioning is structural survivability. Increasing survivability is an important task. However, in practice it is a laborious process, especially in conditions of increasing the dimensionality of modern TCN. Therefore, the process of automating the calculation of indicators and increasing the structural survivability of the TCN is relevant. This article is devoted specifically to the process of automating the calculation and increasing the structural survivability of the TCN services and applications layer (SAL). To manage the provision of SAL services, is used the centralized management principle (CMP). It is proposed to use the SAL structural survivability index – the weighted average of the lower and upper boundaries of the structural survivability – due to the possibility of determining both the set of paths and the set of cuts between points – the user and server of the SAL services with a CMP. The software performs the functions of: provides input data for the calculation; builds a network graph based on the entered data; allows the calculation of indicators of structural survivability for SAL with CMP; determines, the necessary level of structural survivability is achieved in the process of reservation of network sections; builds a table with the results of calculations of the reservation of network sections. The algorithmic part of the software is written in the JavaScript scripting language using the ECMAScript 6 standard. To create the user interface, the open React library using the JSX extension was used. Prospects for further research are the development of the proposed method in the direction of automating the process of generating output data – the probabilities of non-damage to network sections – in accordance with the given distributions of these data.

Keywords: structural survivability, level of services and applications, structural survivability index, upper and lower bounds of structural survivability, probability of non-destruction of network sites, optimal reserve structure, software.

Однією із найважливіших властивостей телекомунікаційних мереж (ТКМ), а саме мереж нового покоління NGN (Next Generation Network), яка забезпечує їх стабільне та надійне функціонування, є структурна живучість (СЖ).

Питання оцінки та розрахунку СЖ представлені у працях науковців: А.Г. Додонова, Д.В. Ланде [1], Ю.І. Стекольнікова [2], Ю.Ю. Громова [3], Д.О. Кривошеї [4] тощо. У цих роботах відмічено, що підвищення СЖ є дуже важливим завданням, однак на практиці це трудомісткий процес, який займає багато часу та ресурсів, особливо в умовах підвищення складності сучасних ТКМ. Тому є актуальним процес автоматизації розрахунку показників та підвищення СЖ ТКМ. Дана робота присвячена саме процесу автоматизації розрахунку та підвищення СЖ рівня сервісів та додатків (РСД) ТКМ.

На сьогоднішній день для управління наданням сервісів на РСД використовується централізований принцип управління (ЦПУ) [5, 6], під час застосування якого програмні комутатори Softswitch з'єднані між собою та кожен з них з'єднаний з сервером послуг. Заявка на сервіс надходить на один з комутаторів Softswitch. У разі неможливості обробки заявки на сервіс одним з Softswitch, заявка надходить далі на обробку до іншого Softswitch, поки не буде оброблена і передана на сервер послуг. Таким чином, на одному рівні між програмними комутаторами Softswitch є рівноправні зв'язки, завдяки використанню яких може

бути утворена множина шляхів (маршрутів) обслуговування заявки на сервіс: $M_{st} = \{\mu_{st}^k\}$, де $k = \overline{1, K}$, K – кількість шляхів між пунктами s (користувач) і t (сервер послуг). В роботі [6] надано метод забезпечення СЖ ТКМ, що базується на визначенні показника, який розраховується як середньозважене значення нижньої і верхньої границь СЖ. В даній роботі запропоновано застосовувати показник СЖ РСД – $P_{РСД}$ – як середньозважене значення нижньої і верхньої границь СЖ – завдяки можливості визначення як множини шляхів, так і множини розрізів між пунктами: користувач і сервер послуг.

Верхня границя СЖ ($P_{ВГСЖ}$) визначається на основі множини шляхів, використовуваних для обслуговування заявок на сервіс. При визначенні $P_{ВГСЖ}$ приймається, що шляхи незалежні, утворюють паралельну структуру. Нижня границя СЖ ($P_{НГСЖ}$) визначається на основі множини розрізів, які поділяють множину шляхів, використовуваних для обслуговування заявок на сервіси. В ході визначення $P_{НГСЖ}$ вважається, що всі розрізи утворюють послідовну структуру. Показник $P_{РСД}$ визначається відповідно до (1):

$$P_{РСД} = \frac{P_{ВГСЖ}w_{ВГСЖ} + P_{НГСЖ}w_{НГСЖ}}{w_{ВГСЖ} + w_{НГСЖ}}, \tag{1}$$

де $w_{ВГСЖ}$ і $w_{НГСЖ}$ – вагові коефіцієнти, що визначають важливість, значимість для визначення $P_{РСД}$ показників $P_{ВГСЖ}$ і $P_{НГСЖ}$, відповідно.

При нормуванні значень вагових коефіцієнтів, а саме:

$$w_{ВГСЖ} + w_{НГСЖ} = 1, \tag{2}$$

вираз (1) набуває вигляду (3):

$$P_{РСД} = P_{ВГСЖ}w_{ВГСЖ} + P_{НГСЖ}w_{НГСЖ} \tag{3}$$

Значення $w_{ВГСЖ}$ і $w_{НГСЖ}$ доцільно визначати на основі експертних оцінок.

Таким чином, показник СЖ $P_{РСД}$ розраховується як середньозважене значення граничних показників $P_{ВГСЖ}$ і $P_{НГСЖ}$. Звичайно, показник СЖ може бути розрахований по кожному з граничних значень.

Вибір показника $P_{РСД}$ визначається відповідністю його основним вимогам [2, 6]:

- за смисловим змістом $P_{РСД}$ визначається на основі потокового підходу, який використовується для вирішення завдань синтезу живучих систем, оцінки, забезпечення і підвищення живучості систем;
- досить високий рівень системності досліджень забезпечується урахуванням множини шляхів, організованих для обслуговування заявок на сервіси, що надходять в мережу, і множини розрізів, які поділяють ці шляхи;
- показник $P_{РСД}$ має високий ступінь формалізації, що дозволяє виконати його розрахунок і провести дослідження його змін при зміні ситуації в РСД;
- розрахунок $P_{РСД}$ здійснюється на основі врахування вимог на надання сервісів, що надійшли в РСД, і можливостей по їх обслуговуванню, що дозволяє забезпечити чутливість показника до будь-яких маніпуляцій на рівні характеристик РСД.

Крім того, даний показник повністю відповідає критеріям розробки живучих систем – придатності, порівняльної оцінки і оптимальності: $P_{РСД}$ визначається на основі потокового підходу, що відповідає критерію придатності; визначення досягнення показником необхідного значення здійснюється на основі врахування існуючих обмежень, що визначається критерієм порівняльної оцінки; необхідне значення $P_{РСД}$ досягається в процесі оптимізації (максимізації) його значення, що відповідає критерію оптимальності.

Процес визначення $P_{РСД}$ складається з виконання послідовності кроків.

1. Визначення $P_{ВГСЖ}$ Верхня границя СЖ визначається як ймовірність неураження хоча б одного шляху μ_{st}^k множини шляхів M_{st} обслуговування заявки на сервіси (4):

$$P_{ВГСЖ} = 1 - \prod_{\mu_{st}^k \in M_{st}} (1 - \prod_{\beta_{xy} \in \mu_{st}^k} p_{xy}), \tag{4}$$

де β_{xy} – ділянка шляху μ_{st}^k ;

P_{xy} – ймовірність неураження ділянки β_{xy} при несприятливому впливі.

2. *Визначення $P_{НГСЖ}$* . Нижня границя СЖ (5) визначається як ймовірність неураження множини розрізів δ_{st} , які поділяють множину шляхів обслуговування заявки на сервіс:

$$P_{НГСЖ} = \prod_{\delta_{st}^l \in \delta_{st}} (1 - \prod_{\beta_{xy} \in \delta_{st}^l} (1 - p_{xy})), \quad (5)$$

де β_{xy} – ділянка розрізу δ_{st}^l ($l = \overline{1, L}$, L – кількість розрізів, що поділяють множину шляхів M_{st}).

3. *Визначення, чи досяг показник структурної живучості необхідного значення*. Отримане на основі виразів (1) або (3) значення показника $P_{РСД}$ СЖ РСД порівнюється з необхідним значенням:

$$P_{РСД} \geq P_{НБ}, \quad (6)$$

$P_{НБ}$ – необхідне значення показника СЖ РСД.

Якщо умова (6) виконується, це означає, що необхідне значення показника СЖ досягнуто, система надання сервісів задовольняє заданій вимозі щодо СЖ.

При невиконанні умови (6) виконується перехід до процедури забезпечення необхідного значення показника СЖ $P_{НБ}$.

4. *Забезпечення необхідного значення показника структурної живучості*. Завдання забезпечення СЖ РСД, тобто підвищення рівня СЖ до необхідного значення, формулюється як задача лінійного програмування, в результаті вирішення якої формується оптимальна структура резерву ділянок шляхів (розрізів), а саме: мінімізувати значення цільової функції (7) при виконанні обмеження (6):

$$C_{СИС} = \prod_{i=1}^n c_i m_i \rightarrow \min, \quad (7)$$

де $C_{СИС}$ – вартість системи резервних елементів;

i – номер ділянки в системі;

n – кількість ділянок в системі;

c_i – вартість i -ї резервної ділянки системи;

m_i – кратність резервування i -ї ділянки системи.

Рішення представленої оптимізаційної задачі зводиться до пошуку вектора оптимальної структури резерву, що забезпечує мінімум функції (7) при обмеженні (6).

Створення оптимальної системи, яка резервується, представляється у вигляді багатокрокового процесу. Розглядається система, яка складається з n ділянок мережі, при тому, що на початковому етапі процесу допускається, що в жодній з ділянок немає резервних елементів.

На першому кроці процесу відшукується така ділянка, додавання до якої одного резервного елемента дає найбільший "питомий" вигреш в прирості показника СЖ системи в цілому, тобто найбільший приріст на одиницю вартості. Оцінка ефективності резервування ділянки виконується з використанням градієнтного методу на основі показника (8), що розраховується для кожної i -ї ділянки при збільшенні кратності її резервування на одиницю [7]:

$$\gamma(m_i + 1) = \frac{p_i(m_i + 1) - p_i m_i}{c_i \cdot p_i(m_i)}, \quad (8)$$

$p_i(m_i + 1)$, $p_i m_i$ – значення показника ймовірності неураження i -ї ділянки при кратності резервування $(m_i + 1)$ і m_i . Необхідність резервування кожної ділянки визначається на основі врахування впливу цього процесу на зміну значень $P_{ВГСЖ}$ і $P_{НГСЖ}$, що здійснюється за допомогою показників $\gamma_{ВГСЖ}(m_i + 1)$ і

$\gamma_{НГСЖ}(m_i + 1)$, які розраховуються відповідно до виразу (8) для множин шляхів (показник $\gamma_{ВГСЖ}(m_i + 1)$) і для множин розрізів (показник $\gamma_{НГСЖ}(m_i + 1)$). В результаті чого для кожної i -ї ділянки формується середньозважена величина (9), максимальне значення якої серед усіх отриманих середньозважених величин і визначає номер ділянки для збільшення на одиницю кратності її резерву на даному етапі.

$$\gamma_{срзв} = \frac{w_{ВГСЖ} \gamma_{ВГСЖ} + w_{НГСЖ} \gamma_{НГСЖ}}{2}, \quad (9)$$

де $\gamma_{ВГСЖ}$ і $\gamma_{НГСЖ}$ – значення градієнтів для розрахунків нижньої і верхньої границь показників СЖ,

відповідно.

На наступному кроці відшукується наступна ділянка (включаючи і ту, до якої тільки що був приєднаний резервний елемент), додавання до якої одного резервного елемента дає знову найбільше відносне збільшення показника СЖ системи в цілому. Аналогічним способом процес побудови системи оптимального резервування триває доти, поки не буде досягнуто виконання умови (6).

Слід відзначити, що трудомісткість розрахунків зростає при збільшенні кількості структурних зв'язків та зменшенні ймовірності неураження ділянок мережі між ресурсами системи, що призводить до збільшення розрахункових ітерацій для визначення показника СЖ РСД.

Опис програмного забезпечення

Запропоноване в даній роботі програмне забезпечення (ПЗ) для автоматизації методу розрахунку та підвищення СЖ РСД з централізованим принципом управління наданням сервісів виконує розрахунок показників за допомогою циклічного алгоритму. Алгоритм виконує рекурсивне повторення послідовності операцій над вхідними і проміжними даними доти, поки не буде отримано результат, котрий відповідатиме поставленій умові (6). Глибина рекурсії залежить від складності розрахунків.

Блок-схема алгоритму роботи ПЗ наведена на рис. 1.

Алгоритмічна частина ПЗ написана на скриптовій мові програмування JavaScript з використанням стандарту ECMAScript 6. Для створення інтерфейсу користувача використана відкрита бібліотека React з застосуванням розширення JSX.

Вхідними даними розробленого ПЗ є:

- кількість абонентів мережі;
- кількість програмних комутаторів в мережі;
- кількість обслуговуючих серверів;
- вартість резервного обладнання (в умовних одиницях);
- ймовірність неураження ділянок мережі при несприятливому впливі.

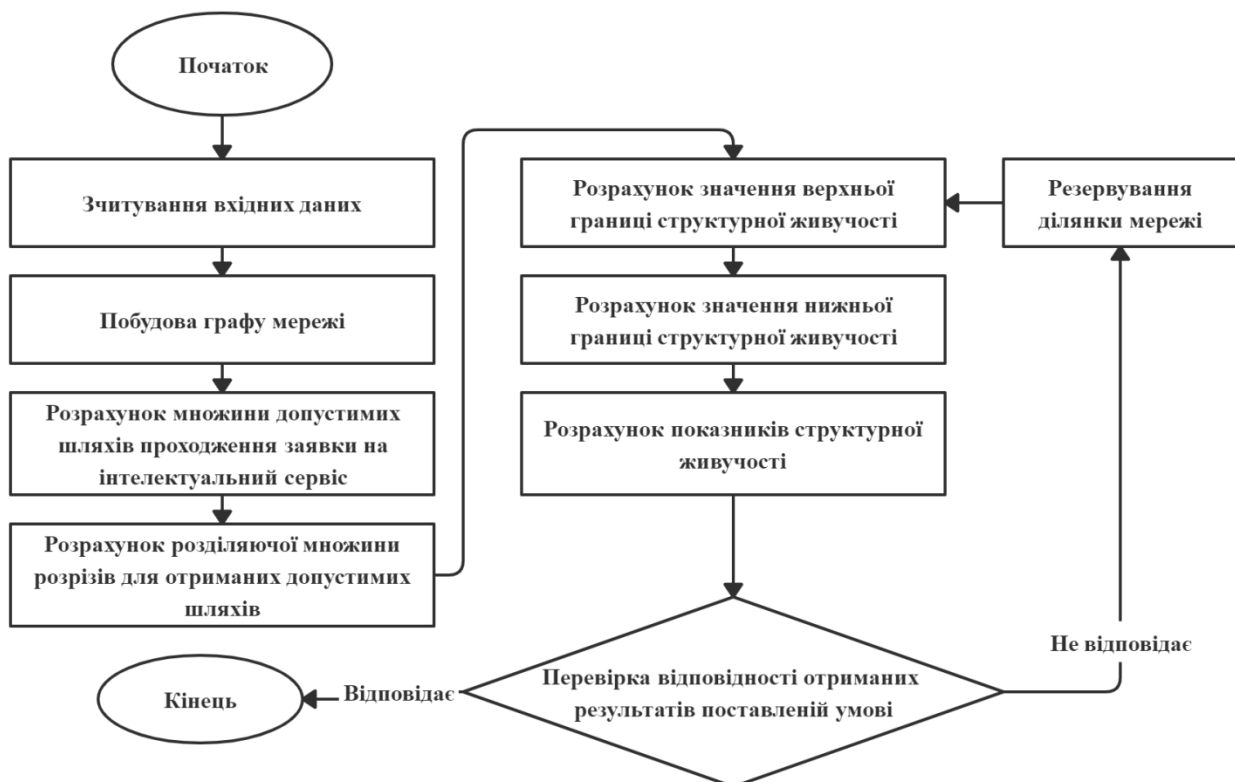


Рис. 1. Загальний алгоритм сценарію автоматизації розрахунку показників структурної живучості РСД

Програмне забезпечення виконує такі основні функції:

- забезпечує введення вхідних даних для розрахунку;
- будує граф мережі на основі введених даних;
- дозволяє проводити розрахунок показників для РСД з ЦПУ;
- визначає верхню і нижню границю СЖ;
- визначає, чи досягнуто необхідний рівень СЖ в процесі резервування ділянок мережі;
- будує таблицю з результатами резервування ділянок мережі.

На рисунках 2–5 зображено інтерфейс ПЗ. На рис. 2 зображено вікно вводу наступної інформації: кількість абонентів в мережі, кількість програмних комутаторів Softswitch в мережі, кількість робочих серверів в мережі. На основі даних, які вводяться, система автоматично будує граф мережі.

Кількість абонентів Кількість програмних комутаторів Кількість серверів

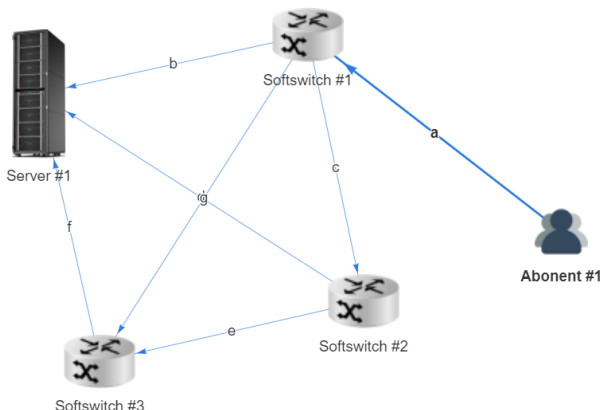


Рис. 2. Форма для введення вхідних даних в ПЗ та побудований граф мережі на основі введених даних

На основі введених вхідних даних ПЗ визначає всі можливі шляхи проходження заявки на сервіс від абонента до обслуговуючого сервера та представляє їх у ДНФ – диз'юнктивній нормальній формі (рис. 3).

$$m_0 = ab + acd + acef + agf + aged$$

$$\delta_0 = a + bcdg + bceg + bcdg + bcfg + bcef + bcdg + bdeg + bdef + bdfg + bdf$$

Рис. 3. Побудована ДНФ на основі введених значень

У вікно вводу (рис. 4) вводяться значення вартостей ділянок (визначається в умовних одиницях) та значення ймовірностей неуразження ділянок мережі:

Ділянка	a	b	c	d	e	f	g
Вартість (у.о.)	1	1	1	1	1	1	1
Ймовірність неуразження	0.92	0.98	0.94	0.9	0.97	0.92	0.98

Рис. 4. Вікно вводу вартості ділянок та значення ймовірностей неуразження ділянок мережі

За допомогою отриманих результатів ПЗ буде розділяючу множину розрізів для допустимих шляхів.

Беручи до уваги введене значення необхідного рівня СЖ РСД (рис. 5), ПЗ виконує процедуру резервування ділянок мережі, доки не буде виконана необхідна умова (6).

$R_{необх}$ $W_{вгсж}$ $W_{нгсж}$

$R_{вгсж} = 0.9998192$

$R_{нгсж} = 0.9198061$

$R_{но} = 0.9518113$

$R_{н1} = 0.9960300$

Рис. 5. Початкові значення верхньої та нижньої границь структурної живучості

За результатами розрахунку ПЗ дозволяє отримати вектор оптимальної структури резерву. Для прикладу, який наведено, вектор оптимальної структури резерву має вигляд: $M(m_a, m_b, m_c, m_d, m_i, m_j) = (2, 0, 0, 0, 0, 0)$,

Результати розрахунків резервування ділянок виносяться в окрему таблицю (рис. 6).

№ кроку	$P_{ВГСЖ}^{15}$	$C_{ВГСЖ}$	$У_{ВГСЖ}(m_i + 1)$	$P_{НГСЖ}^{15}$	$C_{НГСЖ}$	$У_{НГСЖ}(m_i + 1)$	$У_{срзв}$
1	2	3	4	5	6	7	8
0	0.9998192	0	0	0.9198061	0	0	0
1							
a	0.9999891	5	0.0000340	0.9933906	1	0.0740741	0.0222290
b	0.9998524	1	0.0000332	0.9199961	10	0.0000207	0.0000129
c	0.9998863	2	0.0000336	0.9198420	6	0.0000065	0.0000087
d	0.9999261	2	0.0000535	0.9199562	6	0.0000272	0.0000189
e	0.9998556	2	0.0000182	0.9198147	4	0.0000023	0.0000043
f	0.9999194	2	0.0000501	0.9199605	6	0.0000280	0.0000184
g	0.9998489	2	0.0000149	0.9198363	6	0.0000055	0.0000046

Рис. 6. Результати розрахунків резервування ділянок

Розрахунок верхньої та нижньої границь СЖ виконується ПЗ за допомогою алгоритму ітераційної підстановки значень вихідних даних, які вводяться користувачем через інтерфейс.

Фрагмент ПЗ – програмний код для розрахунку верхньої границі СЖ:

```

let upperRouteArr = displayRoutes[0].split(' + ')
let resArr = [];
for(let keyRoute in upperRouteArr) {
    let branch = upperRouteArr[keyRoute].trim();
    let branchArr = branch.split(' ');
    let parArr = []
    for(let keyBranchRoute in branchArr) {
        let value = p[branchArr[keyBranchRoute]]
        parArr.push(value)
    }
    resArr.push("(1 - " + parArr.join(" * ") + ")")
}
let result = "1 - " + resArr.join(" * ");
let currentPup = 0
eval('currentPup = ' + result + ');
    
```

В результаті розрахунків можна побудувати графік (рис. 7) змін кількості розрахункових ітерацій в залежності від кількості ділянок та структурних зв'язків між ресурсами системи, застосовуючи який можна виконати оцінку трудомісткості процесу розрахунку в залежності від вихідних даних.



Рис. 7. Графік зміни кількості розрахункових ітерацій залежно від середніх показників ймовірності неуразнення ділянок мережі

Висновки

Підвищення структурної живучості рівня сервісів та додатків є актуальним завданням, також не

менш актуальним завданням є автоматизація цього процесу, тому що розрахунок показника СЖ та підвищення СЖ – складний, трудомісткий та довгий процес. В даній роботі для оцінки СЖ РСД з централізованим принципом управління запропоновано використовувати показник – середньозважене значення верхньої та нижньої границь СЖ. Завдання підвищення СЖ РСД формулюється як задача лінійного програмування, в результаті розв'язку якої формується оптимальна структура резерву ділянок шляхів (розрізів). ПЗ, яке розроблено, дозволяє в автоматичному режимі отримати значення верхньої та нижньої границь СЖ РСД, на основі яких визначити показник – середньозважене значення верхньої та нижньої границь СЖ. ПЗ дозволяє розв'язати задачу оптимізації структури резерву обладнання РСД для забезпечення необхідного рівня СЖ РСД.

Перспективи подальших досліджень складаються в розвитку запропонованого методу та програмного забезпечення в напрямку автоматизації процесу формування вихідних даних – ймовірностей неуразення ділянок мережі – у відповідності з заданими розподілами цих даних.

Література

1. Додонов А.Г. Живучесть информационных систем / А.Г. Додонов, Д.В. Ландэ. – К. : Наук. думка, 2011. – 256 с.
2. Стекольников Ю.И. Живучесть систем / Ю.И. Стекольников. – СПб : Политехника, 2002. – 155 с.
3. Громов Ю.Ю. Синтез и анализ живучести сетевых систем / Ю.Ю. Громов, В.О. Драчев, К.А. Набатов, О.Г. Иванова. – М. : Изд-во Машиностроение-1, 2007.
4. Кривошея Д.О. Исследование функциональной живучести модели системы видеоконференцсвязи, развернутой на беспроводной ячеистой сети / Д.О. Кривошея // Наукоеведение : интернет-журнал. – 2013. – № 4.
5. Kniazieva N. The Method of Determining the Functional Survivability of the Control of the Intelligent Services / N. Kniazieva, L. Zimenko, T. Kunup // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences. IV(10), Issue 91, 2016.
6. Князева Н.А. Метод обеспечения структурной живучести телекоммуникационной сети / Н.А. Князева // International Journal "Information Technologies & Knowledge". – 2014. – №. 8. – С. 152–166.
7. Князева Н.О. Теорія проектування комп'ютерних систем і мереж. Ч. 2. Методи аналізу і синтезу комп'ютерних мереж / Н.О. Князева. – Одеса : СПД Бровкін О.В., 2012.

References

1. Dodonov A.G. Zhivuchest informacionnyh sistem / A.G. Dodonov, D.V. Lande. – K. : Nauk. dumka, 2011. – 256 s.
2. Stekolnikov Yu.I. Zhivuchest sistem / Yu.I. Stekolnikov. – SPb : Politehnika, 2002. – 155 s.
3. Gromov Yu.Yu. Sintez i analiz zhivuchesti setevykh sistem / Yu.Yu. Gromov, V.O. Drachev, K.A. Nabatov, O.G. Ivanova. – M. : Izd-vo Mashinostroenie-1, 2007.
4. Krivosheya D.O. Issledovanie funkcionalnoj zhivuchesti modeli sistemy videokonferentsvyazi, razvernutoj na besprovodnoj yacheistoj seti / D.O. Krivosheya // Naukovedenie : internet-zhurnal. – 2013. – № 4.
5. Kniazieva N. The Method of Determining the Functional Survivability of the Control of the Intelligent Services / N. Kniazieva, L. Zimenko, T. Kunup // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences. IV(10), Issue 91, 2016.
6. Knyazeva N.A. Metod obespecheniya strukturnoj zhivuchesti telekommunikacionnoj seti / N.A. Knyazeva // International Journal "Information Technologies & Knowledge". – 2014. – №. 8. – S. 152–166.
7. Kniazieva N.O. Teoriia proektuvannia kompiuternykh system i mrezh. Ch2. Metody analizu i syntezy kompiuternykh mrezh / N.O. Kniazieva // Odesa. – SPD Brovkin O.V., 2012.

Рецензія/Peer review : 12.4.2020 р.

Надрукована/Printed : 16.6.2020 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

АВТОНОМНА ВИСОКОЕФЕКТИВНА КОГЕНЕРАЦІЙНА УСТАНОВКА

В роботі розглядаються питання розроблення і впровадження ефективних та екологічно чистих енергосистем на основі технології когенерації (спільного виробництва електроенергії та тепла). Пропонується автономна когенераційна установка на базі роторно-лопатевого двигуна із зовнішнім підведенням тепла, який ефективно використовує паливо, має високий ККД і розширені функціональні можливості. Для зниження екологічного навантаження на навколишнє середовище в установці використовується інноваційна технологія енергоефективного спалювання вуглеводнів (твердих, рідких, газоподібних) у струмені перегрітої водяної пари, що забезпечує суттєве зменшення показників вмісту токсичних продуктів згоряння, шкідливих викидів в атмосферу. Установка може використовуватися для розв'язання задач автономного електро- і тепlopостачання промислових та житлових об'єктів, а також для енергоефективного та екологічно безпечного спалювання (утилізації) некондиційних вуглеводневих палив і горючих виробничих відходів.

Ключові слова: теплоенергетика, енергоефективність, когенерація, роторно-лопатевий двигун, перегріта водяна пара.

М.М. KOSIYUK, A.M. KOSIYUK
Khmelnitskyi National University

INDEPENDENT HIGH-EFFICIENT COGENERATION PLANT

The paper deals with the development and implementation of efficient and environmentally friendly energy systems based on cogeneration technology (co-generation of electricity and heat). It offers a standalone cogeneration unit based on a rotor-blade engine with an external heat supply, which uses fuel efficiently, has high efficiency and enhanced functionality. The plant uses innovative technology of energy-efficient combustion of hydrocarbons (solid, liquid, gaseous) in a stream of superheated water vapor, which significantly reduces the content of toxic combustion products and harmful emissions. The plant can be used to solve the problems of autonomous electricity and heat supply for industrial and residential facilities, as well as for energy-efficient and environmentally friendly combustion (disposal) of substandard hydrocarbon fuels (and combustible industrial waste). It is planned to continue the work in the direction of optimization synthesis of individual modules of the installation according to different criteria, which is important for its practical use.

Keywords: thermal power engineering, energy efficiency, cogeneration, rotary-blade engine, superheated water vapor.

Вступ

Швидке виснаження основних енергоресурсів та їх стрімке подорожчання вимагають впровадження ефективних і екологічно чистих енергосистем. У всіх розвинених країнах ставиться завдання переходу на новий технологічний рівень, пов'язаний з енергозбереженням і скороченням використання традиційних ресурсів. При існуючому централізованому способі виробництва теплової та електричної енергії відбуваються значні перевитрати палива, пов'язаного з низькою ефективністю електростанцій і з втратами в електричних і теплових мережах. Оптимальним вирішенням цієї проблеми є впровадження однієї із провідних в світі технологій когенерації (спільного виробництва електроенергії та тепла). Вона поєднує такі характеристики, які недавно вважалися практично несумісними: найвищу ефективність використання палива, більш ніж задовільні екологічні параметри, а також автономність систем когенерації. Технологія когенерації реалізується в установках, що складаються з чотирьох основних елементів: двигуна, електрогенератора, системи утилізації тепла та системи контролю і управління. В теперішній час надзвичайно актуальним завданням є розробка і впровадження мікро- і мінікогенераційних установок.

Мікро-когенераційна установка виробляє менше 5 кВт електроенергії. Замість того, щоб просто спалювати паливо на опалення, деяка частина енергії використовується для вироблення електроенергії на додаток до тепла. Ця електроенергія може використовуватися для домашніх потреб або у бізнесі, або (якщо дозволяє політика енергокомпанії) бути продана в електромережу.

Міні-когенераційна установка, зазвичай застосовується для забезпечення енергетичних потреб окремої будівлі або середнього бізнесу. Потужність типової установки – від 5 кВт до 500 кВт.

Когенерація найбільш ефективна, коли тепло використовується на тому ж майданчику або дуже близько до нього. Повний ККД падає, коли тепло необхідно передати на великі відстані. При цьому потрібні термоізовані трубопроводи, які дорогі і неефективні. У той же час електрику значно простіше можна передаватися на великі відстані по дротах, при цьому втрати навіть на великих відстанях істотно менші.

Аналіз останніх досліджень чи публікацій

В умовах постійно зростаючої конкуренції у боротьбі за ресурси і наростання екологічних проблем різко проявляється протистояння виробників різних видів перетворювачів теплової енергії у механічну, а потім і в електричну як найбільш універсальну. У цьому протистоянні вже давно були виділені два основних напрямки: теплові машини (двигуни) і безмашинні перетворювачі енергії.

Відома найпростіша принципова схема теплоелектроцентрالی (ТЕЦ), що складається з парового котла, паротурбінної установки з електрогенератором на одному валу, лінії споживача пари з відбором від турбіни, конденсатора, через який проходить система зовнішнього тепlopостачання, лінії конденсату і

циркуляційного насоса [1]. Однак дана принципова схема може бути застосована і економічно вигідна тільки для великих промислових ТЕЦ.

Відома принципова схема пароводяної котельні з використанням теплоти відхідних газів, що складається з парового котла, економайзера для підігріву мережної води, парової турбіни з компресором для димових газів на одному валу, лінії споживача пари, конденсатора пари, лінії конденсату і циркуляційного насоса [2]. Однак теплота димових газів використовується тільки для вироблення додаткової теплової енергії.

Одним із варіантів використання теплоти викидних газів є її трансформація в електроенергію, за рахунок застосування термоелектричного генератора (ТЕГ) [3]. Отримана електроенергія може напряду жити навантаження і/або заряджати акумулятор, що може бути застосовано для автоматизації котельні.

В когенераційній установці, що містить двигун зовнішнього згоряння, генератор електричної енергії, блок управління і котел з димоходом для відводу продуктів горіння палива, при цьому котел виконаний з можливістю передачі тепла споживачам теплової енергії і нагріву робочої частини двигуна зовнішнього згоряння, виконаного у вигляді двигуна Стірлінга, кінематично пов'язаного з генератором електричної енергії і підключеного до споживачів електричної енергії [4]. Недоліками когенераційної установки є високі показники вмісту токсичних продуктів згоряння і шкідливих викидів в атмосферу, недостатньо ефективне використання палива, що знижує ККД установки та її енергоефективність.

У роботах [5, 6] науково обґрунтована перспективна технологія енергоефективного спалювання некондиційних видів рідкого вуглеводневого палива і виробничих відходів у струмені перегрітої водяної пари. Це забезпечує низький вміст монооксиду вуглецю, оксидів азоту і сажі в продуктах згоряння, що задовольняє найжорсткішим екологічним нормативам. Отримані експериментальні результати мають перспективи подальшого використання при створенні інноваційного екологічно безпечного теплоенергетичного устаткування.

Мета роботи – створення автономної когенераційної установки (АКУ), що забезпечує ефективне використання палива, суттєве зменшення показників вмісту токсичних продуктів згоряння і шкідливих викидів в атмосферу на базі роторного лопатевого двигуна із зовнішнім підведенням тепла.

Виклад основного матеріалу

Авторами розроблена модульна високоєфективна АКУ на базі роторно-лопатевого двигуна із зовнішнім підведенням тепла, блок-схема якої зображена на рис. 1.

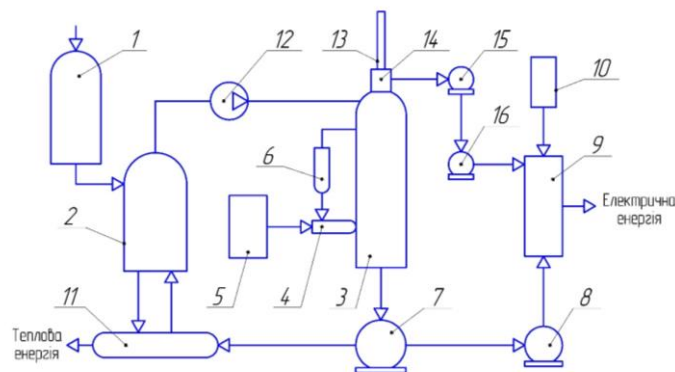


Рис. 1. Блок-схема автономної когенераційної установки:

- 1 – модуль водопідготовки; 2 – термоізольована місткість для води; 3 – термоізольований парогенератор; 4 – паливний пристрій; 5 – модуль підготовки і подачі палива; 6 – модуль подачі перегрітої водяної пари і гарячого повітря; 7 – термоізольований паровий роторно-лопатевий двигун; 8 – електричний генератор; 9 – модуль силового електрообладнання; 10 – блок керування; 11 – термоізольований пароводяний теплообмінник; 12 – насос; 13 – димохід; 14 – теплообмінник; 15 – двигун Стірлінга; 16 електричний генератор

АКУ працює наступним чином. Підготовку води, необхідної для роботи АКУ, здійснюють модулем водопідготовки 1, наприклад, за допомогою технології зворотного осмосу (технологія очищення води, при якій рідина проходить через спеціальну мембрану, позбавляючись від хімічних домішок і бактерій). Підготовлену воду подають в термоізольовану місткість для води 2 і насосом 12 під тиском у внутрішню порожнину парогенератора 3 у відповідності до алгоритму роботи блока керування 10. Термоізольований парогенератор 3, виконаний у вигляді об'ємної порожнини, температура стінок якої підтримується високотемпературним факелом, сформованим спеціальним паливним пристроєм 4, здатним використовувати різні види палива, яке проходить в модулі 5 підготовку і подачу в паливник. Модуль 6 забезпечує подачу гарячого повітря і перегрітої водяної пари в паливний пристрій 4. Пар, отриманий в парогенераторі 3, під тиском через термоізольований паропровід подається до парового роторно-лопатевого двигуна 7, який забезпечує вироблення електричного струму генератором 8. Електрична енергія, через модуль силового електрообладнання 9 у відповідності до алгоритму роботи блока керування 10, подається споживачам. Пар, який пройшов через паровий роторно-лопатевий двигун 7, паропроводом подається в термоізольований пароводяний теплообмінник 11, який термоізольованими трубопроводами під'єднаний до

термоізоляційної місткості для води 2. У відповідності до алгоритму роботи блока керування 10, тепла енергія з термоізоляційного пароводяного теплообмінника 11 подається споживачам. В димоході 13 парогенератора 3 розміщується конденсаційний модуль 14, який використовує температуру димових газів для отримання додаткової теплової і/або електричної енергії. Для виконання таких функцій він може оснащуватися термоелектричним генератором і/або тепловою машиною, наприклад двигуном Стірлінга 15, генератором електричного струму 16, який має канали зв'язку з модулем силового електрообладнання 9.

Збільшення ККД енергетичної установки досягається термоізоляцією парогенератора, робочих частин парового роторно-лопатевого двигуна, пароводяного теплообмінника, місткості з водою, паро- і трубопроводів, а розширення функціональних можливостей досягається оснащенням її модулем дистанційного і GSM – керування. Це дозволяє контролювати роботу установки за допомогою смартфона або іншого мобільного пристрою.

Для підвищення ККД і зниження екологічного навантаження на навколишнє середовище в енергетичній установці використовується інноваційна технологія енергоефективного спалювання вуглеводнів (твердих, рідких, газоподібних) у струмені перегрітої водяної пари. Це забезпечує парову газифікацію продуктів термічного розкладання і неповного згоряння палива з утворенням водяного газу [5, 6].

Водяний газ – газова суміш, склад якої в середньому відсотковому відношенні становить: CO – 44%, N₂ – 6%, CO₂ – 5%, H₂ – 45%. Водяний газ прекрасно горить, що суттєво підвищує температуру горіння різних видів палива (твердого, рідкого, газоподібного) – кам'яного вугілля, коксу, мазуту, метану і т.д.

Відомо, що вуглець, що міститься в розпечених частинках сажі при температурі 1000–1200° С забирає атомарний кисень у води за формулою: H₂O + C = CO + H₂.

Таким чином, зона горіння палива, що містить вуглець, який виробляє велику кількість частинок сажі, насичується киснем, віднятим у води і перетворюються в окис вуглецю CO. Крім того, звільняється молекулярний водень, маса якого становить до 6% від маси води, що розклалася. Теплота згоряння водню в три рази перевищує теплоту згоряння вихідного палива, а наявність в зоні горіння парів води прискорює горіння окису вуглецю. Монооксид вуглецю (чадний газ), що утворився в топці займається при температурі в 700° С і горить з температурою, що досягає 2100° С.

Всі перераховані вище фактори дозволяють спалювати різні види палива (твердого, рідкого, газоподібного) з дуже гарною якістю, що підтверджується експериментами. А головне, при горінні не утворюється сажа та інші шкідливі викиди – всі тверді вуглеводневі частинки газифікуються з утворенням чадного газу і водню. Ті в свою чергу, згораючи, утворюють нешкідливі воду і вуглекислий газ. В результаті викиди при спалюванні з використанням перегрітої пари не тільки відповідають діючим екологічним нормативам, а й мають в рази нижчі у порівнянні з гранично допустимими концентраціями значення: за змістом чадного газу в 10 раз, а оксидів азоту – в 6 разів! При цьому недопалювання складає менше 0,1 відсотка, що означає практично повну відсутність сажі.

Для теплоенергетики особливе значення мають завдання, пов'язані з підвищенням ефективності використання енергоресурсів. В даний час актуальним завданням є утилізація накопичених на промислових підприємствах величезної кількості рідких вуглеводневих відходів: відпрацьованих моторних і трансмісійних мастил, мастильних рідин, нафтових шламів, відходів нафтовидобутку і нафтопереробки. Використання подібних енергоносіїв в даних паливних пристроях дозволяє вирішувати низку актуальних завдань, таких як:

підвищення ефективності спалювання; підвищення економічної ефективності (доступність палива); утилізація небезпечних відходів виробництва; зниження вмісту токсичних продуктів згоряння.

Парогенератор виробляє пар, він розкручує роторно-лопатево-двигун, який, в свою чергу, крутить електричний генератор. Електрична енергія через силову електрообладнання подається споживачам.

Пар, що пройшов через паровий роторно-лопатево-двигун подається у пароводяний теплообмінник і охолоджується. При цьому отримується гаряча вода для опалення, або вона відправляється в бак проміжного накопичувача, з якого виходить чиста гаряча вода, що подається в крани споживачів. Також з цього бака насосом подають гарячу воду в парогенератор, де вона знову перетворюється в пар. Це дозволяє забезпечити замкнутий цикл робочого тіла і підвищити ККД когенераційної установки.

Оснащення димоходу парогенератора АКУ конденсаційним модулем з ТЕГ і/або тепловим двигуном, наприклад, двигуном Стірлінга та зв'язаного з ним генератора електричного струму дозволяє досягти технічного результату, який полягає у перетворенні теплової енергії димових газів на електричну, яку зручно використовувати для забезпечення власних потреб установки.

Температура викидних газів, в залежності від парогенератора і палива, коливається в межах 150–300°С, а температура повітря навколишнього середовища в котельні 18–22°С. Така різниця температур гарантує надійну роботу ТЕГ і/або двигуна Стірлінга, не порушуючи при цьому теплового балансу системи, для збереження тяги.

Розроблені і виготовлені зразки оригінальних пристроїв, в яких реалізований автономний самопідтримуючий режим подачі перегрітої водяної пари і гарячого повітря у зону горіння продуктів термічного розкладання вуглеводневого палива з високим вмістом сажі. Проведено їх випробування.

На дослідних зразках пристроїв отримані наступні результати: стійке горіння різних вуглеводнів (твердих, рідких, газоподібних); висока температура горіння палива (1200–1500° С) і низькі показники

шкідливих викидів; підвищення енергії горіння при спалюванні вуглеводнів за рахунок згорання водяного газу, що дозволяє знизити витрати на енергоносії від 10 до 30%.

АКУ на базі роторно-лопатевого двигуна із зовнішнім підведенням тепла можуть комплектуватися із окремих модулів, які випускаються серійно. Їх істотною перевагою є:

- 1) енергозбереження, яке досягається за рахунок когенерації;
- 2) використання широкого спектру первинних енергоносіїв (будь-які газоподібні, рідкі та тверді палива);
- 3) екологічність, яка полягає в значно менших рівнях шуму, вібрації і шкідливих викидів (установка може бути встановлена в житловій зоні);
- 4) простота в обслуговуванні, малі габарити, великий моторесурс роторно-лопатевого двигуна із зовнішнім підведенням тепла;
- 5) легкість монтажу та запуск в роботу без великих фінансових і трудових витрат на проектні, монтажні та будівельні роботи

АКУ здатна кардинально знизити капітальні витрати на електропостачання і опалення для стаціонарних і пересувних об'єктів. На відміну від сонячних і вітрових електростанцій, в когенераційних установках вироблення електричної і теплової енергії відбувається постійно у цілодобовому режимі. АКУ може також використовуватися для енергоефективного та екологічно безпечного спалювання (утилізації) некондиційних вуглеводневих палив і горючих виробничих відходів. Вона окупає себе вже через 1-2 роки постійної експлуатації.

Висновок

Розглянуті питання впровадження ефективних і екологічно чистих енергосистем на основі технології когенерації. Розроблена АКУ на базі роторно-лопатевого двигуна із зовнішнім підведенням тепла з використанням інноваційної технології енергоефективного спалювання вуглеводнів (твердих, рідких, газоподібних) у струмені перегрітої водяної пари, що забезпечує суттєве зменшення показників вмісту токсичних продуктів згорання, шкідливих викидів в атмосферу. Вона може використовуватися для вирішення задач автономного електро- і теплопостачання промислових та житлових об'єктів, а також для енергоефективного та екологічно безпечного спалювання (утилізації) некондиційних вуглеводневих палив і горючих виробничих відходів. Роботу планується продовжити у напрямку оптимізаційного синтезу окремих модулів установки за різними критеріями, що важливо для її практичного використання.

Література

1. Андрущенко А.И. Теплофикационные установки и их использование / А.И. Андрущенко, Р.З. Аминов, Ю.М. Хлебалин. – М. : Высшая, школа, 1989. – 256 с.
2. Бузников Е.Ф. Пароводогрейные котлы для электростанций и котельных / Е. Ф. Бузников, А.А. Верес, В. Б. Грибов ; под общ. ред. Е. Ф. Бузникова. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 208 с.
3. Лобунец Ю. М. Про перспективи застосування термоелектрики в енергетиці / Ю. М. Лобунец // Термоелектрика. – 2014. – № 4. – С. 65–69.
4. Пат. RU 191262, МПК F02G 1/043, F02G 1/045. Установка когенерационная на базе двигателя внешнего сгорания / Наумов А. Ю., Коба В.Ю. ; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью проектно-монтажное предприятие "ЭНЕРГОПРОМ-СЕРВИС". – № 2019112529 ; заявл. 24.04.2019 ; опубл. 31.07.2019, Бюл. № 22.
5. Ануфриев И. С. Исследование процессов горения жидких углеводородов при распылении струей перегретого водяного пара / И. С. Ануфриев // Тепловые процессы в технике. – 2019. – Т. 11, № 4. – С. 146–156.
6. Ануфриев И. С. Горение жидких углеводородов в струе перегретого водяного пара / И.С. Ануфриев // Новое в российской электроэнергетике. – 2019. – № 4. – С. 13–24.

References

1. Andryushenko A.I. Teplofikatsionnye ustanovki i ih ispolzovanie / A.I. Andryushenko, R.Z. Aminov, Yu.M. Hlebalin. – M. : Vysshaya, shkola, 1989. – 256 s.
2. Buznikov E.F. Parovodogreynye kotly dlya elektrostancij i kotelnyh / E. F. Buznikov, A.A. Veres, V. B. Gribov ; pod obsh. red. E. F. Buznikova. – M. : Energoatomizdat, 1989. – 208 s.
3. Lobunec Yu. M. Pro perspektivi zastosuvannya termoelektрики v energetici / Yu. M. Lobunec // Termoelektрика. – 2014. – № 4. – S. 65–69.
4. Pat. RU 191262, MPK F02G 1/043, F02G 1/045. Ustanovka kogeneracionnaya na baze dvigatelya vneshnego sgoraniya / Naumov A. Yu., Koba V.Yu. ; zayavitel i patentoobladatel Obshchestvo s ogranichennoy otvetstvennostyu proektno-montazhnoe predpriyatie "ENERGOPROM-SERVIS". – № 2019112529 ; zayavl. 24.04.2019 ; opubl. 31.07.2019, Byul. № 22.
5. Anufriev I. S. Issledovanie processov gorennya zhidkih uglevododorodov pri raspylenii struej peregretogo vodyanogo para / I. S. Anufriev // Teplovyye processy v tehnikе. – 2019. – T. 11, № 4. – S. 146–156.
6. Anufriev I. S. Gorenne zhidkih uglevododorodov v strue peregretogo vodyanogo para / I. S. Anufriev // Novoe v rossijskoj elektroenergetike. – 2019. – № 4. – S. 13–24.

Рецензія/Peer review : 6.5.2020 р. Надрукована/Printed : 16.6.2020 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Гордєєв А.І.

С. Л. ГОРЯЩЕНКО, К. Л. ГОРЯЩЕНКО, Г. М. ДРАПАК

Хмельницький національний університет

РОЗРОБКА ДІАГНОСТИЧНОГО ПРИСТРОЮ З ВИКОРИСТАННЯМ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ

В статті розглядається питання діагностики обладнання, а саме якості роботи підшипників, валів та інших тіл обертання. Розроблено схему генератора сигналів складної форми. Механічні коливання, що генеруються вузлами механізмів розповсюджуються по елементах машин і можуть бути зареєстровані на їх поверхні. Для цього використовуються п'єзоелектричні датчики. П'єзодатчики мають високу точність вимірювання і чутливість, володіють високою стійкістю і в той же час мають мініатюрні габарити і масу.

У програмі MatLab реалізовані різні цифрові фільтри для виділення з сигналів інформативних частотних смуг, функція побудови спектрограми, Вейвлет-перетворення, побудова спектрів сигналу, виділення огинаючої сигналу, побудова спектру огинаючої, визначення СКЗ сигналу, піків і ін. Програма використана для обробки віброакустичного сигналу який був зміряний за допомогою датчика вібрації і оцифрований за допомогою АЦП та має відкритий код і може бути оперативно дорацьована під конкретні потреби дослідника.

З метою дослідження вібрації підшипників кочення різних типів, валів, а також тіл обертання проведено визначення методів і засобів вібродіагностики різних дефектів, та в лабораторії кафедри створено діагностичний стенд.

Ключові слова: діагностика, спектральний аналіз, пристрій

S. HORIASHCHENKO, K. HORIASHCHENKO, G. DRAPAK

Khmelnitskyi National University

DEVELOPMENT OF THE DIAGNOSTIC DEVICE USING SPECTRAL ANALYSIS

Traditional methods of analysis of physically realized signals, images and time series generated by complex (polymodal) time systems are mainly based on statistical methods, often on special correlation methods in their various variants. Prior to that, due to the statistical approach to the analysis of signals of the dynamic nature of the processes that generate them, as a rule, follows a different plan. And only a dynamic approach to the analysis of complex system characteristics for modern nonlinear dynamics allows us to consider the analysis of signals as a process of identification of dynamic systems as a result of analysis of experimental data.

The article considers the issue of equipment diagnostics, namely the quality of bearings, shafts and other bodies of rotation. The scheme of the generator of signals of the difficult form is developed. Mechanical oscillations generated by the nodes of the mechanisms propagate through the elements of the machines and can be registered on their surface. Piezoelectric sensors are used for this purpose. Piezo sensors have high measurement accuracy and sensitivity, have high stability and at the same time have miniature dimensions and weight.

MatLab implements various digital filters for extracting informative frequency bands from signals, spectrogram construction function, Wavelet transform, signal spectrum construction, envelope signal selection, envelope spectrum construction, SCR signal definition, peaks, etc. The program is used to process a vibroacoustic signal that has been measured using a vibration sensor and digitized using an ADC and is open source and can be quickly modified to meet the specific needs of the researcher.

In order to study the vibration of rolling bearings of different types, shafts, and bodies of rotation, methods and means of vibrodiagnostics of various defects were determined, and a diagnostic stand was created in the laboratory of the department.

Key words: diagnostics, spectral analysis, device

Вступ

Традиційні методи аналізу фізично реалізованих сигналів, образів і часових рядів, що породжуються складними (полімодальними) динамічними системами, в основному базуються на статистичних методах, найчастіше на спектрально-кореляційних методах в різних їх варіантах [1,2,3,4]. При цьому, внаслідок статистичного підходу до аналізу сигналів динамічна суть процесів що їх породжують, як правило, йде на другий план. І лише динамічний підхід до аналізу складних систем характерний для сучасної нелінійної динаміки дозволяє розглядати аналіз сигналів як процес ідентифікації динамічних систем за наслідками аналізу експериментальних даних [5,6].

Якщо діагностику стану підшипника кочення проводити по амплітудних параметрах часових вібросигналів, то основну увагу слід приділити двом. Це, по-перше, кількісне значення загального рівня фону вібрації і, по-друге, це співвідношення між рівнями фону вібрації і амплітудами пікових значень в часовому вібросигналі.

Сигнал, отриманий після акселерометра (вібродатчика), може бути легко і з великою точністю перетворений в сигнал віброшвидкості за допомогою інтеграції. Ця процедура здійснюється перед проведенням частотного аналізу для того, щоб отримати спектр віброшвидкості. В результаті інтеграції знижується рівень вищих частотних складових в два рази при кожному подвоєнні частоти (6 дБ на октаву). Тому інформація, що міститься в сигналі віброприскорення, візуально наочніше, ніж в сигналі віброшвидкості, якраз унаслідок підкреслення високочастотних складових.

Переміщення осі валу, що обертається в підшипнику, в даному випадку досліджень розуміється під траєкторією. Її графік аналогічний представленню сигналу на осцилографі в координатах X-Y, де X і Y -

відповідно переміщення в горизонтальному і вертикальному напрямках.

Для аналізу траєкторій використовується параметр вібропереміщення, а не віброприскорення. При цьому значення має тільки складова на частоті обертання, яка дає найбільш ясну картину про обертання валу. Для отримання графіка траєкторії руху валу зазвичай використовуються не акселерометри, а безконтактні датчики, які знімають сигнал пропорційний зміні зазору між поверхнею валу і корпусом підшипника і дозволяють безпосередньо вимірювати величину переміщення.

Аналіз в частотній області, або спектр, прекрасний інструмент для виявлення періодичності в сигналі. Великою її перевагою є те, що на одному графіку відображаються амплітуди коливань, що сильно розрізняються за значенням. Діапазон амплітуд, що відрізняються в 10000 разів (80 дБ) не є рідкістю для сучасних аналізаторів спектру.

Основна частина

Для розрахунку характерних частот необхідно знати число елементів кочення, їх діаметр, діаметр сепаратора і кут контакту. Якщо ці параметри відомі, можна визначити всі характерні частоти, що генеруються кожним окремим елементом підшипника. Крім того, в спектрі можлива поява відразу декількох частотних складових, характерних для даного конкретного підшипника.

Структура генератора сигналів складної форми представлена на рис. 1.



Рис. 1. Структурна схема генератора сигналів складної форми

Функціонально до складу генератора сигналів складної форми входять:

- БФЦС – блок формування цифрового сигналу, який дозволяє встановлювати вихідні параметри сигналу - частоту, період, який в цифровому вигляді формується числом виборок;
- АЛП – арифметико-логічний пристрій – забезпечує складну форму цифрового сигналу завдяки взаємодії двох чи більше сигналів (за необхідності);
- ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач – необхідний для отримання аналогового сигналу із заданим рівнем шумів квантування;
- ВихП – вихідний пристрій, що забезпечує регулювання рівня вихідного сигналу та його адаптацію до електромагнітного пристрою (ЕМП) навантаження в електромеханічному блоці.

Блок обробки, відповідно до вимог обробки отримання і обробки вібраційної інформації повинен мати наступні функціональні складові, представлені на рис. 2.

Механічні коливання, що генеруються вузлами механізмів розповсюджуються по елементах машин і можуть бути зареєстровані на їх поверхні. Для цього використовуються різні датчики (ємкісні, індукційні, резистивні, електромагнітні) [3]. Але останнім часом найбільшого поширення набули *п'єзоелектричні* датчики. Це пов'язано з тим, що п'єзодатчики мають високу точність вимірювання і чутливість, володіють високою стійкістю і в той же час мають мініатюрні габарити і масу.

Сигнал п'єзоелектричного датчика - *акселерометра* (Д) у вигляді електричного заряду, пропорційного віброприскоренню вхідного сигналу, поступає на вхід *підсилювача заряду* (П1), який здійснює перетворення заряду в пропорційну величину напруги. У загальному випадку П1 є операційним підсилювачем, охопленим ємкісним зворотним зв'язком. Коефіцієнт підсилення П1 автоматично регулюється *мікроконтролером* (МК) так, щоб забезпечити необхідний динамічний діапазон, не допускаючи при цьому перевантаження по вхідному каналу.

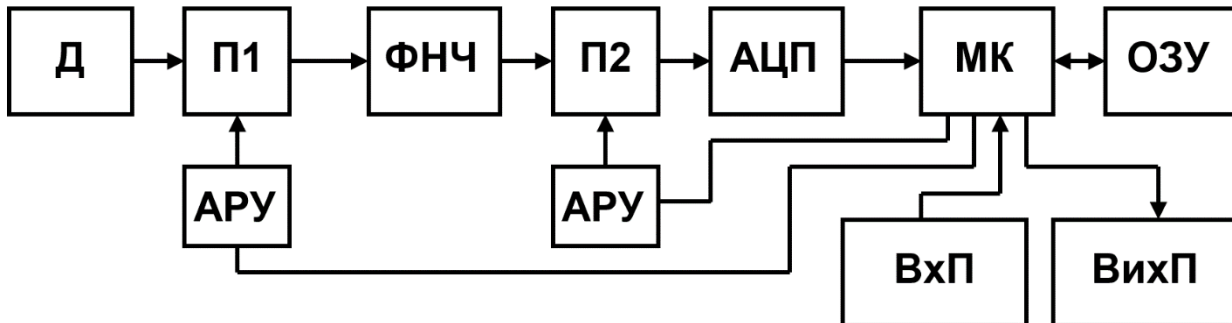
Неповне використання динамічного діапазону приводить до збільшення впливу завад вимірювального каналу на результати і неминуче збільшення погрішності при подальшому перетворенні сигналу в цифрову форму. Перевищення сигналом динамічного діапазону приводить до спотворення форми сигналу і втрат інформації. По суті, за допомогою коефіцієнта підсилення вхідний сигнал нормується так, щоб займати весь динамічний діапазон вимірювального каналу і при цьому зберігати початкову форму сигналу. Змінений таким чином, вихідний сигнал поступає на *фільтр нижніх частот* (ФНЧ), де фільтрується з метою придушення складових, лежачих вище за необхідний діапазон частот. Цей діапазон визначається, перш за все, інформативною складовою сигналу, яка представляє інтерес для подальшого аналізу. Коефіцієнт посилення даного фільтру зазвичай прагнуть привести до 1-ці. Вибір і розрахунок ФНЧ здійснюється виходячи з поставлених вимог до параметрів фільтрації, точності фільтру, коефіцієнта підсилення і ін.

Ослаблений після ФНЧ сигнал поступає на підсилювач (П2), який використовується для посилення сигналу до повного завантаження динамічного діапазону каналу і зменшення помилки щодо квантування по рівню в АЦП. Коефіцієнт посилення підсилювача встановлюється програмно за допомогою МК. Контроль виходу сигналу П2 за задані межі також контролюється МК, аналогічно П1.

З виходу підсилювача сигнал поступає на *аналогово-цифровий перетворювач* (АЦП), який видає двійковий код (результат перетворення). Згідно *теорему Котельникова* частота дискретизації сигналу має бути в 2 рази вище за частоту самого сигналу. Тому, при виборі АЦП необхідно враховувати його

швидкодію. Розрядність коди АЦП відповідає повному діапазону аналогового сигналу і визначає роздільну здатність коди. АЦП принципово властива методична погрішність, обумовлена заміною безперервного аналогового сигналу дискретним сигналом.

Вхідний пристрій (ВхП) включає в себе клавіатуру і дисплей. Клавіатура дає можливість управляти ходом аналізу і отримання початкових даних, а дисплей дозволяє користувачеві отримувати повідомлення про параметри записаного віброаналізу і іншу інформацію. В якості вихідного пристрою (ВихП) зазвичай використовують дисплей і принтер.



Д – датчик; П1, П2 – підсилювачі зі змінним коефіцієнтом підсилення; ФНЧ - фільтр нижніх частот; АЦП – аналого-цифровий перетворювач; МК - мікроконтролер; ОЗУ - оперативна пам'ять; ВхП – вхідний пристрій; ВихП – вихідний пристрій

Рис. 2. Структурна схема блоку обробки вібродіагностичної інформації

Система MatLab є одним з наймогутніших математичних пакетів для вирішення різних прикладних завдань (рис.3). Ця система є світовим стандартом в області наукових і технічних розрахунків. MatLab має безліч пакетів розширення, що дозволяє адаптувати систему до вирішення різних класів математичних і технічних завдань. Математична система Matlab включає пакети обробки сигналів "Signal Processing" і пакет проектування різних цифрових фільтрів "Filter Design" (рис.4).

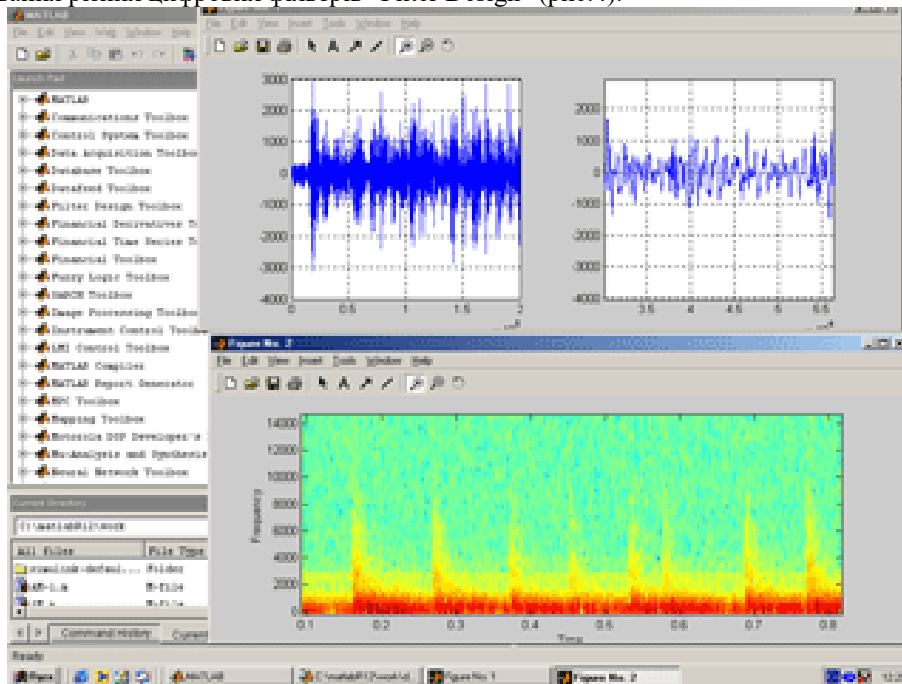


Рис. 3 Приклад обробки сигналу в системі MatLab

У нашому випадку, система MatLab використана для обробки віброакустичного сигналу який був зміряний за допомогою датчика вібрації і оцифрований за допомогою АЦП.

У програмі реалізовані різні цифрові фільтри для виділення з сигналів інформативних частотних смуг, функція побудови спектрограми, Вейвлет-перетворення (рис.3), побудова спектрів сигналу, виділення огинаючої сигналу, побудова спектру огинаючої, визначення СКЗ сигналу, піків і ін. Програма має відкритий код і може бути оперативно дорацьована під конкретні потреби дослідника.

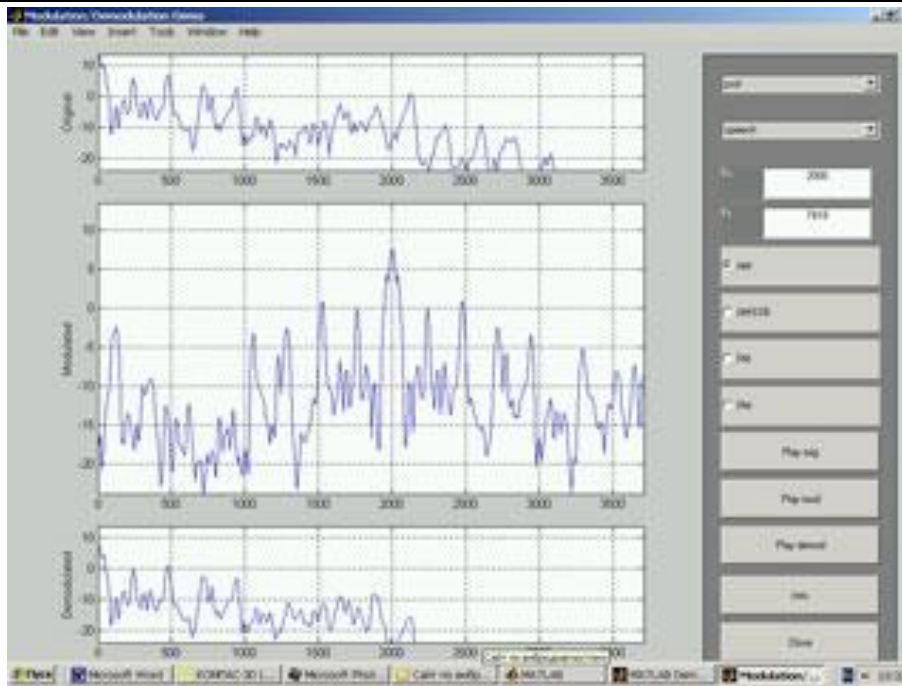


Рис. 4 Програмний модуль для проектування цифрових фільтрів

З метою дослідження вібрації підшипників кочення різних типів, валів, а також тіл обертання проведено визначення методів і засобів вібродіагностики різних дефектів, та в лабораторії кафедри створено діагностичний стенд підшипників кочення. Загальний вид стенду представлений на рис.5.

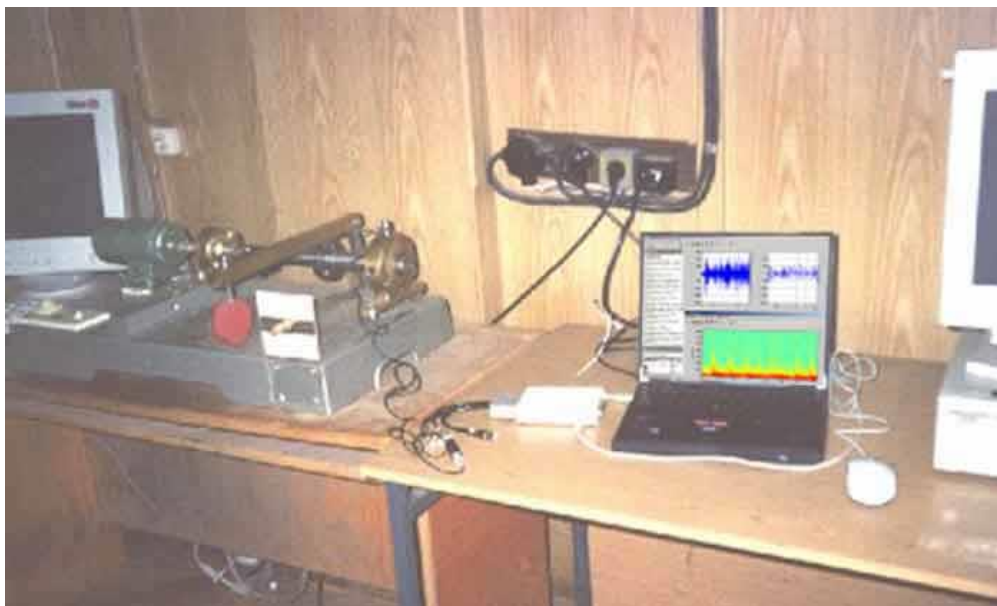


Рис. 5 Загальний вид діагностичного стенду

Стенд дозволяє досліджувати вібраційні параметри підшипникових вузлів при різних дефектах підшипників (знос, викришування і ін.), дозволяє моделювати навантаження на підшипник і частоту обертання валу, а також дефекти монтажу підшипникового вузла. Вібрація перетворюється датчиком вібрації в електричний сигнал, оцифровується за допомогою аналого-цифрового перетворювача звукової карти і обробляється на ПК в середовищі Matlab, за допомогою розробленої автором програми. Програма дозволяє здійснювати фільтрацію вібросигналу, перетворення Фур'є, виділення огибаючої, визначати значення пікфактору сигналу, проводити статистичну обробку сигналу та ін.

Двоканальний багатотоновий генератор синусоїдальних і шумових сигналів звукових і інфра звукових частот призначений для налаштування і вимірювання параметрів електронно-акустичної апаратури, а також для моделювання складних коливальних процесів. Генератор складається з цифроаналогових перетворювачів (ЦАП) і програми, що управляє. Як перетворювачі використовуються двоканальні 16-, 24- або 32-бітові ЦАП стандартної звукової системи комп'ютера з допустимою частотою дискретизації (F_s) до 400 кГц.

Якість (коефіцієнт нелінійних і інтермодуляційних спотворень, точність, стабільність і діапазон частот) вихідного сигналу обмежена тільки типом використовуваного ЦАП. Синтез всіх сигналів здійснюється в реальному часі. Генератор може працювати в наступних режимах:

- генерація двох незалежних безперервних синусоїдальних сигналів з регульованим зсувом фаз між каналами;

- генерація синусоїдальних сигналів частоти, що коливається, в двох незалежних каналах з регульованою швидкістю гойдання в лінійному або логарифмічному масштабі часу;

- генерація шумів: білого (з рівномірним, трикутним або нормальним розподілом по амплітуді), рожевого ($1/f$), броунівського ($1/f^2$) в двох некорельованих каналах;

- генерація коливань пилоподібною (прямою і перевернутою), а також трикутної форми;

- генерація коливань прямокутної форми в одному або в обох каналах;

- амплітудна модуляція одного каналу іншим з регульованою глибиною;

- цифрове підсумовування двох каналів;

Три останні режими можуть бути використані одночасно з будь-яким з вище перелічених.

Додаткові можливості генератора: міжканальна синхронізація регулювання частоти; міжканальна синхронізація регулювання амплітуди; оперативне виключення і включення сигналу в одному або обох каналах без зупинки генерації; автоматична, з фіксованим кроком, зміна амплітуди або фази в межах всього діапазону регулювання (для вимірювання амплітудних або фазових залежностей).

Сигнал з акселерометра поступає в АЦП, де здійснюється часова дискретизація і квантування по рівню. Вихідним сигналом з АЦП є послідовність чисел, що поступає в цифровий процесор ПК, що виконує необхідну обробку. У цифровій формі можна створити фільтри, аналізатори спектру, нелінійне перетворення сигналу і багато що інше.

Використовуваний в дослідженнях датчик вібрації дозволяє вимірювати коливання 14 кГц. Оскільки частота Найквіста при дискретизації має бути в два або більше разів вище аналізованої частоти, в дослідженнях використана частота дискретизації – $F_s = 30$ кГц. Для видалення низькочастотних і високочастотних перешкод використовувалися ФВЧ і ФНЧ Баттерворта. Для видалення електромагнітних перешкод на частоті 50 Гц був застосований режекторний нерекурсивний фільтр 8 000 - го порядку з використанням вікна Хеммінга. Для виділення інформативних частотних смуг використаний смуговий фільтр Баттерворта. Вибір типу і порядку фільтру здійснений згідно рекомендаціям [12].

Висновки.

Розроблений пристрій для діагностування вузлів обладнання на основі спектрального аналізу дозволяє здійснити перехід в експлуатації обладнання із системи планово-попереджувальних ремонтів до ремонтів по фактичному стану, прогнозувати при цьому час та причини виходу з ладу підшипників кочення, які є одним з основних вузлів обладнання легкої промисловості, а також мати можливість застосування справних підшипників для ремонту, що в сукупності передбачає підвищення ефективності роботи підприємства на 18-20 %. Розроблений алгоритм та програмне забезпечення пристрою за результатами діагностування встановлює дійсний стан підшипника та подає інформацію в зручному вигляді, що являється основою для подальшого використання. При цьому встановлено значення діагностичних ознак для кожного дефекту та для різних класів технічного стану (від працездатного до аварійного).

Література

1. Барков А. В. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации / А. В. Барков, Н. А. Баркова, А. Ю. Азовцев. – СПб: Изд. центр СПбГМТУ, 2000. – 213 с..
2. Кестер У. Аналого-цифровые преобразователи для задач цифровой обработки сигналов, в сборнике «Материалы семинара по обработке сигналов» [Электронный ресурс] / У. Кестер, Д. Брайэнт // Analog Devices, Москва. – 2002. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.analog.com.ru/Public/2.pdf>.
3. Гетьман А. Ф. Неразрушающий контроль и безопасность эксплуатации сосудов и трубопроводов давления / А. Ф. Гетьман, Ю. Н. Козин. – М.: Энергоатомиздат, 1997. – 288 с.
4. Барков А.В. Вибрационная диагностика машин и оборудования. Анализ вибрации/ Барков А.В., Баркова Н.А. СПб.: СПбГМТУ, 2004. — 156 с.
5. Ширман А. Р. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования/ Ширман А. Р., Соловьев А. Б., — М, Библиогр.1996. — 276 с.
6. Клюев В. В. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. -М. : Машиностроение.- 1986.-488 с.
7. Горященко К.Л. Практична реалізація опорного генератора для фазових вимірювань/ К.Л. Горященко, С.Л. Горященко – Вісник ХНУ, 2016, т.4. с. 174-176
8. Vytautas Ostasevicius, Vytautas Jurenas, Rimvydas Gaidys, Ievgeniia Golinka/ Vibroacoustic handling and levitation of microparticles in air/ JVE International Ltd. Vibroengineering PROCEDIA. Dec 2017, Vol. 15. ISSN 2345-0533 h/100-105
9. Serhiy Horyashchenko, Ievgeniia Golinka. Simulation of particle flow of the polymer droplets using ultrasonic spraying / 22th International Scientific Conference: Mechanika 2017 – Proceedings. Kaunas. P.134-137.
6. С.Л. Горященко Моделирование краплін при розпиленні двофазного потоку соплом. Вісник ХНУ, т.3, 2016, с 282-285

10 Methodology of Measuring Spraying the Droplet Flow of Polymers from Nozzle Serhiy Horiashchenko, Kostyantyn Horiashchenko, Janusz Musial /МЕХАНІКА, 2020 Vol 26 No 1 (2020) ISSN: 1392-1207 p.82-86 <http://mechanika.ktu.lt/index.php/Mech/article/view/23169>

11. Патент №111253 Україна, МПК (2016.01) G01R 25/00. Спосіб вимірювання фазового зсуву між періодичними сигналами довільної тривалості. Горященко К. Л., Горященко С. Л., Гула І. В., Троцишин І. В. Публікація відомостей про видачу патенту: 10.11.2016, Бюл.№ 21.

References

1. Barkov A. V. Mony`toryng y` dy`agnosty`ka rotorny`x mashyn po vy`bracy`y` / A. V. Barkov, N. .. Barkova, A. Yu. Azovcev. – SPb: Y`zd. centr SPbGMTU, 2000. – 213 s..
2. Kester U. Analogo-cy`frovye preobrazovately` dlya zadach cy`frovoy obrabotky` sy`gnalov, v sborny`ke «Matery`aly semy`nara po obrabotke sy`gnalov» [Elektronny`j resurs] / U. Kester, D. Brajnt // Analog Devices, Moskva. – 2002. – Rezhym dostupu do resursu: <http://www.analog.com.ru/Public/2.pdf>.
3. Get`man A. F. Nerazrushayushhy`j kontrol` y` bezopasnost` ekspluatacy`y` sudov y` truboprovodov davleny`ya / A. F. Get`man, Yu. N. Kozy`n. – M.: Energoatomy`zdat., 1997. – 288 s.
4. Barkov A.V. Vy`bracy`onnaya dy`agnosty`ka mashyn y` oborudovany`ya. Analiz vy`bracy`y`/ Barkov A.V., Barkova N.A. SPb.: SPbGMTU, 2004. — 156 s.
5. Shy`rman A. R. Prakty`cheskaya vy`brody`agnosty`ka y` mony`toryng sostoyany`ya mexany`cheskogo oborudovany`ya/ Shy`rman A. R., Solov`ev A. B., — M, By`bly`ogr.1996. — 276 s.
6. Klyuev V. V. Pribory dlya nerazrushayushhego kontrolya matery`alov y` y`zdely`j. -M. : Mashynostroeny`e.- 1986.-488 s.
7. Goryashhenko K.L. Prakty`chna realizaciya opornogo generatora dlya fazovy`x vy`miryuvan`/ K.L. Goryashhenko, S.L. Goryashhenko – Visny`k XNU, 2016, t.4. s. 174-176
8. Vytautas Ostasevicius, Vytautas Jurenas, Rimvydas Gaidys, Ievgeniia Golinka/ Vibroacoustic handling and levitation of microparticles in air/ JVE International Ltd. Vibroengineering PROCEDIA. Dec 2017, Vol. 15. ISSN 2345-0533 h/100-105
9. Serhiy Horyashchenko, Ievgeniia Golinka. Simulation of particle flow of the polymer droplets using ultrasonic spraying / 22th International Scientific Conference: Mechanika 2017 – Proceedings. Kaunas. P.134-137.
6. S.L. Goryashhenko Modelyuvannya kraply`n pry`rozpy`lenni dvofaznogo potoku soplom. Visny`k XNU, t.3, 2016, s 282-285
- 10 Methodology of Measuring Spraying the Droplet Flow of Polymers from Nozzle Serhiy Horiashchenko, Kostyantyn Horiashchenko, Janusz Musial /МЕХАНІКА, 2020 Vol 26 No 1 (2020) ISSN: 1392-1207 p.82-86 <http://mechanika.ktu.lt/index.php/Mech/article/view/23169>
11. Patent #111253 Ukraina, МПК (2016.01) G01R 25/00. Sposib vy`miryuvannya fazovogo zsuvu mizh periody`chny`my` sy`gnalamy` dovil`noyi try`valosti. Goryashhenko K. L., Goryashhenko S. L., Gula I. V., Trocy`shy`n I. V. Publikaciya vidomостей pro vy`dachu patentu: 10.11.2016, Byul.# 21.

Рецензія/Peer review : 05.03.2020 р.

Надрукована/Printed : 27.6.2020 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

МЕТОД ТА ЗАСОБИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ БОТ-МЕРЕЖ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬ ТЕХНОЛОГІЮ «ДИНАМІЧНА ПЕРЕАДРЕСАЦІЯ IP-АДРЕС»

В роботі представлено метод, що використовує технологію динамічної "переадресації IP-адресів". Даний метод зосереджений на виявленні бот-мережі, за допомогою сканування DNS трафіку та отримання його ознак. За допомогою алгоритму машинного навчання SVDD виконується виявлення аномалій у задану ознаках та співставлення їх з відповідними умовами, які свідчать про наявність інфікованого ботнету у даному DNS трафіку. Цей метод дає змогу виявляти шкідливі бот-мережі із високою ефективністю та швидкістю. Цей метод може стати основою для програмного забезпечення виявлення бот-мереж, які використовують технологію "динамічна переадресація IP-адрес".

Ключові слова: бот-мережа, DNS, SVDD, машинне навчання.

S. LYSENKO, Y. BURDASH
Khmelnitskyi National University

METHOD AND SOFTWARE OF FAST-FLUX BOTNET DETECTION

Fast flux is a method that a criminal can use to prevent the identification of the IP address of his or her own computer. The main idea of this paper is to create a method for fast-flux botnet detection based on the SVDD (support vector data description) machine learning and anomalies detection algorithm that achieves better performance and efficiency. Using this method gives an opportunity to easily detect malware in botnets and notify the user about that. It makes possible to save and protect user's private data. We focus on detection fast-flux botnets based on the scanning Domain name system (DNS). The method has a unique structure and can be extended with new parameters in the future. The method collects all received data and extracts only useful parameters from each DNS message and transforms this data into valid and understandable for the algorithm. In this article represented a method which uses anomalies detection approach. SVDD algorithm it is a powerful tool that allows us to identify malware botnet in the system in the earlier stages before they occur and infect the system. Using the SVDD algorithm can improve the detection of the botnets based on the fast-flux approach. To provide the most efficient machine learning algorithm it should be trained by the special data. In this case, the system provides the highest level of accuracy and low level of the fault. This algorithm can detect the anomalies that were unknown in the training step, it can increase number of the botnets if the future. The proposed methods and algorithm was tested on the implemented locally system and showed a good result of detection fast-flux botnet. The level of accuracy showed 97.8%.

Keywords: fast-flux, malware, SVDD, DNS, machine learning, anomalies detection.

Вступ

Сучасні технології розвиваються швидкими темпами, разом із тим швидко розвиваються засоби атак на приватні дані користувачів. Зловмисники знаходять слабкі місця у систем та використовують ці місця для того, щоб отримати приватні дані звичайних користувачів без їх згоди або зашкодити власникам даних мати до них доступ, що є прямим порушенням закону про захист даних.

Зі стрімким розвитком інтернету також зросла і кількість вірусів та їх методів поширення. Одним із таких методів є поширення вірусів за допомогою ботнету [1]. Ботнет використовують для крадіжки даних користувача, таких як номери та паролі кредитних карт, паролі та іншої протиправної діяльності – розсилання спаму, запуску іншого шкідливого програмного забезпечення. Бот встановлюється на комп'ютері користувача без його відому і являє собою зачасти приховану програму. Для поширення ботнетів найбільш дієвим методом є інтернет або мережа комп'ютерів. Вони використовують DNS-систему доменних імен [2]. Зловмисники ж за допомогою DNS поширюють інфіковані ботнети.

Оскільки DNS трафік часто є нефільтрованим або таким, який сприймається браузером як безпечний, за допомогою нього можна встановлювати стійкий та надійний канал зв'язку між комп'ютерами мережі. Тим самим зловмисники обходять існуючі системи захисту.

Отже, дана тема є актуальною для дослідження. В основі даної роботи полягає розробка нового та ефективного методу для виявлення бот-мереж, які використовують технологію "динамічної переадресації IP-адрес". Виявлення бот-мереж, які використовують дану технологію, повинно бути із застосуванням найбільш нових та ефективних технологій. Однією із таких технологій є застосування алгоритмів машинного навчання та штучного інтелекту. Оскільки DNS трафік містить певні набори ознак, яких за допомогою аналізу алгоритмами штучного інтелекту можна зробити певні висновки про стан даного трафіку, тобто чи він є інфікованим чи ні, і за допомогою якої технології ботнету. Оскільки алгоритми штучного інтелекту працюють достатньо швидко, то можна забезпечити виявлення шкідливого вмісту мережі ще на ранніх стадіях, що забезпечує високу ефективність системи та захисту приватних даних користувачів.

Пов'язані роботи

Ботнети становлять загрозу із сотнями мільйонів заражених комп'ютерів. Дослідження показує, що 40% усіх комп'ютерів, які підключені до інтернету, заражені ботами та контролюються зловмисниками [3].

Одним із таких методів є метод виявлення технології «динамічна переадресація IP-адрес» в основу якого закладено аналіз на математична модель через отримання даних DNS трафіку та обрахунку різниць в отриманому часі відповіді [4].

В основі даного методу лежить мережа, що використовує динамічну переадресацію IP-адрес і використовує динамічний DNS для відображення динамічного домену на різні IP-адреси та застосовує потокові боти для перенаправлення трафіку мережі. Завдяки можливості приховувати хости ботнетом зловмисники широко використовують дану технологію як прикриття різних афер.

Згідно з даним методом сервіси, що використовують динамічний DNS, щоб збалансувати їх навантаження на хости та зловмисники користуються цим, щоб приховати ботнетів. У результаті час відповіді наступних записів на домен стає більш нестабільним. Виходячи із різниці у часі відповіді, даний метод пропонує підхід виявлення ботнету. Дана система встановлюється на комп'ютері, який може бути як кінцевим хостом, так і проміжним комп'ютером звичайного користувача.

Користувач із набором невідомих URL-адрес, які можуть бути отримані наприклад зі спаму чи соціальних мереж дає можливість визначити чи домени є доброякісними або шкідливими, що використовують технологію динамічної переадресації IP-адрес.

В основі методу лежить отримання набору доменів на їх аналіз за допомогою математичних моделей на обрахунків. Додаток надсилає запит на DNS для запиту IP-адрес, які відображаються на домені. Після того як TTL (time to live) відповіді на запит закінчувався, система повторно надсилає запит на сервер. Для кожного із таких запитів, зазначені етапи повторюються протягом 10-и хвилин. У результаті для кожного IP вимірюється час відповіді, і якщо середній результат відрізняється від відповіді, система помічає його як можливого шкідливого.

Виходячи із результатів запропонованих у даному методі видно, що даний метод може точно виявляти шкідливі домени лише із 0,3 % похибкою. Для того, щоб визначити, чи домен є шкідливим даному методу, необхідно менше 20 хв. Окрім того ця система не потребує спеціальної підтримки з боку провайдера або будь-якого іншого мережевого сервісу.

У основу [5] даного підходу покладено обробку даних [6, 7] як і у попередньому прикладі, але додано нові функції для підвищення ефективності та швидкодії даного методу. Даний метод має можливість виявити шкідливі домени в онлайн режимі та використовує нейронну мережу [8] (ADeSNN).

До уваги методу приймаються наступні параметри:

- 1) кількість IP-адрес у секції відповіді;
- 2) кількість IP-адрес у додатковій секції відповіді;
- 3) кількість ASN для IP-адрес у секції відповіді;
- 4) кількість ASN для IP-адрес у додатковій секції відповіді;
- 5) розмір повідомлення.

На основі аналізу цих даних система дає висновок чи містить даний ботнет шкідливі дані. Даний алгоритм показує досить хорошу швидкість та ефективність визначення шкідливого ботнету. Також адаптивний DeSNN показав підвищення ефективності його класифікації. Алгоритм виконаний на загальнодоступних даних. Крім того, адаптивний алгоритм сприяв проблемі налаштування параметрів як згадувалося раніше.

У "Identifying Fast-Flux Botnet With AGD Names at the Upper DNS Hierarchy" підході [9] пропонується нова схема виявлення технології динамічної переадресації IP-адрес. Запропонований підхід може розпізнати групи доменів, породжених зловмисниками, алгоритми генерації доменів або їх варіанти, які є репрезентативними для різних ботнетів. На додачу до цього, він також може визначити, чи алгоритмічно генеровані доменні імена в кластері використовують технологію динамічної переадресації IP-адрес чи ні, застосовуючи двоступеневий механізм виявлення. Трафік DNS збирається з магістральних маршрутизаторів.

За допомогою верхнього рівня ієрархії DNS, генеровані специфічним DGA домени, які є репрезентативними для відповідних ботнетів окрім того, визнано, чи використовуються імена AGD у кластері технологія динамічної переадресації IP-адрес чи ні також не визначені.

Описані вище алгоритми не дають змоги швидко та ефективно виявляти бот-мережі, що використовують технологію «динамічна переадресація IP-адрес, оскільки на виявлення потрібно занадто багато часу та дані алгоритми опрацьовують лише раніше відомі бот-мережі, що дає змогу у подальшому обходити дані алгоритми за допомогою новіших версій бот-мережі.

Метод виявлення бот-мережі, що використовує технологію «динамічна переадресація IP-адрес»

Технологія динамічної переадресації IP-адрес – це техніка, яку кіберзлочинці застосовують для запобігання ідентифікації IP-адреси свого ключового хост-сервера. Зловживаючи способом роботи DNS злочинець може створити ботнет з вузлами, які приєднуються та виходять із мережі швидше, ніж їх можна простежити [2].

Дана технологія використовує перевагу способу збалансованого навантаження на систему доменних імен. DNS дозволяє адміністратору зареєструвати декілька IP-адрес з одним ім'ям хоста. Альтернативні адреси законно використовуються для розподілу інтернет трафіку між декількома серверами. Зазвичай IP-адреси, пов'язані з доменом хоста, якщо вони є, не змінюються дуже часто.

Однак кіберзлочинці виявили, що вони можуть приховувати ключові сервери, використовуючи шістдесяті секундний час існування (TTL – time to live) для своїх записів ресурсів DNS та змінювати пов'язані IP-адреси записів із надзвичайною частотою. Оскільки зловживання системою вимагає співпраці з

реєстром доменних імен, вважається, що найбільш швидкі потокові DNS ботнети походять із країн, що розвиваються, або з інших країн не кіберзлочинність погано регулюється із сторони влади та її законів.

Для того, щоб виявити, що застосована технологія – це технологія “Динамічна переадресація IP-адрес”, необхідно отримати корисні функції та параметри з повідомлень відповідей DNS, які відрізняють домену динамічної переадресації IP-адрес від законних доменів.

Повідомлення DNS складається із заголовка DNS та чотирьох розділів: запиту, відповіді, авторизації та із додаткового поля (question, answer, authority and additional). Розділ запиту (question) містить запит, що надсилається на сервер DNS. Дані наступних трьох розділів зберігаються у наборі записів ресурсів (RRs – resource records). Для визначення нам необхідні два типи RRs: записи, що містять IPv4 адреси та NS записи що вказують на імена серверів. Розділ відповідей (answers) містить відповіді RR відповідні до запису. Розділ authority містить NS записи домену. IP-адреси NS зазвичай знаходяться у додатковому розділі [2, 3].

Для виявлення необхідні наступні ознаки функцій для аналізу пакетів:

- 1) N_a – кількість записів у секції відповіді (answers);
- 2) N_{asn} – кількість різних ASN для всіх записів;
- 3) N_{ns} – кількість записів для NSs (у додатковій секції повідомлень DNS);
- 4) N_{nsasn} – число кількості різних ASN для всіх NS;
- 5) TTL_a – кількість TTL записів у секції відповіді (answers);
- 6) TTL_{ns} – кількість TTL записів для NS домену.

Основними ознаками динамічної переадресації IP-адрес є N_a , TTL_a та N_{asn} . Зазвичай ці ботнети встановлюють (у загальному більше п’яти) записів для одного домену, щоб забезпечити роботу принаймні одному доступному із них також встановлюють N_a більший за норму, дуже низький TTL (TTL_a) для швидкої зміни списку адрес та високий N_{asn} для розповсюдження IP-адрес.

Застосування алгоритму SVDD для виявлення бот-мереж, що використовують технологію «динамічна переадресація IP-адрес»

Даний етап є основою для ефективного виявлення бот-мереж, що використовують технологію «динамічна переадресація IP-адрес».

Виявлення бот-мережі доволі складний процес. Зазвичай сучасні системи можуть виявити бот-мережу вже занадто пізно, тоді коли система вже є інфікованою, що потім тільки ускладнює процес як виявлення вже інфікованих даних, так і забезпечення захисту системи в цілому. Тому доцільно виявляти бот-мережу, ще на початковій стадії DDoS атаки, що дозволяє якісно та швидко реагувати на дії зловмисників.

Задача полягає у тому, що потрібно розробити нову систему виявлення бот-мережі за допомогою відслідковування інтернет трафіку та виявлення у ньому ознак, за допомогою яких можна буде робити висновки, чи відбуваються якісь дії зловмисників.

Етапи виявлення бот-мережі поділяються на такі основні кроки: збір та отримання трафіку DNS мережі, виявлення ознак мережі, перевірка отриманих ознак за допомогою алгоритму машинного навчання та повідомлення про стан трафіку на наявність інфікованої бот-мережі у отриманому трафіку.

Схема роботи алгоритму представлена на рис. 1.

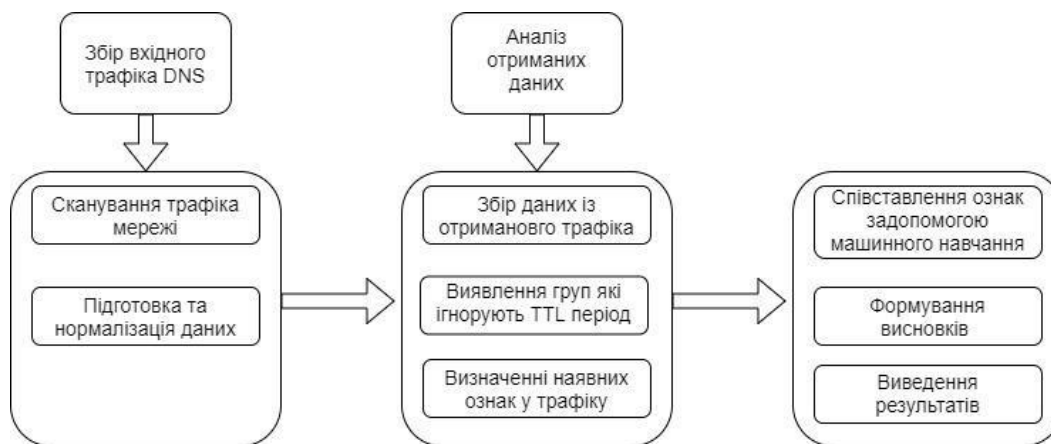


Рис. 1. Схема функціонування алгоритму виявлення бот-мережі, що використовує технологію «динамічна переадресація IP-адрес»

Підготовка поділяється на такі кроки:

1. Сканування мережевого трафіку.
2. Отримання мережевого трафіку.
3. Визначення усіх наявних ознак в отриманому трафіку.

Наступним кроком є аналіз отриманих ознак на основі алгоритму машинного навчання, який описується наступним чином:

1. Формування та створення моделі алгоритму.
 2. Завантаження отриманих ознак.
 3. Обробка та формування лише необхідних ознак та їх представлення у правильній та зручній формі для алгоритму.
 4. Навчання на основі отриманих ознак та їх значень.
 5. Тренування моделі на кількох групах різних даних, для підвищення чіткості роботи алгоритму.
- Етап навчання є одним із найважливіших етапів, оскільки якісна робота цього етапу, забезпечить ефективну роботу алгоритму.

На даному етапі відбувається формування даних, які завідома є правильними та не правильними. Потім отримують вектор ознак, який проходить додаткову перевірку даних згідно раніше ідентифікованих вимог. Якщо дані не є такими, вони повертаються на попередній етап – етап нормалізації та формування вектора ознак. Якщо дані не можуть бути перетворені для обробки алгоритмом – вони помічаються, як дані що є не правильними, та система сповіщає про це користувача.

Якщо ж дані перевірені та провалідовані вони передаються на етап навчання. Чим більша кількість ітерацій, тим це краще для алгоритму, та він буде мати менший відсоток похибки, що у свою чергу підвищить ефективність та якість роботи алгоритму машинного навчання. Також дані, які будуть передаватися на вхід етапу навчання, мають містити у собі дані, які відхиляються від норми.

Алгоритм SVDD є більш ефективним представленням алгоритму SVM [10].

Оскільки алгоритм SVDD, є алгоритмом виявлення аномалій, то саме дані які містять у собі відхилення від норми, будуть основними до опрацювання [11, 12].

Основною перевагою даних алгоритмів є те, що в результаті після етапу навчання алгоритму виявлення аномалій, у тому числі алгоритм SVDD, може виявляти раніше не відомі аномалії та відхилення, які будуть опрацьовуватися надалі. Це дає змогу для широких можливостей застосування алгоритмів даного типу. Вектори, які містять у собі набори параметрів, будуть опрацьовуватися алгоритмом.

Алгоритм приймає дані у вигляді N об'єктів даних $\{x_i, i = 1, N\}$. На основі цих даних необхідно вивести сферу із мінімальним обсягом, що містить всі, або більшу частину об'єктів, даних.

На випадок, коли один або кілька об'єктів знаходяться у тренувальному набору, та є найбільш рівновіддаленими від центра, виходить дуже велика сфера, яка не відобразить дані добре [13]. Щоб мінімізувати похибку, вводяться так звані “слабкі змінні” ξ_i . Зі сфер, описаних центром a та радіусом R , мінімізується радіус.

$$F(R, a, \xi_i) = R^2 + C \sum \xi_i, \quad (1)$$

де змінна C являє собою кількість векторів, які можуть вийти за межі сфери.

Отриману формулу необхідно звести до мінімуму за відповідними обмеженнями:

$$[(x)_i - a]^T (x_i - a) \leq R^2 + \xi_i \quad \forall_i, \xi_i \geq 0. \quad (2)$$

Відповідно до обмежень (посилання на формулу $F()$), побудуємо рівняння методу Лагранжа:

$$L(R, a, \alpha_i, \xi_i) = R^2 + C \sum_i \xi_i - \sum_i \alpha_i \{R^2 + \xi_i - (x_i^2 - 2ax_i + a^2)\} - \sum_i \gamma_i \xi_i \quad (3)$$

з множниками Лагранжа $\alpha_i \geq 0$ та $\gamma_i \geq 0$. Нові обмеження визначаються рівністю нулю часткових похідних:

$$\sum_i \alpha_i = 1, a = \frac{\sum_i \alpha_i x_i}{\sum_i \alpha_i} = \sum_i \alpha_i x_i, C - \alpha_i - \gamma_i = 0 \quad \forall_i \quad (4)$$

$\alpha_i \geq 0$ та $\gamma_i \geq 0$, можна виділити змінні γ_i з третього рівняння у (формула вище) і використовувати обмеження $0 \leq \alpha_i \leq C \cdot \forall_i$. З посилання на номери попередніх двох рівнянь максимізуються щодо α_i :

$$L = \sum_i \alpha_i (x_i \cdot x_i) - \sum_{ij} \alpha_i \alpha_j (x_i \cdot x_j) \quad (5)$$

$$0 \leq \alpha_i \leq C, \sum_i \alpha_i = 1.$$

з обмеженнями

З другого рівняння у (2) слідує, що центр сфери є лінійною комбінацією об'єктів даних з ваговими коефіцієнтами, які отримують шляхом оптимізації рівняння (3). Тільки для невеликого набору об'єктів рівність у рівнянні (1) відповідає об'єктам, які знаходяться на межі самої сфери. Для цих об'єктів коефіцієнти будуть ненульовими і називаються опорними об'єктами. У описі сфери потрібні лише ці об'єкти. Радіус R сфери можна отримати, розраховуючи відстань від центру сфери до опорного вектора з вагою менше, ніж C . Об'єкти, для яких, потрапляють у верхню межу в (2) і виходять за межі сфери. Ці вектори підтримки вважаються перевершеними.

Гіперсфера – це чітка границя навколо даних та зазвичай не дає правильного представлення про їх структуру. В основі методу SVDD лежить нелінійне відображення даних із тренувального набору у простір із великим розміром та побудова роздільної гіперплощини в цьому просторі. Таким чином можна отримати

нелінійні границі у вхідному просторі. З використанням функції ядра можна вираховувати роздільну гіперплощину без конкретного відображення даних на простір великим розмірів [12, 13].

Розгорнута діаграма функціонування етапу навчання представлена на рис. 2.



Рис. 2. Розгорнута діаграма функціонування етапу навчання

Алгоритм машинного навчання SVDD (Support Vector Domain Description) [10–13] приймає на вхід

Після сканування та підготовки даних необхідно провести етап навчання та встановлення моделі машинного навчання. Для цього необхідно передати підготовлені ознаки, вже у правильному вигляді, на вхід, як параметри у систему машинного навчання.

На цьому етапі необхідно налаштувати модель на виявлення аномалій у отриманому DNS трафіку, на основі тестових даних, які будуть вказувати на ці аномалії.

Набір навчальних даних складається із N кортежів (x_i, y_i) та функції класифікатора, яка представлена у наступному вигляді:

$$f(x) \rightarrow y \tag{6}$$

де x – представлений у вигляді вектора ознак;

y – являє собою вектор класу.

У системі представимо $x = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$, як множину DNS пакетів. Кожен об'єкт пакета представляє у собі вектор ознак, і характеризується значеннями у вигляді:

$$x_i = \{x_{ij} \mid 1 \leq j \leq m\} \tag{7}$$

де m – це кількість ознак;

x_{ij} – значення j -ї особливості у i -му DNS пакеті.

Відповідно до даних які необхідні для виявлення динамічної переадресації IP-адрес, x_i можна представити у вигляді кортежу із параметрами які необхідні для алгоритму машинного:

$$x_i = \{n_a, n_{asn}, n_{NS}, n_{nsasn}, TTL_a, TTL_{ns}\} \tag{8}$$

Нехай також представимо у як набір класів доменних імен:

$$y = \{y_1, y_2, y_3, \dots, y_n\} \tag{9}$$

Для даного випадку представимо, що $y = (1,0)$, у якому $y = 1$ та вказує на технологію динамічної переадресації IP-адрес і тоді необхідно застосувати алгоритм машинного навчання для виявлення бот-мережі. У випадку $y = 0$, це інша технологія чи бот-мережі та застосування даного алгоритму не буде

доречним [12, 13].

Експерименти

Для того, щоб можна було оцінити ефективність даного підходу, що використовує технологію «динамічна переадресація IP-адрес», було проведено ряд експериментів. Для експериментів було використано доменні імена та їх IP-адреси, які є інфікованими та не інфікованими доменні імена.

Для цього було обрано та проаналізовано різні доменні імена та IP-адреси які відносяться до різних країн на мають різні дані та значення параметрів.

Інфіковані доменні імена були отримані із набору даних Malware Domains [14]. У таблиці 1 показаний приклад вхідних даних, які будуть подані на опрацювання алгоритму, де:

#IP – кількість IP-адрес, що асоціюються із даним доменним ім'ям;

#ASN – кількість асоційованих номерів автономної системи;

#PREF – кількість пов'язаних префіксів: префікси IP-адреси також дають інформацію про те, чи є домен законним або він є частиною інфікованої бот-мережі;

#C – кількість країн, із якими асоціюється даний домен;

ND – затримка мережі – відноситься до часу, необхідного для передачі пакетів туди та назад через інтернет між клієнтом та сервером;

PD – затримка обробки запиту;

DFD – затримка отримання документа: посилається на необхідний час з сервера, щоб отримати веб-сторінку.

Таблиця 1

Приклад даних

Доменне ім'я	#IP	#ASN	#PREF	#C	ND	PD	DFD	Тип мережі
google.com.ua	11	1	1	1	0.0481	0.0280	0.2593	legitimate
mastereduc.com	3	3	3	3	0.1362	1.67	1.43	malicious
youtube.com	11	1	1	1	0.0489	0.0414	0.3420	legitimate
dapcopharma.co.ke	2	2	2	2	0.4468	0.1236	0.1818	malicious

Так як даний підхід в працює із IP-адресами, для кожного доменного ім'я, система буде запитувати його IP-адресу та їх кількість для того, щоб перевірити наявність інших IP-адрес що асоціюються з даним доменним ім'ям.

Одним із важливих етапів для даного підходу був етап навчання. Згідно з отриманими даними, частина яких була завідома інфікованою [14], був проведений етап навчання. На цьому етапі було опрацьовано 364 різних інфікованих доменних адрес. Також було опрацьовано 100 адрес, які вважаються легітимними та не містять ознак бот-мережі.

Наступним кроком є етап виявлення. На даному етапі алгоритм розпізнає інфіковані імена, повідомляє про це користувача. Для простоти та зручності усі інфіковані імена будуть виводитися у окремий файл, у якому можна перевірити адреси, які саме були інфіковані.

```

segurocaixaatualizacao.com
token-caixa.sg.tf
nrpexhausts.co.uk
dapcopharma.co.ke
internetbanking-recadaastro-caixa.net
mlas.org.sg
zedocaixao2016.xpg.uol.com.br
utreraimobiliaria.com
branainmobiliaria.com
arquined.com
casasyseguros.com
caixaeconomicafederalhabitacao.com
petiscos.com
mail.nosweatwtloss.com
ultragene.pt
laanpenger.net
margot-salon.ro
perfectparties1.com
punkrockbabyclothing.com
edarural.com
hospitalsadda.com
mushroomworldbpl.com
superbongo.com
fencing-vulkan.ru
lifeokna.ru

```

Загальна кількість - 356

Рис. 3. Результати роботи алгоритму

Експерименти показали, що обрані нами ознаки дають достатню точність роботи алгоритму. Із завідома відомих 364 інфікованих імен, система успішно ідентифікувало 356. Тобто, виходячи із результатів роботи, можна сказати, що точність роботи системи становить 97,8%. Результати роботи даного алгоритму є хорошим показником того, що даний підхід має місце для подальшого розвитку. При подальшому використанні та повторному проведенні етапу навчання похибка може знизитися.

Висновки

Описаний метод ідентифікації бот-мереж, що використовують технологію “динамічна переадресація IP-адрес”, показав хороші результати на експериментах з доволі високою чіткістю визначення інфікованої бот-мережі. Даний метод дає змогу ефективно виявляти бот-мережі даного типу та технології та повідомляти про це користувача на більш ранньому етапі ще до того, як бот-мережа інфікує систему користувача.

Отже, даний метод має місце для подальшого розвитку та розробки.

References

1. Botnet Wikipedia. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Botnet>. (date 21.03.20)
2. Domain name system Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Domain_Name_System (date 21.03.20)
3. Botnet scams are exploding Google Scholar. URL: <http://www.contentagenda.com/articleXml/LN760999245.html?industryid=45177> (date 23.03.20)
4. Detect Fast-Flux Domains Through Response Time Differences IEEE Xplore. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6905768> (date 21.03.20)
5. Chahal P. S., and Khurana S. S. TempR: Application of Stricture Dependent Intelligent Classifier for Fast Flux Domain Detection, International Journal of Computer Network & Information Security, vol. 8, 10.11.2016
6. Celik Z. B., and Oktug S. Detection of fast-flux networks using various dns feature sets. p. 868–873.
7. Nafarieh Z., Mahdipur E., Haj Seyed Javadi H. (2019). Detecting Active Bot Networks Based on DNS Traffic Analysis. Journal of Advances in Computer Engineering and Technology, 5(3), 129–142.
8. Learning to link human objects in video and advertisements with clothes retrieval. IEEE Xplore. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7727859/> (date 23.03.20)
9. Alieyan K., ALmomani A., Manasrah A., and Kadhum M. M. A survey of botnet detection based on DNS', Neural Comput. Appl., vol. 28, no. 7, p. 1541–1558, 2017.
10. Vapnik V.N. Statistical learning theory. Wiley, 1998, 740 p.
11. Manolakis D., Marden D., Shaw G., Hyperspectral image processing for automatic target detection applications, Lincoln Lab. J., vol. 14, no. 1, pp. 79–114, 2003.
12. Tax D.M., Duin R.P. Support Vector Data Description. Machine Learning 54, 45–66 (2004). <https://doi.org/10.1023/B:MACH.0000008084.60811.49>
13. Ruirui J., Ding L., Min W., Liu J. The application of SVDD in gene expression data clustering, Proc. Int. Conf. Bioinformat. Biomed. Eng., pp. 371–374, 2008.
14. Malware Domain Blocklist DNS-BH – Malware Domain Blocklist by RiskAnalytics. URL: <https://www.malwaredomains.com/> (date 31.03.20)

Рецензія/Peer review : 25.4.2020 р.

Надрукована/Printed : 16.6.2020 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЯВЛЕННЯ ШКІДЛИВОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ

У даній статті здійснено аналіз сучасного стану шкідливого програмного забезпечення (ШПЗ). Для цього розв'язано три часткові задачі: класифіковано і описано основні типи ШПЗ, прийоми і методи боротьби з його окремими різновидами; розглянуто ряд сучасних підходів до виявлення загроз; з'ясовано основні недоліки поширених методів викриття згубних програм. Виконані дослідження дозволили обґрунтувати необхідність пошуку нових шляхів боротьби з програмними небезпеками. В якості концептуальної основи для такого випадку запропоновано обрати методи штучного інтелекту. На нашу думку, це дозволило б виявляти ШПЗ, яке до відомих хакерських атак ще не залучалось.

Ключові слова: шкідливе програмне забезпечення, OpCode, N-грами, комп'ютерна система.

S. LYSENKO, R. SCHUKA
Khmelnyskyi National University

ANALYSIS OF MALWARE DETECTION METHODS IN COMPUTER SYSTEMS

Malware (malicious software or malware) are programs that are designed to make harm and use the resources of the targeted computer. They are often masked in legal programs, imitate them or just hide in different folders and files in the computer. Moreover, they can get an access to the operating system that allows malware to encrypt files and steal personal information. In some cases malware are distributed by themselves, by e-mail from one computer to another, or through infected files and disks. Fast growing amount of malware makes the computer security researchers invent new methods to protect computers and networks. There are three main methods that are using for malware detection – signature based, behavioural based and heuristic. Signature based malware detection is the most common method used by commercial antiviruses and used in the cases which are completely known and documented. Behaviour-based malware detection evaluates an object based on its intended actions before it can actually execute that behaviour. This malware detection method used to cover disadvantages of signature based method. However, this approaches cannot normally detect harmful software, since such new signatures are not available for newly created malware. On another hand, heuristic methods for detecting harmful software are considered the most effective because they use advanced algorithms based on machine learning technologies. In this paper, we provide the analysis of current state of malicious software. Firstly, we described and classified main types of malware. Then we provide common malware detection approaches and their disadvantages. After that we focused on heuristic malware detection approaches based on artificial intelligence and briefly overview various features of this methods such as API Calls, OpCodes, N-Grams etc.

Keywords: Malware detection, N-gram, API, Neural networks, computer system.

Вступ

Стрімкий розвиток інформаційних технологій обумовив помітні зміни у способах та засобах комунікації між людьми із застосуванням мережевих технологій. Створення, зберігання, розповсюдження та спільне використання інформації стає дедалі ще більш простим і доступним. Однак розширення асортименту носіїв інформації, збільшення способів її поширення, подальше удосконалення операційних систем і поява їх нових версій стимулювали еволюцію шкідливого програмного забезпечення та його урізноманітнення. Це призвело до збільшення вразливості інформаційних пристроїв та несанкціонованого доступу до них [1].

Динаміка розвитку ШПЗ

Згідно з даними компанії «McAfee Labs», яка вивчає кіберзагрози та займається дослідженням питань кібербезпеки, протягом останніх років зростання чисельності нового ШПЗ невинно прискорюється. Так, у першому кварталі 2018 року в середньому реєструвалось 5 нових шкідливих програм (ШП) за секунду. Крім того, спостерігались суттєві технологічні зміни нових ШП, внаслідок яких підвищувалася успішність прийомів зламу. Щодня сервіс McAfee Global Threat Intelligence аналізував 2 500 000 URL-адрес й понад 700 000 файлів. Така обставина обумовила наступну статистику [2]:

- за день в середньому виконувалось 51 000 000 000 запитів;
- у першому кварталі 2018 року захист від ШПЗ спрацьовував 79 000 000 разів на добу, порівняно з 45 000 000 у четвертому кварталі 2017 року;
- у першому кварталі 2018 року захист від ризикованих URL-адрес спрацьовував 49 000 000 разів, що є на 12 000 000 більше, ніж за попередній квартал;
- у першому кварталі 2018 року захист від ризикованих IP-адрес спрацьовував 36 000 000 разів, в порівнянні з 26 000 000 за четвертий квартал 2017.

У другому кварталі 2018 McAfee GTI в середньому отримувало 49 000 000 000 запитів щодоби. У цей час також спостерігався сплеск чисельності нового ШПЗ для мобільних пристроїв – кількість програм збільшилась на 27% порівняно з першим кварталом [3].

Динаміку появи нових ШП та їхню загальну кількість можна побачити на рис. 1, рис. 2, відповідно.

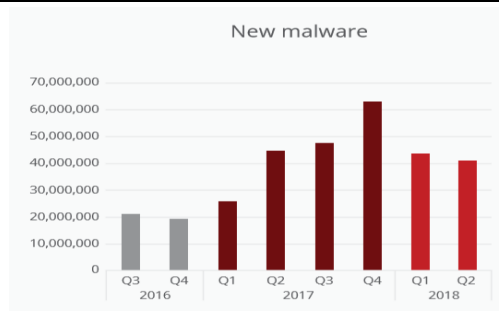


Рис. 1. Кількість нових ШПЗ [3]

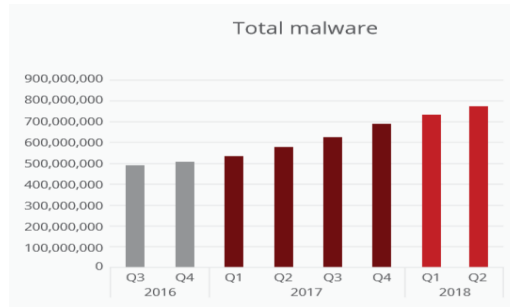


Рис. 2. Загальна кількість ШПЗ [3]

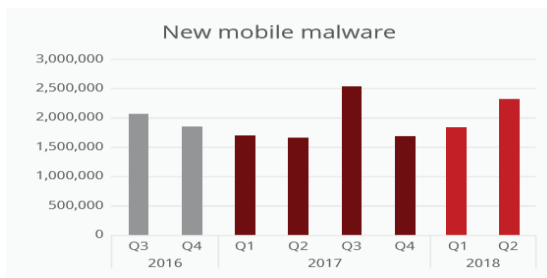


Рис. 3. Кількість нових мобільних ШПЗ [3]

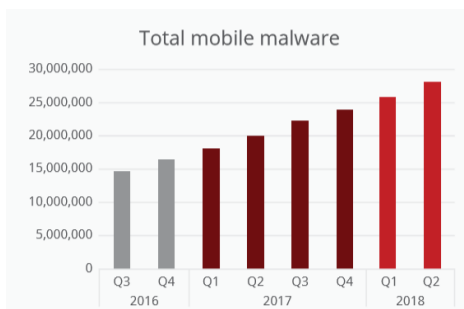


Рис. 4. Загальна кількість мобільних ШПЗ [3]

Як зазначалось у [4], в 2018 році значно виросла кількість нових ШПЗ, пов'язаних з добуванням криптовалют, тоді як ріст інших видів атак поступово спадає. Крім того, виявлення криптомайнінгового ШПЗ зросло на 27 відсотків за останній квартал 2019 року, як наслідок – за кількістю атак цей тип ШПЗ поступається лише рекламним ШПЗ.

На ринку Android ситуація ще більш вразлива. Кількість нового криптомайнінгового ШПЗ за перший квартал 2019 зростає у 40 разів в порівнянні з попереднім періодом, тобто темп склав 4000%. На рис. 3, рис. 4 показано динаміку нових ШПЗ та їх загальну кількість.

Сучасне ШПЗ та тип кібер-атак

Як відомо, вперше визначення поняття “комп’ютерний вірус” дав Ф. Коен у своїй дисертації, присвяченій самовідтворюваним програмам [5]. З того часу завдання сегрегації комп’ютерних вірусів стали частиною царини задач, пов’язаних з виявленням шкідливого програмного забезпечення.

ШПЗ може бути класифіковане як віруси, хробаки, трояни, бекдори, шпигунські програми та інші типи й підтипи. Вони часто перекривають один одного,

тому між ними іноді важко провести межу [6]. У таблиці 1 наведено основні види атак на пристрої-жертви.

Методи виявлення ШПЗ

Виявлення ШПЗ може відбуватися як на стороні мережі, так і на стороні хосту. У першому випадку присутність і дія програми-шкідника фіксується під час використання мережевого трафіку, у другому це відбувається на тлі застосування внутрішніх даних. Подібна обставина зумовлює появу двох типів аналізу шкідливих програм:

- статичного (код програми перевіряється без її фактичного запуску на виконання);
- динамічного (програма виконується у реальному чи віртуальному середовищі).

І ще одна диференціація базується на виокремленні стратегій виявлення шкідливого ПЗ:

- аномалії виконання (полягає у пошуку відхилень від нормальної роботи програми);
- неправомірне виконання (зосереджується на конкретних неправомірних діях й поведінці).

Усе викладене вище дозволяє виділити три основні методи, що використовуються для виявлення шкідливого програмного забезпечення. Це сигнатурні, поведінкові та евристичні методи, які ми зараз розглянемо більш детально.

Сигнатурні методи

Сигнатурні методи описують кожну атаку власною моделлю — сигнатурою. В останньої може застосовуватися:

Основні види атак, ініційовані шкідливим ПЗ

Атака	Опис
Фішинг (phishing)	Особисті дані користувачів — облікові записи та номери кредитних карт — збираються за допомогою додатків, електронних листів або SMS, які видаються за справжні.
Шпигунська (Spyware)	Особиста інформація користувачів витягується або виводиться в процесі моніторингу заражених пристроїв. У порівнянні зі спостережними атаками, шпигунські не націлюються на окрему жертву.
Спостережна (surveillance)	Конкретний користувач знаходиться під спостереженням власного зараженого пристрою, у якому для цієї мети використовуються вбудовані датчики.
Дайлер (diallware)	Гроші користувачів викрадаються через ШПЗ, яке робить приховані дзвінки на преміальні номери або операторам SMS-послуг.
Хробакова (worm-based)	Черв'як/хробак — це шкідлива програма, яка дублює себе, поширюючись через існуючу мережу (без втручання користувача) від одного пристрою до іншого завдяки використанню різних засобів.
Ботнет (botnet)	Ботнет — це набір пристроїв, заражених шкідливими програмами, які дозволяють хакеру дистанційно керувати ними.
Riskware	Легальне програмне забезпечення, що не несе прямої загрози на встановленому пристрої, але дозволяє зловмисникам отримувати доступ до інформації користувачів
Криптомайнінг (Cryptomining / cryptojacking)	Криптомайнінг — це відносно новий термін, що стосується шкідливих програм, розроблених з метою залучення ресурсів комп'ютера та використання їх для добування криптовалюти без явного дозволу користувача.
Рекламна (adware)	Спеціальний тип ШПЗ, який орієнтований на показ реклами на пристрої-жертви й збір пошукових запитів, які в майбутньому можуть використовуватись у маркетингових цілях

- рядок символів;
- семантичні вирази на спеціальній мові;
- формальна математична модель тощо.

Виділенням сигнатур займаються експерти в області комп'ютерної вірусології. Вони здатні виділити код вірусу з коду програми і сформулювати його характерні властивості в найбільш зручній для пошуку формі. Практично в кожній компанії, яка займається розробкою антивірусних програм, є своя група фахівців, що аналізує нові віруси і поповнює антивірусну базу новими сигнатурами.

Алгоритм роботи сигнатурного методу заснований на пошуку сигнатур-атак у вихідних даних, зібраних мережевими і хостовими датчиками СВА (інакше, системи виявлення атак). При виявленні сигнатури, СВА фіксує факт інформаційної атаки, яка відповідає знайденому підпису.

Сутність стандартної стратегії виявлення вірусних програм сигнатурними методами полягає у підтримці бази даних (БД) шкідливих сигнатур (інакше, підписів). Кожний вхідний файл перевіряється на наявність у ньому вірусного "підпису", який збігається з записом у базі даних відомих сигнатур (БДС). При цьому система захисту передбачає постійне оновлення БДС і покладається на нього.

Виявлення ШПЗ на основі сигнатур є найпоширенішим методом, що використовується комерційними антивірусами. Але його можна використовувати у випадках, які є повністю відомими і задокументованими. Із зазначеного стає очевидним суттєвий недолік сигнатурних алгоритмів. Вони не здатні розпізнати атаку нового ШПЗ [7]. Внаслідок цього виникає необхідність постійного оновлення, вдосконалення та впровадження нових евристичних підходів для боротьби зі ШПЗ.

Поведінкові методи

Методи виявлення ШПЗ на основі поведінки полягають в спостереженні за роботою програм та подальшому прийнятті рішення щодо її шкідливості чи безпечності. Оскільки поведінкові методи ґрунтуються на спостереганні за діями виконуваного файлу, вони здатні нівелювати недоліки сигнатурних методів. Простіше кажучи, детектор на основі поведінки робить висновок про те, чи програма шкідлива, перевіряючи, що вона робить, а не те, що вона "говорить".

Поведінкові методи виявлення ШПЗ здатні класифікувати програми з однаковою поведінкою. Таким чином, одна поведінкова сигнатура може ідентифікувати різні зразки шкідливих програм. Детектор на основі поведінки в основному складається з наступних компонентів [10]:

- Data Collector: ця компонента збирає динамічну або статичну інформацію про виконуваний файл;
- Interpreter: перетворює необроблену інформацію, зібрану модулем збору даних, на проміжні представлення, придатні для подальшого аналізу;
- Matcher: використовується для порівняння цього представлення з підписами поведінки.

Одним із прикладів поведінкових методів є технологія виявлення зловмисного коду на основі гістограми, що його запатентовано компанією Symantec [10]. Основною перевагою методів виявлення шкідливих програм на основі поведінки є можливість викриття такого типу ШПЗ, який не здатні детектувати сигнатурні методи. Це, наприклад, невідомі та поліморфні варіанти шкідливих програм. З іншого боку, основними недоліками поведінкових методів виявлення ШПЗ є відсутність перспективного відношення хибних спрацювань (False Positive Ratio, FPR) при великій кількості порівнянь а також високий час сканування.

Евристичні методи

Як ми вже згадували, методи виявлення ШПЗ на основі сигнатур і поведінкові методи мають деякі недоліки. Для їх подолання уявляється за доцільне застосувати евристичні методи виявлення шкідливих програм (ЕМШП). Переваги такому кроку забезпечує інтеграція інтелектуального аналізу даних і техніки машинного навчання для вивчення поведінки виконуваного файлу.

Для виявлення ШПЗ евристичними методами застосовуються підходи, показані на рис. 5.



Рис. 5. Особливості використання евристичного методу

Уявляється за доцільне детальніше розглянути основні з них — виклики API, N-грами та Op-коди.

Виклики API

Для відправлення своїх запитів до операційної системи майже всі додатки використовують виклики інтерфейсу прикладного програмування (API) [10]. У цьому сенсі облік послідовності викликів API здатний стати одним з найкращих способів, який відображає поведінку коду.

Одним з перших, хто розглядав послідовності викликів API як функцію шкідливого програмного забезпечення, став Хофмайер [11]. У своїх роботах він запровадив метод виявлення аномалій на основі послідовностей системних викликів. Профайли звичайної поведінки були виконані з використанням коротких послідовностей системних викликів. Для узгодження послідовностей використовувалась відстань Хеммінга. Для встановлення аномалій встановлювався певний поріг — звичайною вважається велика відстань Хеммінга [11].

У 2007 році, на основі аналізу послідовностей виконання Windows API, які викликались файлами Portable Executable (PE), дослідник Ye разом з іншими у [12] запропонували інтелектуальну систему виявлення шкідливих програм — Intelligent Malware Detection System (IMDS), яка використовувала класифікацію на основі майнінга об'єктно-орієнтованої асоціації (OOA). Для створення ефективних правил OOA з метою класифікації ШПЗ було запропоновано адаптувати алгоритм OOA-Fast-FP Growth. Проте, як з'ясувалося, незважаючи на прийнятну результативність виявлення шкідливих програм, IMDS притаманні дві проблеми. Ними виявились:

- 1) обробка велетенського набору згенерованих правил для побудови класифікатора;
- 2) знаходження ефективних правил класифікації нових зразків файлів.

Для вирішення зазначених задач Джонг і Лі [13] використовували послідовності системних викликів як для шкідливих, так і для “доброякісних” виконуваних файлів. На основі таких послідовностей будувався топологічний граф, інакше — граф коду. Для кожного двійкового файлу цей граф видовжується та порівнюється з кодовими графами як шкідливих, такі безпечних програм. Відповідно до результатів подібного порівняння програма класифікується як небезпечна або безпечна.

Головним недоліком топологічного графу є його велика довжина. Для подолання цієї вади Lee та ін. у [18] запропонували запровадити виклики API до 128 груп. В результаті графи коду зменшувались і ставали більш зручними для використання.

Згодом цю ідею Ye та ін. у [14] втілили у так званий “класифікатор, що інтерпретує”. Він дозволяв на основі аналізу викликів API за допомогою PE-файлу виявляти шкідливі програми з великого та незбалансованого “сірого” списку.

Дослідження групи Ye було засноване на 8 млн ШП шкідливих, такій же кількості безпечних програм і на 100 тис. зразках із сірого списку. Останні були зібрані з антивірусної лабораторії корпорації King soft. Ye з колегами побудували ефективний асоціативний класифікатор, заснований на декількох різних технологіях обробки, включаючи обрізання правил і їх переупорядкування (в оригіналі — rule pruning and rule reordering). Для зменшення чутливості класифікатора до даних дисбалансу і поліпшення його продуктивності, вони розробили ієрархічний асоціативний класифікатор HAC (Hierarchical Associative Classifier).

Операційні коди — OpCode

Варто зауважити, що OpCode (операційний код) — це частина інструкції на машинній мові, яка однозначно ідентифікує операцію, що підлягатиме виконанню. У цьому сенсі будь-яка програма визначається як серія впорядкованих інструкцій, що в остаточному підсумку веде до обчислення конкретного результату. Інструкція — це своєрідний тандем (пара) операційного коду й операнда, іноді — списку операндів.

Ґрунтовне дослідження опкодів [15] зробив D. Bilag. Він припустив, що окремі OpCodes можна використовувати як функцію для виявлення шкідливих програм. Прагнучи довести припущення, він статистично проаналізував можливості окремих OpCodes і продемонстрував їх високу надійність для визначення шкідливості виконуваного файлу. D. Bilag довів, що операційний код може використовуватися в якості потужного представлення виконуваних файлів.

Методам виявлення ШПЗ на основі послідовностей OpCode присвячено ряд праць I. Santos, P. G. Bringas та ін. Наприклад, у [16] вони представили підхід, орієнтований на виявлення заплутаних (обфуркованих) варіантів шкідливих програм (в оригіналі — obfuscated malware variants) за допомогою розрахунків частоти появи послідовностей OpCode у ШПЗ. Частота появи кожного з OpCode визначалась для обох наборів даних — набору ШПЗ та безпечних програм. В якості детектора, що дозволяв розв'язувати заплутані варіанти шкідливих програм використовувалась так звана “зважена частота термінів” (Weighted Term Frequency, WTF). Власне “вагою” слугувала міра подібності нового вектору ознак і вектору властивостей та варіантів шкідливих програм. Вона визначалась, як косинус кута між цими двома згаданими векторами ознак.

Продовжуючи дослідження послідовностей опкодів у напрямі, визначеному в [16], I. Santos підготував декілька класифікаторів машинного навчання. Як відомо, такі класифікатори на основі машинного навчання потребують великої кількості зразків шкідливих і безпечних програм для кожного концептуального класу, який вони намагаються виявити. На практиці отримати і дослідити велику кількість помічених і (або) опрацьованих даних — клопітка і не завжди успішна праця. Для вирішення цієї проблеми у наступних роботах Сантос та ін. запропонували три методи:

- 1) колективну класифікацію [17];
- 2) однокласове навчання [18];
- 3) навчання з напівконтролем [19].

Runwal et al. [20] запропонував новий підхід на основі OpCodes і використовував цей метод для виявлення невідомих, а також метаморфічних сімейств шкідливих програм на основі простого оцінювання подібності графів (a simple graph similarity measurement). Дослідники вилучали опкоди з обох типів файлів (тобто і зі зловмисних, і з доброякісних програм), підраховували кількість пар, які щоразу з'являлися, і на основі цього створювали граф OpCodes. Обчислений таким чином граф давав їм можливість прогнозувати ймовірність небезпечності (шкідливості) нового виконуваного файлу. У подальшому за подібністю графу виконуваного файлу до тестових графів робився висновок щодо приналежності файлу до доброякісних програм чи ШПЗ.

N-грами

T. Abou-assaleh, N. Cercone та ін. у [21] дали визначення терміну “N-грами”, як “всі підрядки конкретного рядка з довжиною N”. Наприклад, нехай рядок складається з послідовності символів “VIRUS”. Його можна розділити на три 3-грами: “VIR”, “IRU” та “RUS”. Подібно до цієї операції так можна поступити з будь-яким рядком. Двійкові рядки — послідовності одиниць та нулів — не виключення. Протягом останнього десятиліття було проведено цілий ряд досліджень щодо виявлення невідомого шкідливого програмного забезпечення на основі змісту двійкового коду у N-грамах.

Першими, хто запровадив ідею застосування методів виявлення різноманітних ШПЗ на основі власних двійкових кодів, були M. Schultz, E. Eskin, S. Stolfo та ін. У [22] були задіяні три різні способи сегрегації функцій (features), що їх несе виконуваний код:

- функції, вилучені з виконуваних переносних файлів (Portable Executable, PE, PE-section);
- рядки звичайного тексту (expressive plain-text strings), що кодуються у виконуваному файлі;
- функції послідовності байтів (byte sequence features).

Відомо, що чи не найнебезпечнішим є ШПЗ, яке вражає завантажувальні сектори зовнішніх носіїв інформації — DOS Boot Sector або Master Boot Record (MBR). Після ураження системи MBR зазвичай руйнується і модифікується для докорінної зміни порядку завантаження комп'ютерної системи. Першими, хто спромігся використати N-Gram як функції для виявлення подібного ШПЗ, були J. Tesauo, Jeffrey O. Kerhart та ін. У [23] вони використовували N-грами для виявлення вірусів, які вражали завантажувальний сектор (Boot Sector Viruses). В якості основного інструментарію дослідники застосували штучні нейронні мережі (Artificial Neural Networks – ANN). N-Grams вибиралися з найбільш уживаних ділянок як шкідливих, так і безпечних (“доброякісних”) виконуваних файлів. Учені використовували спеціальний алгоритм зменшення специфічних можливостей функцій (feature reduction algorithm). Принцип роботи останнього ґрунтувався на припущенні про те, що кожна зловмисна програма повинна складатися щонайменше з чотирьох N-грам, які входять довідомого набору N-грам.

У подальших дослідженнях, описаних в [24], J. Tesauo та ін. використовували N-Grams для

побудови декількох класифікаторів на основі ANN та спеціальної стратегії голосування (voting strategy) для досягнення кінцевих результатів (and also used a specific voting strategy to achieve final results.).

Цікаві результати у плані виявлення шкідливих програм дала спроба поєднати фреймворк, який використовує метод загальних N-Gram (Common N-Gram), з класифікатором K-Nearest-Neighbour (KNN), описана Abou-Assaleh зі співаторами в [25]. Для обох класів, тобто зловмисних і доброякісних програм, будувався профіль “делегатів”. Кожний новий екземпляр (нова програма) порівнювався з профілями обох класів і класифікувався за подібністю до того чи іншого класу.

Kotler і Maloof [26] використовували байт N-грами для виявлення невідомих шкідливих програм. Хоча вектор функцій N-Gram був двійковим, проте все одно давав можливість детектувати наявність або констатувати відсутність у препарованому файлі шуканих функцій. У своєму попередньому дослідженні Kotler і Maloof [27] вже класифікували ШПЗ на кілька сімейств, долучаючи до цього функції відповідного корисного навантаження. При цьому дослідники намагались максимізувати здатність виявляти шкідливі коди, спираючись на дати створення та призначення файлів.

T. J. Cai DM, M. Gokhale [28] провели кілька експериментів, в яких вони оцінювали суміші семи методів вибору ознак, трьох класифікаторів і розміру байтів N-Gram. Кожний з розглянутих вище евристичних підходів та методів показав свої переваги та недоліки. Для наочності зберемо їх до таблиці 2.

Таблиця 2

Порівняння евристичних методів класифікації ШПЗ [10]

Метод	Переваги	Недоліки
N-грами	Висока точність виявлення ШПЗ. Низький коефіцієнт помилкового розпізнавання (Low false positive ratio).	Великий час виконання
Опкоди (OpCode)	Виявляє заплутані варіанти шкідливих програм. Виявляє метаморфічні ШПЗ. Виявляє невідомі ШПЗ.	Потребує великої кількості виконуваних файлів для кожного з класів (ШПЗ чи доброякісне ПЗ).
API	Виявляє поліморфні та невідомі шкідливі програми. Перевершує інші підходи класифікації як у відношенні виявлення, так і в точності. Виявляє ШПЗ перед його виконанням.	Великий набір створених правил для побудови класифікатора. Великі об'єми даних для порівняння

Для підвищення ефективності виявлення ШПЗ можна використовувати інші методи. Найбільшу цікавість, являють собою графи контролю потоків (CFG) та можливі комбінації розглянутих тут підходів. Всупереч тому, що вони залишилися поза межами нашого аналізу, вважатимемо їх дослідження напрямком для подальшої роботи. У цьому сенсі перспективним вважаємо і застосування можливостей штучного інтелекту.

Висновки

Таким чином, у даній роботі нами розглянуто динаміку розвитку ШПЗ, а також здійснено огляд ряду методів виявлення програм, які можуть становити загрозу для комп'ютерних систем. Нами коротко проаналізовано сигнатурні та поведінкові підходи. Окреслено недоліки існуючого методологічного апарату. Основну увагу приділено евристичним методам на основі викликів API, N-грам та опкодів. Визначено шляхи подальших досліджень у напрямі комплексування досліджених методів з графами контролю потоків (CFG) та використання методів штучного інтелекту.

References

1. Al-khatib A. A., Hammood W. A. Mobile Malware and Defending Systems, Comparison Study. Journal of Electronics and Information Engineering, 2017, Vol. 6, No. 2. pp. 116–123.
2. Beek C., Dunton T. Advanced Data-Stealing Implants GhostSecret and Bankshot Have Global Reach and Implications. McAfee Labs Threats Report, June 2018. pp. 1–27.
3. Beek C., Castillo C. McAfee Global Threat Intelligence analyzed, on average, 1,800,000 URLs, 800,000 files, and another 200,000 files in a sandbox each day in Q2. McAfee Labs Threats Report, September. 2018. pp. 1–21.
4. Kujawa A., A. Kujawa Cybercrime tactics and techniques: Q1 2018 [Electronic resource]. Cybercrime tactics and technique, 2018. Available at: <https://www.malwarebytes.com/pdf/white-papers/CTNT-Q1-2018.pdf> (last access: 26.02.2020).
5. Cohen F., Cohen F. Computer Viruses, dissertation [Electronic resource]. A Dissertation Presented to the FACULTY OF THE GRADUATE SCHOOL UNIVERSITY OF SOUTHERN CALIFORNIA In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree DOCTOR OF PHILOSOPHY Electrical Engineering January 1986. Available at: <http://all.net/books/Dissertation.pdf> (last access: 26.02.2020).
6. Szor P., Szor P. The Art of Computer: Virus Research and Defence. [Electronic resource]. Addison Wesley for Symantec Press, New Jersey, vol. 2005. pp. 283–290 Available at: <http://index->

- of.es/Viruses/T/The%20Art%20of%20Computer%20Virus%20Research%20and%20Defense.pdf (last access: 26.02.2020).
7. Saurabh R., Wilson N., Vaderia S., Panigrakhi R. Decentralised firewall for malware detection [Electronic resource], 2016. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8318755> (last access: 26.02.2020).
 8. Siddiqui M., Wang M. C., Lee J., A Survey of Data Mining Techniques for Malware Detection using File Features [Electronic resource], 2008. Available at: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/1593105.1593239> (last access: 26.02.2020).
 9. You I., Yim K. Malware Obfuscation Techniques: A Brief Survey [Electronic resource]. In: International Conference on Broadband, Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA), Fukuoka, Japan, 2010. Available at: https://www.researchgate.net/publication/221420990_Malware_Obfuscation_Techniques_A_Brief_Survey (last access: 26.02.2020).
 10. Bazrafshan Z., Hashemi H., Hazrati Fard S. M., Hamzeh A. A Survey on Heuristic Malware Detection Techniques [Electronic resource], 2013. Available at: https://www.researchgate.net/publication/260729684_A_survey_on_heuristic_malware_detection_techniques (last access: 26.02.2020).
 11. Hofmeyr S., Forrest S., Somayaji A. Intrusion detection using sequences of system calls. *Journal of Computer Security*, 1998, pp. 151–180.
 12. Ye Y., Wang D., Li T., Ye D. IMDS: Intelligent malware detection system. *Proc. ACM Int. Conf. Knowl. Discovery Data Mining*, 2007. pp. 1043–1047.
 13. Jeong K., Lee H. Code graph for malware detection. In *Information Networking. ICOIN*. In: International Conference on, Jan 2008, p. 679
 14. Ye Y., Li T., Huang K., Jiang Q. and Chen Y. Hierarchical associative classifier (HAC) for malware detection from the large and imbalanced gray list. *Journal of Intelligent Information Systems*, 2008, vol. 3, pp. 1–20.
 15. Bilar D. OpCodes as predictor for malware. *International Journal of Electronic Security and Digital Forensics*, 2007, vol. 1, No 2, p. 156.
 16. Santos I., Brezo F., Ugarte-Pedrero X., Bringas P. G. OpCode sequences as representation of executables for data-mining-based unknown malware detection. *Information Sciences*, Aug. 2011.
 17. Santos I., Laorden C., and Bringas P. Collective classification for unknown malware detection. *Proceedings of the 6th ACM Symposium on Information, Computer and Communications Security*, 2011.
 18. Santos I., Brezo F., Sanz B., Laorden C., Bringas P. G. Using opCode sequences in single-class learning to detect unknown malware. *IET Information Security*, 2011, vol. 5, No 4, p. 220.
 19. Santos I., Sanz B., Laorden C. OpCode-sequence-based semisupervised unknown malware detection. *Computational Intelligence in Security for Information Systems*, 2011.
 20. Runwal N., Low R. M., Stamp M. OpCode graph similarity and metamorphic detection. *Journal in Computer Virology*, Apr. 2012, vol. 8, No 1–2, pp. 37–52.
 21. Cercone N. T., Keß N., Sweidan R. Abou-assaleh. N-gram-based Detection of New Malicious Code, 2004, No. 1.
 22. Bazrafshan Z., Hashemi H., Hazrati Fard S. M., Hamzeh A. A Survey on Heuristic Malware Detection Techniques [Electronic resource]. Available at: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.530.8584&rep=rep1&type=pdf> (last access: 26.02.2020).
 23. Schultz M., Eskin E., Zadok E., Stolfo S. Data mining methods for detection of new malicious executables. In *IEEE Symposium on Security and Privacy*, 2001. IEEE COMPUTER SOCIETY, pp. 38–49.
 24. Gerald G. B. S., Tesauro J., Kephart J. O. Neural Network for Computer Virus Recognition. *IEEE Expert*, 1996.
 25. Tesauro W. A., Tesauro G. Automatically Generated Win32 Heuristic Virus Detection. *Virus Bulletin Conference*, 2000.
 26. Santos I., Brezo F., Sanz B., Laorden C., Bringas P. G. Using opCode sequences in single-class learning to detect unknown malware. *IET Information Security*, 2011, vol. 5, No. 4, p. 220.
 27. Kolter M. M. Learning to detect malicious executables in the wild. *JZ In roc of the 10th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 2006.
 28. Wild. J. Z., Kolter, M. A. Maloof Learning to Detect and Classify Malicious Executables in the, 2006, vol. 7, pp. 2721–2744.
 29. Cai T. J., DM, Gokhale M. Comparison of feature selection and classification algorithms in identifying malicious executables. In *Computational Statistics and Data Analysis*, 2007.

Рецензія/Peer review : 11.5.2020 р.

Надрукована/Printed : 16.6.2020 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

Л.Б. ЛІЩИНСЬКА

Вінницький торговельно-економічний інститут
Київського національного торговельно-економічного університету

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РАДІОЧАСТОТНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ В ІНТЕРНЕТІ РЕЧЕЙ

У роботі показано, що технологія RFID є найбільш придатною технологією для взаємодії з фізичними речами або їх відстеження під час реалізації Інтернету речей. Використання RFID-міток позитивно позначається на економії енергії: пристрою не потрібно відправляти дані про себе, зчитувач отримує всю необхідну інформацію з RFID-мітки, розташованої на корпусі. До мітки можна записати службову інформацію про функціонування пристрою або мережеву адресу. У сучасних радіочастотних мітках достатньо місця для зберігання інформації про мережеву адресу. Це особливо актуально з поступовим переходом від протоколу IPv4 на IPv6. Використання RFID-ідентифікації позитивно позначається на зручності зчитування. На відміну від QR-коду і штрих-коду, при роботі з RFID-мітками немає необхідності у точному позиціонуванні мітки: достатньо знаходитись у межах роботи пристрою запису і зчитування на відстані. Наведена загальна характеристика RFID-пристроїв, формулювання вимог до них, обґрунтування узагальненої структури RFID-пристрою, визначення робочих діапазонів частот.

Ключові слова: Інтернет речей, RFID-мітки, радіочастотні датчики

L.B. LISHCHYNSKA

Vinnytsia Trade and Economics Institute of Kyiv National Trade and Economics University

FEATURES OF THE USE OF RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION ON THE INTERNET OF THINGS

The paper shows that RFID technology is the most suitable technology for interacting with or tracking physical objects on the Internet of Things. The use of RFID tags has a positive effect on energy savings: the device does not need to send data about itself, the reader will receive all the necessary information from the RFID tag located on the body. You can record service information about the device's operation or network address. Modern RF tags have enough space to store network address information. This is especially true with the gradual transition from IPv4 to IPv6. The use of RFID identification has a positive effect on readability. Unlike QR code and bar code, when working with RFID tags there is no need for precise positioning of the tag: it is enough to be within the range of the recording and reading device at a distance. The general characteristics of RFID-devices, the formulation of requirements for them, the justification of the generalized structure of the RFID-device, the definition of operating frequency ranges are given. The conducted analysis shows that passive and semi-active microwave sensors with practically unlimited lifetime have significant advantages in the implementation of RFID device. The main advantages of such RFID devices are: the readability of the information does not require direct visibility of the RFID device, so they can be located inside an unshielded object (ensuring its secrecy and preservation); high speed of information removal, which allows to poll up to 1000 sensors per second or to conduct a parallel poll of sensors; the ability to obtain information and make the necessary correction to the operation of the sensor at a considerable distance; durability (especially for passive and semi-active sensors); high degree of security, which is achieved by the ability to encrypt data in sensors with memory elements; resistance to the environment, since the sensor can always be placed in a protective polymer shell.

Key words: Internet of Things, RFID tags, radio frequency sensors

Постановка проблеми

В останні роки у галузі цифрових технологій отримав швидкий розвиток Інтернет речей (Internet of Things, IoT). IoT є сукупністю мереж міжмашинної комунікацій і систем зберігання/обробки великих даних, коли за рахунок підключення датчиків і актуаторів (виконавчих механізмів) до мережі відбувається цифровізація різноманітних процесів та об'єктів. Використання отриманих даних дозволяє здійснювати оптимізацію процесів та об'єктів на підставі нових алгоритмів, а зворотний зв'язок з актуатором дозволяє реалізовувати цю оптимізацію на практиці без суттєвих витрат. Фактично Інтернет речей через цифровізацію процесів та об'єктів дозволяє зменшити витрати і підвищити продуктивність праці практично у будь-якій галузі. В основі складних процесів трансформації економіки і звичайному житті людей лежить підключення пристроїв до будь-якої мережі, локальної чи Інтернет. При цьому, підключення більшості пристроїв реалізується за рахунок використання радіозв'язку.

Технологія радіочастотної ідентифікації (RFID) широко використовується у таких галузях, як транспорт і промисловість. Наприклад, технологія RFID може бути використана для відстеження і визначення місця розташування морських контейнерів, авіаційних вантажів, транспортних засобів, для відстеження різних товарів у межах підприємств або для інвентаризації складів. Також вона може бути використана в автомобільній промисловості для відстеження готових позицій у ланцюжку поставок запчастин і для відстеження конкретних деталей окремо в процесі виробництва. У зв'язку з перспективністю подальшого розвитку Інтернету речей, використання радіочастотної ідентифікації у його складі, різноманітним її реалізації, актуальною є проблема узагальнення основних понять і формування вимог до радіочастотних датчиків.

Мета дослідження

Метою роботи є загальна характеристика RFID-пристроїв, формулювання вимог до них, обґрунтування узагальненої структури RFID-пристрою, визначення робочих діапазонів частот.

Викладення основного матеріалу

Завдання, які вирішуються RFID-системами, можуть істотно відрізнятись. Відповідно модулі RFID залежать від потужності передавача і, відповідно, використовуюваного частотного діапазону.

RFID-пристрої працюють більш ніж у чотирьох основних частотних діапазонах, а саме:

- діапазон НЧ: зазвичай це смуга частот 125–134 кГц, цей тип RFID-пристроїв функціонує на дуже малій відстані (кілька см) і з низькою швидкістю передачі даних, що в основному зручно для автомобільних ідентифікаторів та ідентифікації тварин, і рідше для контактних карт контролю проходу на контрольно-пропускних пунктах (пропуску для персоналу);

- діапазон ВЧ: RFID-пристрої, що працюють з частотою 13,56 МГц, з дальністю дії до 1,5 м, що мають середню і високу швидкість передачі даних; цей тип RFID широко використовується для смарт-міток і смарт-карт для радіозв'язку ближнього поля (технологія NFC);

- діапазон УВЧ: зазвичай це смуга частот 865–868 МГц, яка забезпечує обладнання RFID цієї категорії дальність зв'язку до декількох метрів і більше, а також високу швидкість передачі даних; на побутовому рівні це дозволяє зчитувати сотні радіочастотних RFID міток одночасно, на сьогодні це тип RFID, який найбільш динамічно розвивається;

- діапазон НВЧ: діапазони частот 2,4 ГГц і 5 ГГц, які на міжнародному рівні визначені для безліцензійного використання промисловими, медичними і науковими високочастотними пристроями; цей вид RFID в основному призначений для обміну інформацією між активними радіочастотними мітками у реальному часі (наприклад, визначення місця розташування або збір оплати проїзду по платній автомагістралі).

Слід відзначити, що в діапазонах НЧ і ВЧ використовуються тільки пасивні радіочастотні мітки, у той час як у діапазонах УВЧ і НВЧ можливе використання як активних, так і пасивних міток. Найширше використання отримали RFID-пристрої, що являють собою різні комбінації первинних вимірювальних перетворювачів (ПВП) і схем генерації електромагнітних хвиль, які використовують різні види модуляції і діапазони частот [1–3]. Найбільш суттєвим питанням, яке у подальшому багато в чому визначає технічні параметри RFID-пристрою, є вибір технічних рішень для генератора: використання традиційних RC- і LC-генераторів на транзисторах або використання генераторів на базі негатронів [4].

Враховуючи, що зі зростанням частоти, ефективність більшості RFID-пристроїв зростає, перевагу доцільно віддавати схемам побудови генераторів на базі напівпровідникових негатронів [5], які мають можливість працювати на частотах у декілька десятків ГГц.

До них висуваються наступні вимоги: температурна стабільність; режимна стабільність; можливість режимної і температурної стабілізації; технологічність; висока гранична частота генерації; можливість електричного і механічного регулювання та підстроювання; незначна споживана потужність; низька напруга живлення; великий динамічний діапазон; незначні шуми. Залежно від специфіки вирішуваних завдань перелік цих вимог може бути розширений, але він є базовим для вибору найефективніших технічних рішень для більшості застосувань.

В основі роботи RFID-пристроїв [6] лежить принцип передачі даних, які записані на радіочастотну мітку (transponder – транспондер), розміщену на деякому віддаленні від зчитувального пристрою (reader – рідер). Відмінність полягає лише у тому, що у цьому використанні повинна передаватися не фіксована, раніше записана інформація, а динамічна інформація про стан об'єкту. Проте, як і транспондери, RFID-пристрої можна поділити на: активні (із вбудованим джерелом живлення); напівактивні (отримують живлення від енергії, яка наведена на RFID-пристрій зчитувачем); пасивні (не вимагають для роботи енергії джерела живлення і використовують модуляцію віддзеркаленого сигналу).

Дальність зчитування інформації залежить від багатьох чинників: активний або пасивний RFID-пристрій; потужність опромінення RFID-пристрою; частотний діапазон, у якому працює система. Зазвичай, чим вище частота, тим більше дальність і роздільна здатність РЧД.

Від початку масового впровадження RFID-технології, ціна виробництва міток значно знизилася і продовжує далі зменшуватись. Різниця у вартості придбання радіочастотних міток і друку штрих-кодів вже практично немає, але економічна перевага RFID-міток буде очевидною у тих галузях, де важлива швидкість роботи зі зчитуваними даними.

Тому серед перспективних рішень точної ідентифікації пристроїв і захистом від копіювання можна виділити: постійний перезапис службового поля даних при кожному зверненні до пристрою, результат запису формується за закритим ключем, який відомий буде тільки тій групі пристроїв запису і зчитування, яка буде займатися зчитування міток; такий спосіб не вирішує проблему копіювання RFID-мітки, але дозволяє виявити пристрій, яке було скопійовано або змінено; використання RFID-міток з унікальним ID, що є апаратним рішенням від копіювання. Найбільш ефективним рішенням забезпечення унікальної ідентифікації за допомогою RFID-міток є комбінація різних способів захисту даних від копіювання. Комбінація різноманітних рішень дозволяє значно збільшити унікальність ідентифікації і забезпечує базовий контроль доступу до даних.

Пристрої NFC здатні приймати і передавати дані одночасно, що дозволяє контролювати радіочастотне поле і виявляти невідповідності при обміні даними. У таблиці 1 наводиться порівняння двох технологій радіочастотної ідентифікації: RFID і NFC.

Порівняння технологій радіочастотної ідентифікації: RFID і NFC [7]

Характеристики технології	RFID	NFC
Діяльність сигналу	До 20 м	До 20 см
Двостороння зв'язок	Вкрай обмежений, залежить від моделі мітки	Можливий
Взаємодія з пристроями	Обмежено пасивною поведінкою RFID-мітки	Використовується NFC-сумісними пристроями (мобільні телефони, планшети) для передачі даних/емуляції RFID
Обсяг передачі даних	Обмежено пам'яттю	Залежить від використовуваного пристрою
Шифрування	Відсутнє	Рівень шифрування залежить від обчислювальної потужності IoT-пристрою

З огляду на обмежену обчислювальну потужність пристроїв Інтернету речей, необхідність збільшення тривалості роботи за рахунок економії споживання енергії, бажано використовувати прості і компактні методи ідентифікації.

Серед апаратних рішень основне положення займає саме технології радіочастотної ідентифікації.

NFC в зв'язці з сумісним пристроєм є більш гнучким інструментом для реалізації унікальної ідентифікації IoT-пристроїв у порівнянні з технологією RFID. RFID дешевше, ніж NFC і рекомендується до використання у тих системах, де охорона безпеки даних не є критично важливою.

Висновки

Різноманітні визначення Інтернету речей у кінцевому підсумку зводяться до інтеграції фізичних речей з цифровим світом Інтернету. Технологія RFID є найбільш придатною технологією для взаємодії з фізичними речами або їх відстеження. Використання RFID-міток позитивно позначається на економії енергії: пристрою не потрібно відправляти дані про себе, зчитувач отримує всю необхідну інформацію з RFID-мітки, розташованої на корпусі. До мітки можна записати службову інформацію про функціонування пристрою або мережеву адресу. В сучасних радіочастотних мітках достатньо місця для зберігання інформації про мережеву адресу. Це особливо актуально з поступовим переходом від протоколу IPv4 на IPv6. Використання RFID-ідентифікації позитивно позначається на зручності зчитування. На відміну від QR-коду і штрих-коду, в ході роботи з RFID-мітками немає необхідності у точному позиціонуванні мітки: достатньо знаходитись у межах роботи пристрою запису і зчитування на відстані.

Проведений аналіз показує, що при реалізації RFID-пристрою суттєві переваги мають пасивні і напівактивні датчики НВЧ діапазону, які мають практично необмежений час експлуатації. Основними перевагами таких RFID-пристроїв є: для зчитування інформації не потрібна пряма видимість RFID-пристрою, тому вони можуть розташовуватися усередині не екранованого об'єкту (забезпечуючи його потаємність і збереження); висока швидкість зняття інформації, що дозволяє опитувати до 1000 датчиків у секунду або здійснювати паралельне опитування датчиків; можливість отримання інформації і внесення необхідної корекції у роботу датчика на значному віддаленні; довговічність (особливо для пасивних і напівактивних датчиків); високий ступінь безпеки, що досягається можливістю шифрування даних у датчиках з елементами пам'яті; стійкість до дії докільця, оскільки датчик завжди можна помістити у захисну полімерну оболонку.

Література

1. Lishchinska L.B. Negatron-based inductive sensors / L.B. Lishchinska, S.V. Miroshnikova, M.V. Varaban, N.A. Filinyuk // Вісник Черкаського державного технічного університету. – 2009. – Спецвип. С. 60–62.
2. Ліщинська Л.Б. Інформаційні пристрої і системи на узагальнених перетворювачах імітансу / Л.Б. Ліщинська // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2015. – № 4 (226). – С. 132–134.
3. Ліщинська Л.Б. Генераторні сенсори на базі негатронів / Л.Б. Ліщинська, С.В. Мірошникова, М.А. Філінюк // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2009. – № 2(18). – С. 186–194.
4. Ліщинська Л.Б. Радіочастотні датчики дистанційного контролю стану об'єкту / Л.Б. Ліщинська // Sensor Electronics and Microsystem Technologies. – 2010. – Vol.1(7). № 4. – С. 27–36.
5. Філінюк М.А. Основи негатроніки. Том 1. Теоретичні і фізичні основи негатроніки : монографія. / Філінюк М.А. – Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2006. – 456 с.
6. RFID-технологія радіочастотної ідентифікації. URL: [http:// www.datakrat.ru/tehnologii_3.html](http://www.datakrat.ru/tehnologii_3.html)
7. Воеводин Ю.В. Обзор уникальных аппаратно-программных параметров различных технологий Интернета вещей / Ю.В. Воеводин, Р.В. Киричек // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2015. – Вып. 4(12). – С. 40-47.

References

1. Lishchinska L.B., Miroshnikova S.V., Baraban M.V., Filinyuk N.A. Negatron-based inductive sensors. *Visnik Cherkaskogo derzhavnogo tehnicnogo universitetu*. 2009. Spetsvip. pp. 60–62.
2. Lishchynskaya L.B. Information systems and devices based on generalized converter immitance. *Herald of Khelnytskyi National University*. 2015. Volume 226. Issue 4. Part 1. pp. 132–134.
3. Lishchynska L.B., Miroshnikova S.V., Filinyuk M.A. Generatorni sensori na bazi negatroniv. *Optiko–elektronni informatsiyno–energetichni tehnologiyi*. 2009. Issue 2(18). pp. 186–194.
4. Lishchynskaya L.B. Radio frequency sensors of the controlled from distance control of the state of object. *Sensor Electronics and Microsystem Technologies*. 2010. Vol.1(7). №4. C. 27–36.
5. Filinyuk M.A. *Osnovi negatroniki. Tom 1. Teoretichni practuchni osnovu negatroniki: MonografIya*. Vinnitsya: UNIVERSUM–Vinnitsya, 2006. 456 p.
6. RFID-tehnologiya radiochastotnoy identifikatsii. URL: [http:// www.datakrat.ru/tehnologii_3.html](http://www.datakrat.ru/tehnologii_3.html)
7. Voevodin Yu.V., Kirichek R.V. *Obzor unikalnyih apparatno-programmnyih parametrov razlichnyih tehnologiy Interneta veschey. Informatsionnyie tehnologii i telekommunikatsii*. 2015. Vol. 4(12). pp. 40-47.

Рецензія/Peer review : 17.4.2020 р.

Надрукована/Printed : 16.6.2020 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

О.В. МАЗУРЕЦЬ, Т.К. СКРИПНИК, В.А. ЖИТНЯКІВСЬКИЙ
Хмельницький національний університет

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИЗНАЧЕННЯ КЛЮЧОВИХ СЛІВ У ПОВІДОМЛЕННЯХ ДЛЯ СОЦІАЛЬНИХ МЕРЕЖ

У статті розглянуто інформаційну технологію автоматизованого визначення ключових слів у текстових повідомленнях для соціальних мереж, яка проводить аналіз текстового повідомлення із використанням методів оцінки TFIDF, дисперсійної оцінки та оцінки TFIDF з використанням NLP. Розроблена інформаційна технологія автоматизованого визначення ключових слів була реалізована в тестовому програмному продукті, який відтворює роботу соціальної мережі. Вхідними даними для системи є текстове повідомлення із цифровим текстом, а вихідними даними є текстове повідомлення з множиною ключових термінів. Під час розробки соціально орієнтованого сервісу для спілкування за інтересами на платформі IOS, відповідно до визначених функцій, виділено наступні групи користувачів: зареєстрований користувач, адміністратор соціальної мережі, незареєстрований користувач. За допомогою розробленого тестового програмного забезпечення були проведені дослідження, що підтвердили можливість ефективно автоматизовано визначення множини ключових слів у текстових повідомленнях з показниками точності для методу оцінки TFIDF – 27,1% та методу дисперсійної оцінки – 45,5%, методу оцінки TFIDF з NLP 88,3%. Перевагами розробленої інформаційної технології автоматизованого визначення ключових слів у текстових повідомленнях для соціальних мереж, яка проводить аналіз текстового повідомлення із використанням методів оцінки TFIDF, дисперсійної оцінки та оцінки TFIDF з використанням NLP, є відсутність необхідності використання лексичних баз даних корпусів слів, суттєве прискорення швидкодії, можливість використання для текстів на різних мовах, можливість використання для текстів з кількома мовами. Дана інформаційна технологія може бути ефективно використана для аналізу текстових повідомлень із невідомими властивостями тематики та мови.

Ключові слова: текстові повідомлення, оцінка TFIDF з використанням NLP, ключові слова.

O. MAZURETS, T. SKRYPNYK, V. ZHYTNIKIVSKYI
Khmelnytskyi National University

INFORMATION TECHNOLOGY FOR AUTOMATED DETERMINATION OF KEYWORDS IN MESSAGES FOR SOCIAL NETWORKS

The article discusses automated keyword definition in text messaging for social networks that analyzes text message using the methods of TFIDF estimation, variance estimation, and TFIDF estimation using NLP. The developed automated keyword definition information technology was implemented in the test software. The input data of the system is a text message with digital text, and the output data is a text message with a set of key terms. In developing a socially-oriented interest-based communication service on the iOS platform, according to the defined functions, the following groups of users are identified: registered user, social network administrator, unregistered user. A registered user works with the system via the IOS Mobile App - this group includes users who are logged in and have access to photo and video messaging, location sharing, search for other users, viewing other users' news feeds, commenting on news from others users, create their own news feed, view their own news feed, and track other users' news. The social network administrator works with the system through a browser interface on an arbitrary platform - this group includes users whose function is to backup the database, view the news feed of any user, edit all spreadsheets, exchange messages, lock the user and password reset. The unregistered user only has the option to register. With the help of the developed test software, studies were carried out, which confirmed the possibility of effectively automated determination of a set of keywords in text messages with accuracy indicators for the TFIDF estimation method – 27,1% and the dispersive estimation method – 45,5%, the TFIDF estimation method with NLP 88,3%. Advantages of the developed information technology of automated definition of keywords in text messages for social networks, which conducts the analysis of text message using the methods: TFIDF estimation, variance estimation and TFIDF estimation using NLP, there is no need to use lexical databases of corpora of words, significant acceleration possibility to use for texts in different languages, possibility to use for texts with several languages. This information technology can be effectively used to analyze text messages with unknown subject and language properties.

Keywords: text messages, TFIDF estimates using NLP, keywords.

Постановка проблеми в загальному вигляді

За останні роки використання мережі Інтернет значно зросло, збільшивши кількість постійних користувачів. Можливості всесвітньої мережі широко використовуються у різних сферах діяльності людини, а особливої популярності за останні роки здобули соціальні мережі [1]. Сьогодні соціальні мережі широко використовуються для особистого спілкування, ведення блогів, реклами та навіть ведення бізнесу. Майже кожна компанія, від маленьких стартап-проектів і невеликих крафтових виробництв до величезних корпорацій та лідерів індустрії, має свою сторінку у соціальній мережі. Соціальні мережі стали місцем спілкування та об'єднання людей за інтересами. Там, де є велике скупчення людей, є і великі обсяги неструктурованих даних.

Тому розробка спеціалізованих соціально орієнтованих сервісів, що можуть бути майданчиком для спілкування й взаємодії окремих груп людей та пошуку інформації за сферами їх інтересів та діяльності, є актуальною на сучасному етапі. В ході розробки такої системи варто орієнтуватися на мобільні платформи, оскільки вони набирають все більшої популярності, вже ставши невід'ємною частиною повсякденного життя багатьох людей. В соціальних сервісах для спілкування відправлення та обробка повідомлень є одними із найбільш важливих функцій, тому пошук ключових слів в текстових повідомленнях та новинах соціальної мережі є актуальним.

Аналіз останніх досліджень

На даний час актуальним залишається питання визначення важливих структурних елементів тексту, що виявляються інформаційно-значущими, визначають інформаційну структуру. Використання таких елементів дозволяє формувати тезауруси, пошукові образи документів, онтології. Ключові слова – розряд високочастотної автосемантичної лексики тексту, яка складає його семантичне ядро на лексичному рівні і виступає як вектор інтерпретації тексту. Ключові слова для пошуку в тексті, опорні слова для автоматичного екстрагування значущих фрагментів текстів чи формування автоматичних рефератів, обираються з урахуванням такої властивості слів, як «дискримінантна сила». Однак, незважаючи на досить велику кількість досліджень, щоб автоматично завантажувати ключових слів є проблемою, яка донині остаточно не вирішена.

Для автоматизації пошуку ключових слів використовуються різноманітні методи аналізу текстів, таких як частотна оцінка TF, оцінка TFIDF й дисперсійна оцінка. Ці методи дозволяють співставити окремим словам чи словосполученням тексту деякі певним чином поставлені в відповідність числові вагові значення, що вказують на міру їх важливості у досліджуваному тексті. Статистичні методи пошуку ключових слів ґрунтуються на численних даних про частоту зустрічі слова в тексті. У літературі відзначається, що перевагами статистичних методів є відсутність необхідності у трудомістких процедурах побудови лінгвістичних баз знань, простота реалізації, універсальність алгоритмів вилучення ключових слів [2]. Але статистичні методи часто не забезпечують достатньої якості результатів. У ряді робіт наводяться результати досліджень, згідно яким метод дисперсійного оцінювання дозволяє одержувати найбільш релевантну множину ключових термінів у цифрових текстах [3, 4]. Є й інші статистичні підходи для виділення термінологічних сполучень. Наприклад, один з варіантів полягає в знаходженні n -слівних поєднань за заданими частотними характеристиками. Це можуть бути значення абсолютних або відносних частот для даних словосполучень чи значення деякої статистичної міри, згідно із якою дана конструкція була знайдена і видана серед результатів.

Постановка задачі

Мета роботи полягає в розробці інформаційної технології семантичного аналізу текстових повідомлень, яка поєднує результати пошуку ключових термінів ефективними методами (TF-IDF, дисперсійного оцінювання та TFIDF з NLP), і програмній реалізації відповідної тестової інформаційної системи для дослідження практичної ефективності розробленої інформаційної технології.

Викладення основних матеріалів дослідження

Клас обробки природних мов NSLinguisticTagger (NLP) [5] у IOS SDK є інструментом штучного інтелекту та обчислювальної лінгвістики, що стосується взаємодії між комп'ютерами та людськими природними мовами. NPL пов'язана з областю взаємодії людини з комп'ютером і здатністю комп'ютерної програми розуміти людську мову. Клас NSL доступний як в Swift, так і в Objective-C, використовується для аналізу тексту природною мовою для позначення частин мови і лексичного класу, визначення імен, виконання лематизації і визначення мови й сценарію.

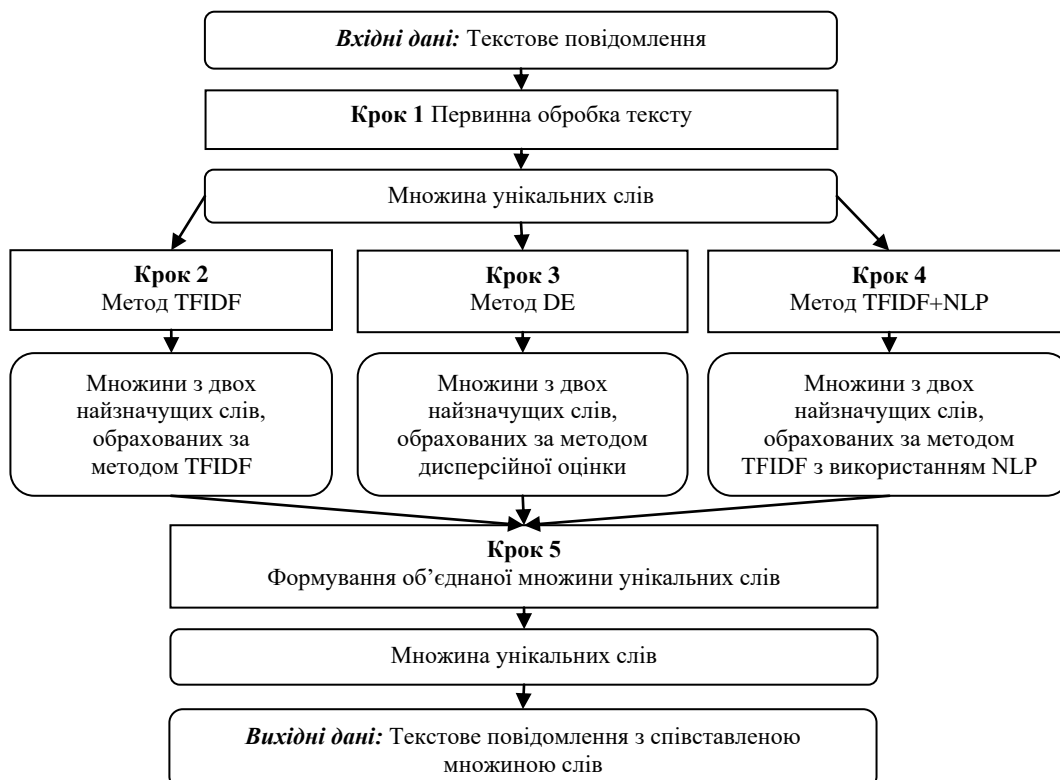


Рис. 1. Загальна схема інформаційної технології

Обробки природних мов з використанням NLP розпочинається з концепції «токенізації», тобто сегментування тексту в певну одиницю, яка може бути абзацом, реченням або словом. «Токенізація» дозволяє виконувати інші завдання, зокрема:

- розпізнавання домінуючої мови;
- частинну ідентифікацію мови – визначення того, чи може конкретне слово бути іменником або дієсловом тощо;
- лематизацію – визначення початкової кореневої форми слова;
- розпізнавання сутності назв – визначення того, чи відповідає слово чи набір слів людині, організації чи компанії або, можливо, місцезнаходженню.

Схему інформаційної технології автоматизованого пошуку ключових слів у текстових повідомленнях для соціальних мереж зображено на рис. 1. На початку виконання інформаційної технології вхідні дані отримують у вигляді текстового повідомлення, після чого виконується первинна обробка тексту (Крок 1). На даному етапі текст позбавляється розділових знаків та інших символів, формується загальна множина слів, після чого формується множина унікальних слів, обраховується кількість унікальних слів та кількість появ кожного слова в текстовому документі, також обраховується загальна кількість текстових документів, в яких дане слово зустрічається. На наступному етапі обраховується оцінка методом TFIDF (Крок 2). За допомогою сортування отримують два слова з найбільшою оцінкою.

На наступному етапі оцінки важливості слова застосовується метод TFIDF з використанням NLP (Крок 4). Даний метод відрізняється від класичного TFIDF тим, що спершу за допомогою фреймворка Apple NLP видаляються стоп-слова.

Схема методу TDIDF з використанням NLP, який в інформаційній технології викликає найбільшу цікавість [6] – рис. 2. На початковому етапі виконується частинна ідентифікація мови, відбувається визначення належності кожного слова певній частині мови (Крок 1). Також відбувається видалення тих частин мови, які не несуть важливого значення, після чого отримують множину унікальних слів.

Під час виконання наступного кроку відбувається приведення кожного слова до початкової кореневої форми, за допомогою чого вдається позбутись повторювання слів (Крок 2). Також на даному етапі відбувається видалення слів, які повторюються. На наступному етапі відбувається видалення загальновідомих слів: відомих персон, назв об'єктів тощо (Крок 3).

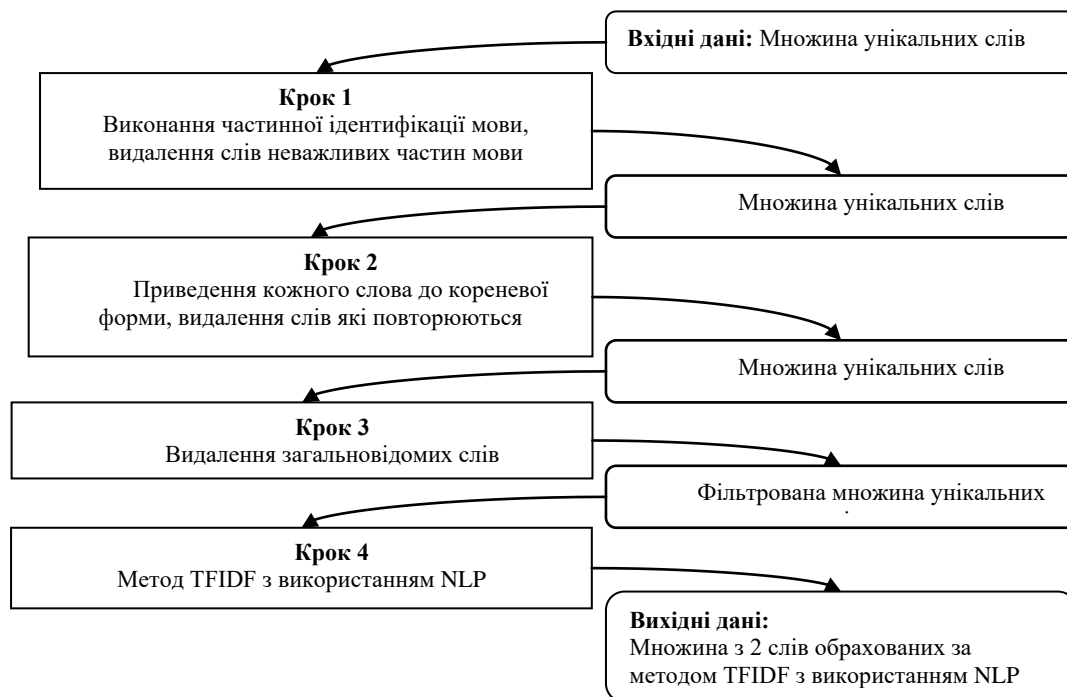


Рис. 2. Схема методу TDIDF+NLP

Наступним етапом є обрахування важливості термінів методом TDIDF. За допомогою фреймворка NLP відкидаються другорядні частини мови, всі слова приводяться до називного відмінку, а також відкидаються відомі назви, імена та об'єкти. Наступні дії відбуваються по аналогії з Кроком 2. Вихідними даними методу є множина з двох слів, обрахованих за методом TFIDF+NLP.

Дослідження ефективності інформаційної технології

Розроблена інформаційна технологія автоматизованого визначення ключових слів у текстових повідомленнях для соціальних мереж була реалізована в тестовому програмному продукті, архітектурним шаблоном якого є MVP (Model View Presenter) [7], й який відтворює роботу соціальної мережі (рис. 3). Для дослідження, вхідними даними для системи є текстове повідомлення із цифровим текстом (рис. 4), а вихідними даними є текстове повідомлення з множиною ключових термінів, відповідних досліджуваному

текстову повідомленню (рис. 5). Для написання програмного продукту на платформі IOS було використано мову програмування Swift та використано розширення NSLinguisticTagger для видалення незначущих слів. При розробці соціально орієнтованого сервісу для спілкування по інтересах на платформі IOS, відповідно до визначених функцій, виділено наступні групи користувачів: зареєстрований користувач, адміністратор соціальної мережі, незареєстрований користувач.

За результатами застосування розробленого тестового програмного продукту, що виконаний на засадах розробленої інформаційної технології було виконано дослідження ефективності інформаційної технології автоматизованого визначення ключових слів у текстових повідомленнях для соціальних мереж.

В процесі обробки контенту три переліки ключових слів, отримані за відповідними методами (TDIDF, дисперсійна оцінка, TFIDF+NLP), обмежуються за кількісним порогом й формують множини B_1 , B_2 , B_3 . В подальшому ці множини порівнюються із множиною B_A , утвореною переліком ключових термінів, який сформовано автором. Перетин цих множин $B_k \cap B_A$ визначає ефективність відповідного методу k .

Максимальна область перетину авторського переліку зі сформованими автоматично переліками $B_k \cap B_A \rightarrow \max$ визначає найбільш ефективний метод автоматизації пошуку ключових семантичних термінів у текстових повідомленнях соціальних мереж.

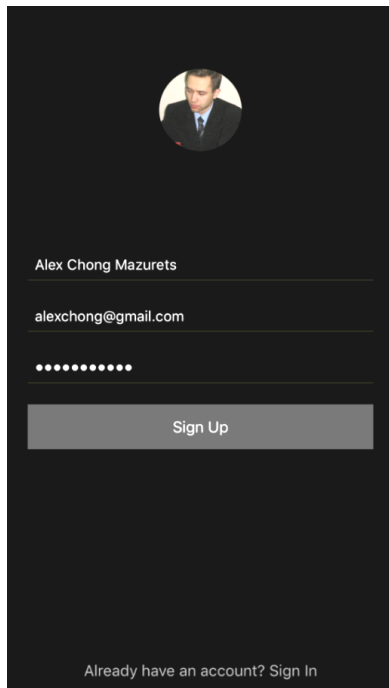


Рис. 3. Авторизація у соціальній мережі

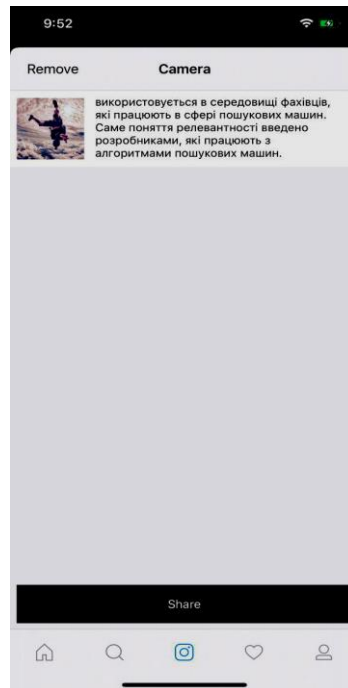


Рис. 4. Сторінка створення нового повідомлення



Рис. 5. Сторінка зі знайденими ключовими термінами

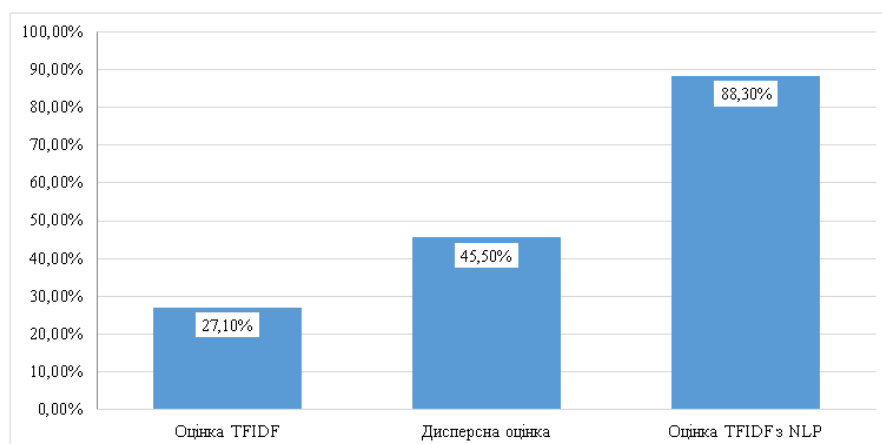


Рис. 6. Діаграма середньої ефективності методів пошуку ключових семантичних термінів у текстових повідомленнях соціальних мереж

Ефективність наведених методів пропонується визначати за наступною формулою:

$$E_k = \frac{N_{A_k}}{N_A} \cdot 100\% ,$$

де N_{A_k} – кількість термінів у авторському (B_A) та сформованому за k -м методом (B_k) переліками

термінів, що співпали ($B_k \cap B_A$); N_A – кількість термінів у переліку термінів B_k , сформованому експертом (автором).

В результаті тестування розробленим програмним забезпеченням отримують три переліки ключових термінів за відповідними методами аналізу та проводиться їх порівняння у сукупності з авторським переліком.

Загалом було досліджено 214 випадків й обраховано середню ефективність кожного із методів. Середня ефективність методу частотної оцінки склала 27,1%, методу дисперсної оцінки – 45,5% та методу TFIDF+NLP – 88,3% (рис. 6).

Отже, метод оцінки TFIDF з використанням NLP продемонстрував найвищу ефективність серед досліджуваних методів, показавши при цьому мінімальну ефективність 67,7%, максимальну – 100%.

Висновки

У статті розглянуто інформаційну технологію автоматизованого визначення ключових слів у текстових повідомленнях для соціальних мереж. При цьому використано розроблений метод TFIDF з NLP, що з використанням розширення NSLinguisticTagger дозволяє автоматизовано видаляти допоміжні та семантично незначущі слова, а також враховувати різні форми слів в одному документі.

Одержані результати дослідження ефективності інформаційної технології показали, що в переважній більшості випадків програмна система, виконана відповідно до запропонованої інформаційної технології автоматизованого визначення ключових слів у текстових повідомленнях, коректно виконала пошук ключових слів із середнім показником точності пошуку 88,3%

Література

1. Internet World Stats [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.internetworldstats.com/stats.htm>.
2. Мазурець О. В. Інформаційна технологія автоматизованого визначення семантичних термінів в елементах навчальних матеріалів / О. В. Мазурець // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2018. – № 3. – С. 223–230.
3. Ландэ Д. В. Компактифицированный горизонтальный граф видимости для сети слов / Д. В. Ландэ, А. А. Снарский // Труды Международной научной конференции «Интеллектуальный анализ информации ИАИ-2013. Знания и рассуждения». – Киев : КПИ, 2013. – С. 158–164.
4. Бармак О. В. Методи автоматизації визначення семантичних термінів у навчальних матеріалах / О. В. Бармак, О. В. Мазурець // Вісник Хмельницького національного університету. Сер.: Технічні науки. – 2015. – № 2(223). – С. 209–213.
5. Stanford NLP [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://nlp.stanford.edu/IR-book/html/htmledition/tokenization-1.html>.
6. Житняківський В. А. Інформаційна технологія автоматизованого визначення ключових слів у текстових повідомленнях для соціальних мереж / В. А. Житняківський, О. В. Мазурець // Збірник наукових праць за матеріалами XI всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2019». – Хмельницький, 2019. – Т. 1. – С. 89–93.
7. JetBrains AppCode [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.jetbrains.com/objc/?fromMenu>.

References

1. Internet World Stats [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://www.internetworldstats.com/stats.htm>.
2. Mazurets O. V. Informatsiina tekhnolohiia avtomatyzovanoho vyznachennia semantychnykh terminiv v elementakh navchalnykh materialiv / O. V. Mazurets // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2018. – № 3. – S. 223–230.
3. Lande D. V. Kompaktifirovannyj gorizontalnyj graf vidimosti dlya seti slov / D. V. Lande, A. A. Snarskij // Trudy Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «Intel'ktualnyj analiz informacii IAI-2013. Znaniya i rassuzhdeniya». – Kiev : KPI, 2013. – S. 158–164.
4. Barmak O. V. Metody avtomatyzatsii vyznachennia semantychnykh terminiv u navchalnykh materialakh / O. V. Barmak, O. V. Mazurets // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2015. – № 2(223). – S. 209–213.
5. Stanford NLP [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://nlp.stanford.edu/IR-book/html/htmledition/tokenization-1.html>.
6. Zhytniakivskiy V. A. Informatsiina tekhnolohiia avtomatyzovanoho vyznachennia kliuchovykh slov u tekstovykh povidomlenniakh dlia sotsialnykh merezh / V. A. Zhytniakivskiy, O. V. Mazurets // Zbiryk naukovykh prats za materialamy XI vseukrainskoi naukovopraktychnoi konferencii «Aktualni problemy kompiuternykh nauk APKN-2019». – Khmelnytskyi, 2019. – T. 1. – S. 89–93.
7. JetBrains AppCode [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://www.jetbrains.com/objc/?fromMenu>.

Рецензія/Peer review : 29.11.2019 р. Надрукована/Printed : 16.6.2020 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Сорокагий Р. В.

Н.К. МЕДВЕДЧУК, В.Ю. МЕДВЕДЧУК, І.Ю. САДОВИЙ
Хмельницький національний університет

ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ПРОЦЕСІ НАВЧАННЯ АГРОІНЖЕНЕРІВ

У статті висвітлено актуальність застосування інформаційних технологій як базових складових якості професійної підготовки фахівців та основи створення системи внутрішнього забезпечення якості у Хмельницькому національному університеті. Показано як в процесі підготовки фахівців з агроінженерії, зокрема в ході вивчення дисципліни «Вступ до спеціальності», студенти оволодівають знаннями, навчаючись дистанційно під час пандемії Covid-19.

Ключові слова: агроінженерія, спеціальність, вища освіта, дистанційне навчання, модульне середовище.

N.K. MEDVEDCHUK, V.Y. MEDVEDCHUK, I.Y. SADOVY
Khmelnytskyi National University

USE OF MODERN TECHNOLOGIES IN THE LEARNING PROCESS OF AGRICULTURAL ENGINEERS

The article highlights the relevance of the use of information technology as a basic component of the quality of professional training of specialists and the basis of creating a system of internal quality assurance at Khmelnytskyi National University. It is shown that in the course of preparation of specialists in agro - engineering, in particular in the study of the discipline "Introduction to the specialty", students acquire knowledge by studying remotely during the Covid-19 pandemic. Learning remotely during quarantine, with the help of modern information technology, the student has the opportunity to successfully implement their learning process to study the discipline "Introduction to the specialty", based on intensive communication with the teacher in video conferences ZOOM and Big Blue Button (Viber), performing practical (seminar) classes using the modular environment Moodle, which brings students to a higher level [1]. New tasks of today require a change in forms of education, revision of existing ideas about teaching methods, the practice of training sessions, the introduction of new technical means in the practice of full-time education. The aim is to provide students with knowledge and understanding of the subject area and understanding of the profession of agricultural engineer; learn to apply knowledge of agricultural engineering in practical situations; to master modern knowledge; be able to analyze and systematize scientific and technical information for the organization of agro-engineer logistics of agricultural production, organize work and provide administrative management of production units that provide technical support for agro-industrial production in accordance with the legal requirements for safety and health; analyze indicators of man-made and natural hazards, as well as plan and implement appropriate protective measures.

Keywords: agro-engineering, specialty, higher education, distance learning, modular environment.

Вступ

Успішна адаптація майбутніх спеціалістів передбачає в сучасних умовах швидко та самостійно орієнтуватися у виробництві та приймати правильні рішення. А тому якість отриманих знань випускників, їх компетенцій напряму залежить від отриманих ними практичних навиків під час навчання [2]. Метою курсу є надання студентам знань та розуміння предметної галузі та розуміння професії агроінженера; навчити застосовувати знання з агроінженерії у практичних ситуаціях; оволодівати сучасними знаннями; уміти аналізувати та систематизувати науково-технічну інформацію для організації агроінженером матеріально-технічного забезпечення аграрного виробництва, організувати роботу та забезпечувати адміністративне управління виробничими підрозділами, які здійснюють технічне забезпечення агропромислового виробництва відповідно до реалізації правових вимог безпеки життєдіяльності і охорони праці; аналізувати показники техногенних та природних небезпек, а також планувати і виконувати відповідні захисні заходи.

Виклад основного матеріалу

Використання сучасних освітніх технологій та компетентісно-орієнтованих завдань є засобами в реалізації навчання такої дисципліни, як «Вступ до спеціальності».

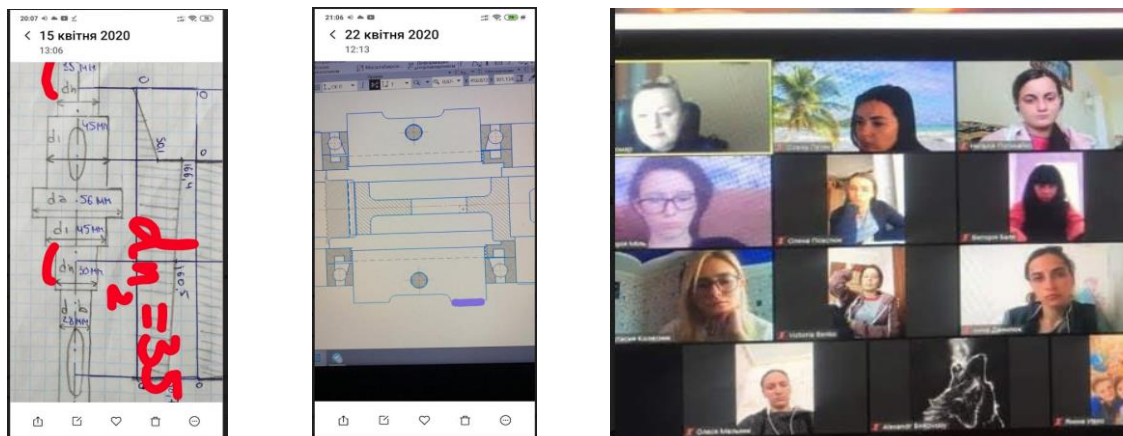


Рис. 1. Спілкування через Viber та ZOOM-конференцію

В теперішній час, в умовах пандемії Covid-19, особливо успішно використовується розроблений курс дисципліни в модульному середовищі Moodle [3], що сприяє високій самоорганізації студентів, більш активній самостійній роботі, опрацюванню більшої кількості додаткової літератури та умінню підсумовувати отримані знання. А тому дистанційне навчання йде в розрізі з класичним навчанням, де головну роль виконує викладач. Застосовуючи новітні інформаційні технології, такі як модульне середовище Moodle, відео-лекції, ZOOM-конференції, спілкування в Big Blue Button, Viber, вся відповідальність переноситься на свідомого студента, який вже сам контролює свій навчальний процес.

Студент, навчаючись самостійно, отримує доступ до навчальних матеріалів, які розміщені на сайті університету. На сторінці дисципліни «Вступ до спеціальності» (рис. 2) знаходяться завантажені не лише практичні завдання, контрольні роботи, а й робоча програма дисципліни, відомості про автора, опис, силабус дисципліни.

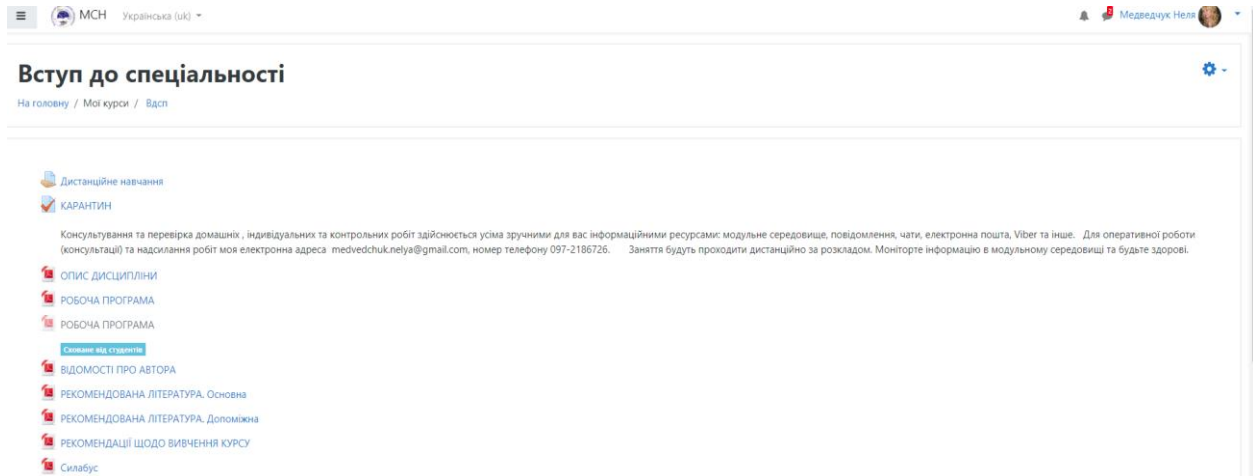


Рис. 2. Сторінка дисципліни



Рис. 3. Презентація студента

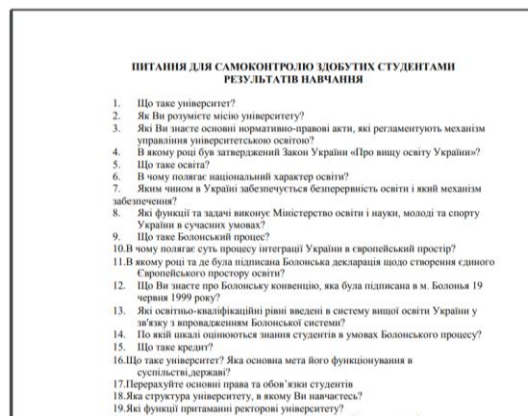


Рис. 4. Питання для самоконтролю

Метою самостійної роботи студентів є засвоєння навчальної програми у повному обсязі; формування у студентів навичок самостійного пошуку джерел, методів і способів їх опрацювання, а потім

оформлення їх у вигляді рефератів; набуття ними першого досвіду презентації власних робіт (рис. 3), оцінювання публічних виступів тощо.

Інформаційні технології дозволяють налагодити та стимулювати зворотний зв'язок, забезпечити діалог та постійну підтримку, які так необхідні студенту для більш тісного спілкування з викладачем, виконання робіт в будь-який зручний час та строго контрольованого виконання. Виконавши певний вид роботи (рис. 4), студент має можливість надіслати, а викладач перевірити, вказати на недоліки в повідомленні чи зарахувати отриману роботу в цьому ж модульному середовищі (рис. 5)

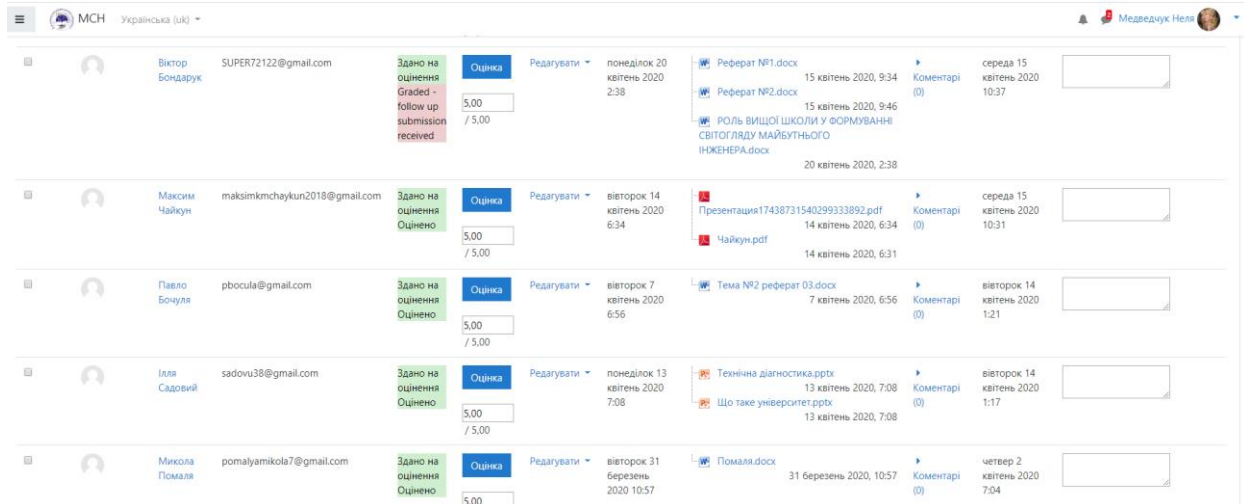


Рис. 5. Сторінка оцінювання робіт студентів

Весь курс дисципліни можна розглянути в робочій програмі, де вказані структура навчальної програми, зміст практичних (семінарських) занять, система оцінювання, питання для самоконтролю та список літератури.

Суттєвою допомогою для навчання студентів є надання матеріалів з практичних занять (рис. 6).

Нові задачі сьогодення вимагають зміни форм навчання, перегляду існуючих уявлень про методики викладання, практики проведення навчальних сесій, впровадження у практику денного навчання нових технічних засобів. Впровадження дистанційних технологій у навчання дозволяє забезпечити гнучкість, модульність, спеціалізований контроль якості навчання, використання інформаційних технологій та засобів навчання.

Перелік тем, що охоплюють зміст практичних занять дисципліни

Тема 1. Вступ. Система освіти в Україні. Організація науково-технічної інформації в Україні. Роль вищої школи у формуванні світогляду майбутнього інженера.

Тема 2. Студент і університет. Студентське самоврядування в університеті. Види навчальних занять в університеті Завдання та форми контролю (оцінювання) знань студентів. Семестровий контроль і критерії оцінювання знань студентів.

Тема 3. Система навчання і оцінювання в університеті. Організація навчального процесу в університеті, оцінювання знань студентів. Освітньо-професійна програма підготовки бакалавра машинобудування.

Тема 4. Розвиток сільськогосподарського виробництва. Задачі та основні напрямки розвитку сільськогосподарського виробництва. Сільське господарство і природа. Історія розвитку сільськогосподарських машин та науки про них. Система машин для комплексної механізації процесів в

Рис. 6. Сторінка з практичної роботи

Висновки

Таким чином, навчаючись дистанційно під час карантину, за допомогою сучасних інформаційних технологій, студент має можливість успішно реалізувати свій навчальний процес з вивчення дисципліни «Вступ до спеціальності», базуючись на інтенсивному спілкуванні з викладачем у відео-конференціях ZOOM та Big Blue Button (Viber), виконуючи практичні (семінарські) заняття за допомогою модульного середовища Moodle, що виводить навчання студентів на вищий рівень [1].

Література

1. Черновол М.І. Наукові та освітні проблеми сучасної агроінженерії / М.І. Черновол, М.О. Свірень, В.В. Адамчук, В.М. Булгаков // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : збірник наук. праць / ЦНТУ. – 2017. – Вип. 47, ч. 2. – С. 138–149.
2. Калетнік Г.М. Сучасний стан та перспективи кадрового і наукового забезпечення галузі механізації сільського господарства / Г.М. Калетнік, В.М. Булгаков // Механізація та електрифікація сільського господарства : міжвідомчий тематичний наук. зб. / Нац. наук. центр «ІМЕСГ» НААН України. – 2013. – Вип. 97. Т. I. – С. 24–36.
3. Модульне середовище ХНУ [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://msn.khnu.km.ua/>

References

1. Chernovol M.I. Naukovi ta osvitianski problemy suchasnoi ahroinzhenierii / M.I. Chernovol, M.O. Sviren, V.V. Adamchuk, V.M. Bulhakov // Konstruiuvannya, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia silskohospodarskykh mashyn : zbirnyk nauk. prats / TsNTU. – 2017. – Vyp. 47, ch. 2. – S. 138–149.
2. Kaletnik H.M. Suchasnyi stan ta perspektyvy kadrovoho i naukovooho zabezpechennia haluzi mekhanizatsii silskoho hospodarstva / H.M. Kaletnik, V.M. Bulhakov // Mekhanizatsiia ta elektryfikatsiia silskoho hospodarstva : mizhvidomchyi tematychnyi nauk. zb. / Nats. nauk. tsentr «IMESH» NAAN Ukrainy. – 2013. – Vyp. 97. T. I. – S. 24–36.
3. Modulne seredovyshche KhNU [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://msn.khnu.km.ua/>

Рецензія/Peer review : 25.4.2020 р.

Надрукована/Printed : 16.6.2020 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ МАЛОГАБАРИТНОЇ КАРТОПЛЕСАДЖАЛКИ У ВИРОБНИЧИХ УМОВАХ

В статті описана методика дослідження малогабаритної картоплесаджалки у виробничих умовах. Наводяться показники, необхідні для дослідження. Для підвищення продуктивності праці в господарствах використовують засоби малої механізації. Встановлено, що застосування засобів малої механізації (мотоблоків з набором знарядь) в господарствах обумовлено їх невеликими розмірами і дрібноконтурними ділянками. Картоплю, в основному, висаджують з шириною міжрядь 70 см. Однак, з переходом на енергонасичені трактори, спостерігається невідповідність ширини міжрядь і ширини коліс. Це призводить до ущільнення ґрунту, зменшення площі живлення рослин, збільшення кількості грудок в ґрунті. Встановлено, що на посадках з широкими міжряддями створюються кращі умови для реалізації потенційної продуктивності картоплі інтенсивних сортів, зменшується щільність ґрунту в зоні кущів картоплі, підвищується товарність, бульбою створюється більш оптимальна вологість повітря, тому ураження рослин фітофторозом знижується. Визначено, що урожай картоплі на 90–95% формується за рахунок фотосинтезу, тому площа асиміляційної поверхні листя – один з основних показників, що характеризує стан посадок. При розширенні міжрядь до 90 см асиміляційна поверхня листя збільшувалася в обох сортів і становила в середньому за три роки (тис. м²/га): у сорту Бронницький – 18,9–23,4, у Скарб – 21,2–24,2. При вирощуванні картоплі з міжряддями 90 см ураження рослин фітофторозом знижувалося на 1-2 бали, так як бадилля при широких міжряддях повністю не змикається і краще провітрюється. Зі збільшенням ширини міжрядь з 70 до 90 см урожай підвищувався у обох сортів. У сорті Бронницький при густоті посадки 60 тис/га зі збільшенням ширини міжрядь урожай підвищувався. Надбавка врожаю з гектара в середньому за три роки склала 4,2 т, при густоті посадки 50 тис/га вона склала 1,3; 40 тис./га – 0,5 т.

Ключові слова: методика, дослідження, господарство, картопля, ефективність, картоплесаджалка, точність посадки.

А.І. MYZYUK

Vinnytsia National Agrarian University

METHOD OF RESEARCH SMALL-SIZED POTATO PLANTS IN PRODUCTION CONDITIONS

The article describes the method of investigation of small potato planters in production conditions. Indicators necessary for the study are given. Small-scale mechanization is used to increase productivity in farms. It is established that the use of small mechanization (motor-blocks with a set of tools) in the farms is due to their small size and small contour areas. Potatoes are mostly planted with a row spacing of 70 cm. However, with the transition to energy-intensive tractors, there is a discrepancy between the row spacing and the wheel width. This leads to soil compaction, a decrease in plant nutrition area, an increase in the number of lumps in the soil. It is established that on plantings with wide aisles better conditions for realization of potential productivity of potatoes of intensive varieties are created, the density of soil in the area of potato bushes decreases, marketability is increased, potato creates more optimal humidity of the air, so plant lesions are reduced by phytophthora. It is determined that the yield of potatoes by 90-95% is formed by photosynthesis, so the area of the assimilation surface of the leaves is one of the main indicators characterizing the state of planting. With row spacing up to 90 cm, the assimilation surface of the leaves increased in both varieties and averaged over three years (thousand m²/ha): in the Bronnytsky variety – 18.9-23.4, in Treasure – 21.2-24.2. When growing potatoes with rows of 90 cm plant lesions plant blight decreased by 1-2 points, as the bot is not fully closed at wide aisles and is better ventilated. With increasing row spacing from 70 to 90 cm, the yield increased in both varieties. In the Bronnytsky variety, with a planting density of 60,000 ha, with increasing row spacing, the crop increased. The crop yield per hectare averaged 4.2 tonnes over the three years, at a planting density of 50,000 ha, it was 1.3; 40 thousand/ha – 0.5 t.

Keywords: methodology, research, economy, potatoes, efficiency, potato planter, planting accuracy.

Вступ

Серед продуктів харчування, що становлять основу продовольчого ринку картопля займає особливе місце, роблячи істотний вплив як на формування структури ринку, так і на забезпечення продовольчої безпеки країни. Майже 90% картоплі в нашій країні виробляється в особистих підсобних і селянських (фермерських) господарствах з посадочними площами менше 2 га. При цьому рівень механізації робіт в цих господарствах низький, а витрати праці високі [1, 2].

При різній ширині міжрядь створюються різні умови для розвитку наземної маси. Якщо наприклад взяти 2 сорти картоплі, Бронницький і Скарб, та вирощувати їх з міжряддями 90 см і 70 см, то при першому варіанті бульби розвинені краще, ніж на посадках з міжряддями 70 см. В середньому за три роки вегетативна маса їх становитиме приблизно 14-15,8 т/га, а при міжряддях 70 см – 11,8–14, 6 т/га. У сорту Скарб при міжряддях 90 см розвиток бадилля триває і після цвітіння картоплі. Максимальна маса гички у обох сортів була зафіксована при густоті посадки бульб 60 тис/га і схемою посадки 90×18 см – 15,8 т/га.

Збільшення числа рослин на 1 га від 40 до 60 тис. сприяє підвищенню врожайності картоплі. Однак ефективність цього агроприйому неоднакова і залежить від ширини міжряддя, умов вологозабезпечення і сортових особливостей. Так, в посушливому погоді, збільшення густоти посадки вище 50 тис. бульб на 1 га не забезпечує приросту врожаю обох сортів при вирощуванні їх з міжряддями як 90 см, так і 70 см. Так, у сорту Бронницький при міжряддях 70 см і густоті посадки 50 тис/га урожай складе приблизно 14,5 т/га, при густоті 60 тис./га – 14,4 т/га; при міжрядді 90 см – відповідно 18 і 18,2 тис./га. У сорті Скарб при міжряддях

70 см і густоті до 60 тис./ка урожай знижувався на 0,6 т/га, при міжряддях 90 см – на 1,3 т/га. Але ці характеристики урожайності кожного року можуть бути різні, залежно від погодних умов і інших факторів.

Мета роботи

Метою досліджень є постановка нового підходу до даної проблеми. У зв'язку зі сказаним, метою досліджень є розробка конструкції технічного засобу для посадки картоплі.

Для вирішення поставленої мети визначені наступні завдання досліджень:

1. Провести патентні дослідження і проаналізувати конструкції картоплесаджалок.
2. Розробити конструкцію технічного засобу для посадки картоплі, що дозволяє знизити перевитрату посадкового матеріалу.
3. Визначити основні параметри клапана, що дозволяють здійснювати посадку бульб різних фракцій.

Матеріали і методи

Проведений патентний пошук показує, що відома навісна картоплесаджалка Л-202, що містить закріплені на рамі бункер для посадкового матеріалу і висаджувальні апарати у вигляді ланцюгових елеваторів з пластмасовими ложечками, з приводом їх від опорних коліс [3].

Розміри пластмасових ложечок такої картоплесаджалки дозволяють вичерпувати відразу кілька бульб середньої і дрібної фракцій, що призводить до порушення агротехнічних вимог, які передбачають посадку картоплі по одній бульбі в одне посадочне місце без перевитрати посадкового матеріалу.

На підставі патентних і пошукових методів досліджень, для зниження перевитрати посадкового матеріалу пропонується оригінальна конструкція картоплесаджалки [4] (рисунок 1: а) загальний вигляд; б) вид зверху ложечки картоплесаджалки Л-202 в робочому положенні; в) вид А; г) розріз Б-Б; д) клапан; е) приєднана до стрічкового елеватора ложечка картоплесаджалки Л-202 з встановленим на ній клапаном в положенні для висіву бульб дрібної фракції, які використовуються в якості насінневого матеріалу; ж) розрахункова схема клапана; и) схема положення бульб середньої фракції при розташуванні фіксатора в верхньому стопорному отворі клапана; к) схема положення бульб проміжної фракції при розташуванні фіксатора в середньому стопорному отворі клапана; л) схема положення бульб дрібної фракції при розташуванні фіксатора в нижньому стопорному отворі клапана.

Картоплесаджалка містить закріплені на рамі завантажувальний бункер 13 для посадкового матеріалу, живильний бункер 14, леміш 17, закладаючі робочі органи 15 і садильні апарати у вигляді ланцюгових елеваторів 1 з пластмасовими ложечками 2, з приводом їх від опорних коліс 16. Кожна ложечка 2 виконана з отворами 3 діаметром 2 мм містить співвісь цих отворів 4 діаметром не більше 2 мм, центр якої розташований на відстані 56 мм в сторону ложечки 2 він знаходиться в контакт з стрічкою 1 на відстані 15 мм вниз в робочому захоплюючому 18 положенні від площини, дотичної, що охоплює бульбу 18 верхнього в цьому положенні контуру ложечки 2, причому вісь 2 паралельна зазначеним площинам.

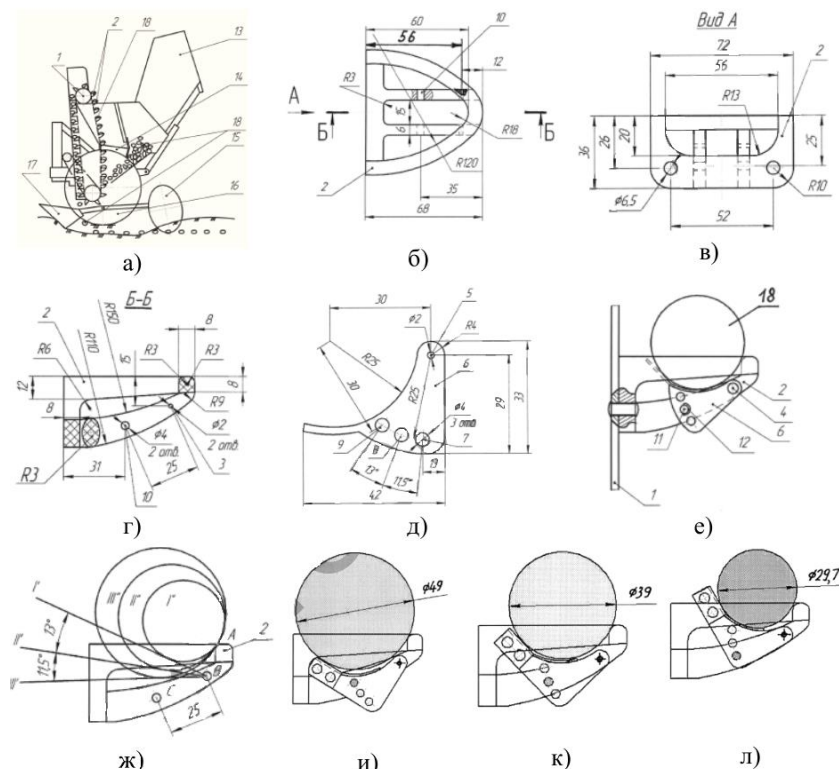


Рис. 1. Картоплесаджалка

До осі 4 приєднаний за допомогою свого приєднувального отвору 5, рівного 2 мм, з можливістю

обертання, що розташований своєю площиною симетрії в площині симетрії ложечки 2, клапан 6, що має розташований по радіусу з центру осі, рівні 25 мм, стопорні діаметром 4 мм нижні 7 в робочому захоплюючому бульбу положенні ложечки, середні 8 і верхні 9 отвори, причому кут між лініями, що з'єднують центр осі і центри нижнього 7 і середнього 8 отворів, дорівнює 11,5 градусів, а кут між лініями, що з'єднують центр осі і центри середнього і верхнього отворів, дорівнює 13 градусів, а ложечка має розташування на відстані 31 мм від приєднувальної площини торцевої поверхні і на відстані 25 мм від центру осі в профільній проекції (рис. 1, г) стопорні отвори 10 діаметром 4 мм з встановленим в них і в одне з стопорних отворів клапана 6 стопорним болтом 11, з розташованими по сторонам клапана 6 розпірними втулками 12, при цьому грань у верхній частині клапана 6 в його спільній з ложечкою площині симетрії (фронтальна проекція) виконана по колу радіусом 25 мм, проведеної з центру, розташованого на відстані 30 мм від центру приєднувального отвору клапана і центру його верхнього стопорного отвору.

Результати та обговорення

Дослідженнями встановлено, що середній діаметр бульби, який можна використовувати для різних фракцій, визначається як середнє геометричне всіх трьох розмірів бульби:

$$d_{cp} = \sqrt{l \cdot b \cdot c} \quad (1)$$

де l – довжина бульби, мм; b – ширина, мм; c – товщина, мм.

Середній діаметр для бульб середньої, проміжної і дрібної фракцій картоплі, використовуваних як насіннєвий матеріал, дорівнює для середньої фракції $d_{cp} \sqrt{60 \cdot 50 \cdot 40} = 49$ мм.

Середній діаметр бульб проміжної фракції, які використовуються в якості посадкового матеріалу, дорівнює $d_{cp} \sqrt{50 \cdot 40 \cdot 30} = 39$ мм.

Середній діаметр для бульб дрібної фракції, які використовуються в якості насіннєвого матеріалу, дорівнює $d_{cp} \sqrt{30 \cdot 30 \cdot 25} = 29,7$ мм.

Шляхом геометричної побудови (рисунок 1, ж) визначено положення обмежуючої кромки клапана 6 побудовою кіл I, II, III з дотиком в точці А, біля краю ложечки 2, діаметри яких відповідають середнім діаметрами бульб трьох фракцій, визначених за формулою 1.

З центру осі точка В, щодо якої передбачається обертання клапана, провівши дотичні I', II', III', були заміряні кути між дотичними, рівні 11,5 і 13 градусів. Визначено місця розташування на ложечці 2 положення (у фронтальній проекції) стопорних отворів 10, виходячи з геометричних параметрів ложечки 2 і доступності регулювання положення клапана 6 в процесі настройки, розташовуючи отвір фіксатора С на відстані 25 мм від осі обертання В.

Проводять посадку бульбами масою до 80 г і їх розміри близькі до правильних фігур куля і еліпс. Це дозволило в якості орієнтира при графічному аналізі використовувати окружність. Параметри утворюючі грань у верхній частині клапана 6 в його спільної з ложечкою площині симетрії (фронтальна проекція), виконаної по колу радіусом 25 мм, визначені з умови вичерпування бульб середньої фракції діаметром 49 мм.

Таким чином отримані основні параметри клапана, що дозволяють здійснювати посадку бульб різних фракцій.

Залежно від розмірів висівної фракції за допомогою стопорного болта 11 фіксується відповідне розміру висівної фракції становище клапана 6 щодо ложечки 2 (рисунок 1, и, к, л). При роботі картоплесаджалки стрічкові елеватори 1 з пластмасовими ложечками 2 приводяться в рух від їх опорних коліс 16, ложечки 2, рухаючись в робочому положенні вгору, зачерпують по одній бульбі 18 висівної фракції і при зміні положення ложечок 2 в верхній частині стрічкових елеваторів 1 звільняються від бульб, які далі укладаються в борозну і закидаються ґрунтом робочими органами 15.

Машини, що використовуються у виробництві повинні попередньо пройти дослідження у виробничих умовах. Причому методика досліджень малогабаритних машин має свої особливості [5, 6].

Місткість бункера садильних апаратів визначається шляхом безпосереднього вимірювання об'єму посадочного матеріалу. Номінальну робочу швидкість вимірюють після стабілізації необхідного режиму.

Функціональні показники визначають із застосуванням каліброваного посадкового матеріалу, що відноситься до однієї і тієї ж групи за розміром. Для визначення пошкодження бульб машиною використовують неушкоджений посадковий матеріал. Функціональні показники визначають на ділянках, які відповідають вимогам інструкції з експлуатації в конкретних умовах.

Для функціонального випробування на випробувальних майданчиках вимірювальні ділянки довжиною 100 м відстань між бульбами в ряду. Ширина вимірювальних ділянок дорівнює дворазовій ширини робочого захоплення машини (дві борозни). Кожну виміряну ділянку збільшують на додаткову ділянку завдовжки не менше 10 м, на якій машина набирає задану швидкість руху і входить в заданий технологічний режим роботи.

Розподіл картоплі в ряду визначають при його посадці в відкриту борозну. Сошники встановлювали на середню глибину, а закладаючий піднімають. У разі засипання картоплі глибину ходу сошників зменшують.

Машини підходять до вимірювальної ділянки на номінальній робочій швидкості в залежності від встановленого режиму посадки відповідно до інструкції по експлуатації і з бункерами, наповненими не

менше на 0,5 об'єму місткості. Для кожної швидкості роблять один прохід (при роботі на рівній ділянці) або два проходи (прямо і назад на ділянці зі схилом) з бункерами, наповненими не менше ніж на 0,5 їх обсягу [7].

Максимальна швидкість малогабаритної картоплесаджалки згідно ГОСТ 28708-2001 не має перевищувати 4 км/год. Швидкість руху елеваторного апарату повинна дорівнювати швидкості руху малогабаритної картоплесаджалки ($\lambda=1$).

Відстань між бульбами в ряду в метрах (сантиметрах) визначають на вимірному відрізку шляхом вимірювання відстаней між центрами суміжних бульб на поздовжньої осі ряду (борознозакидач не працює).

Середню фактичну відстань між бульбами в ряду в метрах (сантиметрах) визначають як середнє арифметичне 100 відстаней між бульбами в ряду.

Для кожного робочого режиму вимірюють за все не менше 800 відстаней між бульбами. Для вираження фактичної відстані між бульбами в якості додаткового значення використовують коефіцієнт варіації.

Перед урахуванням розподілу картоплі рядки ретельно оглядають: присипані картоплі обережно відкривають, видаляють з борозенки великі грудки, розрівнюють поверхню ґрунту в рядку для отримання більш рівномірного натягу стрічки рулетки. Послідовним вирахуванням встановлювали фактичну відстань між картоплею. Класовий проміжок 5 см.

При цьому підраховують середню відстань, середньоквадратичне відхилення, коефіцієнт варіації, кількість випадків з певним інтервалом (0...5, 5...10 см, тощо) в процентах від загальної кількості вимірювань. За даними кількості випадків з певними інтервалами будували графік рівномірності розкладки картоплі в рядку.

Результати обробляють методами математичної статистики. Виміряні значення округлюють до цілого числа. Обробка отриманих результатів проводяться за допомогою комп'ютерних програм Statistica 6.0 і Excel.

При обробці даних досліджень підраховують кількість одиночних картоплин, двійників і пропусків у відсотках від загального числа вимірів. За даними фактичного відстані між центрами картоплі визначали рівномірність розкладки в рядку (середнє $\pm 0,2$ від середнього).

Кількість картоплі в штуках, висаджених на 1 га, підраховують по середній кількості одиниць на облікових ділянках при визначенні розподілу бульб в ряду.

Рівномірність розподілу бульб (R) у відсотках визначають за формулою

$$R = \frac{t}{n} \cdot 100\% \quad (2)$$

де t – число висаджених одиниць картоплі, фактична відстань між якими становить від 0,8 до 1,2 установочної відстані між бульбами в ряду (середнє $\pm 0,2$ від середнього); n – загальне число бульб, висаджених на вимірній ділянці з відстанню між бульбами в ряду A .

Глибину закладення бульб $h_{гд}$ в сантиметрах визначають по кожному ряду бульб. Вимірюють відстань по перпендикуляру від нижньої кромки бульби до поверхні поля перед посадкою (борознозакидач не працює, гребені, що виникли, розрівнюються).

Результатом є середнє арифметичне не менше 30 вимірів, виконаних рівномірно по всій площі вимірної ділянки. В протокол записують також виміряні мінімальну і максимальну глибини закладення.

Глибину розпушування ґрунту під кущем картоплі P в сантиметрах визначали при вимірах відстаней. Вимірюють відстань по перпендикуляру від нижньої кромки куща до необробленого ґрунту під ним (на дні борозни).

Результатом є середнє арифметичне 30 вимірювань, виконаних рівномірно по всій площі вимірної ділянки.

Висновок

Встановлено, що пошкодження бульб у відсотках визначали на 100 бульбах, висаджених в кожному ряду. Висаджені бульби класифікують у міру пошкодження за наступними групами: 1) без пошкодження; 2) легке ушкодження – глибина пошкодження до 1,7 мм; 3) середнє ушкодження – глибина пошкодження від 1,7 до 5 мм; 4) сильне ушкодження – глибина пошкодження більше 5 мм. Результатом є частка бульб за окремими групами від загального числа висаджених одиниць в процентах.

Експлуатаційні показники: продуктивність за основний, оперативний, виробничий та експлуатаційний час, витрата палива, додаткові матеріали, кількість обслуговуючого персоналу визначають за ГОСТ 24055 при виконанні посадки картоплі.

Досліди на врожайність виконують з оптимальною швидкістю в трикратній повторності.

Література

1. Механизация технологического процесса уборки картофеля в мелкооварных хозяйствах /

- [В.Н. Кувайцев, Н.П. Ларюшин, О.Н. Кухарев, В.С. Бочкарев]. – Пенза : РИО ПГСХА 2014. – 172 с. : ил.
2. Ларюшин Н.П. В основе разработке техники – физико-механические свойства картофеля / Н.П. Ларюшин, О.Н. Кухарев, А.А. Кабуни // Картофель и овощи. – 2012. – № 7. – С. 10-11.
 3. Ларюшин Н.П. Эффективность применения комплекса машин для производства картофеля в мелкотоварных хозяйствах / Н.П. Ларюшин, О.Н. Кухарев, В.С. Бочкарев // Нива Поволжья. – 2011. – № 4. – С. 97–101.
 4. Кухарев О.Н. Качество дражирования семян в барабанном дражираторе с вращающимся дном / О.Н. Кухарев, И.Н. Сёмов, А.М. Чирков // Тракторы и сельхозмашины. – 2011. – № 1. – С. 10–12.
 5. Кухарев О.Н. Теоретическое обоснование барабанного дражиратора с вращающимся дном / О.Н. Кухарев, Г.Е. Гришин, И.Н. Сёмов // Нива Поволжья. – 2013. – № 1(26). – С. 51–55.
 6. Государственная программа развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016–2020 годы [Электронный ресурс] / – Режим доступа : <http://www.mshp.gov.by/programms/a868489390de4373.html>.
 7. Клочков, А.В. Сельскохозяйственные машины / А.В. Клочков, Н.В. Чайчиц, В.П. Буяшов. – Минск : Ураджай, 1997. – С. 207-208.

References

1. Mehanizaciya tehnologicheskogo processa uborki kartofelya v melkotovarnykh hozyajstvax / [V.N. Kuvajcev, N.P. Laryushin, O.N. Kuharev, V.S. Bochkarev]. – Penza : RIO PGSHA 2014. – 172 s. : il.
2. Laryushin N.P. V osnove razrabotke tehniki – fiziko-mehanicheskie svojstva kartofelya / N.P. Laryushin, O.N. Kuharev, A.A. Kabunin // Kartofel i ovoshi. – 2012. – № 7. – S. 10-11.
3. Laryushin N.P. Effektivnost primeneniya kompleksa mashin dlya proizvodstva kartofelya v melkotovarnykh hozyajstvax / N.P. Laryushin, O.N. Kuharev, V.S. Bochkarev // Niva Povolzhya. – 2011. – № 4. – S. 97–101.
4. Kuharev O.N. Kachestvo drazhirovaniya semyan v barabannom drazhiratore s vrashayushimsya dnom / O.N. Kuharev, I.N. Syomov, A.M. Chirkov // Traktory i selhoz mashiny. – 2011. – № 1. – S. 10–12.
5. Kuharev O.N. Teoreticheskoe obosnovanie barabannogo drazhiratora s vrashayushimsya dnom / O.N. Kuharev, G.E. Grishin, I.N. Syomov // Niva Povolzhya. – 2013. – № 1(26). – S. 51–55.
6. Gosudarstvennaya programma razvitiya agrarnogo biznesa v Respublike Belarus na 2016–2020 gody [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu : <http://www.mshp.gov.by/programms/a868489390de4373.html>.
7. Klochkov, A.V. Selskohozyajstvennye mashiny / A.V. Klochkov, N.V. Chajchic, V.P. Buyashov. – Minsk : Uradzhaj, 1997. – S. 207-208.

Рецензія/Peer review : 14.4.2020 р.

Надрукована/Printed : 16.6.2020 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

ОСОБЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОШИВКИ INAV НА ПОЛЬОТНОМУ КОНТРОЛЕРІ OMNIBUS F4V3 ДЛЯ БПЛА РОТОРНОГО ТИПУ

В роботі розглядається практична можливість налаштування параметрів PID регулятора для прошивки INAV (сімейство прошивок Cleanflight) безпілотних літальних апаратів (БПЛА) роторного типу і з нерухомим крилом під час польоту. Показано, що для цього необхідно використання апаратури радіоуправління з мінімальною кількістю каналів, рівною восьми. Розроблено безпілотний літальний апарат (БПЛА) на базі польотного контролера OMNIBUSF4V3 з вбудованим гіроскопом і акселерометром, барометром/висотоміром BMP280. Розроблено схему підключення 3-осьового компаса HMC5883L по шині I2C і GPS приймача u-blox NEO-6M до порту контролера UART6. Як прошивки використана INAV ver.2.2.1, що підтримує навігаційні функції. Спроекований квадрокоптер (БПЛА) здатний виконувати наступні польотні режими: ANGLE – автоматичне вирівнювання крену і тангажу з контролем кута горизонту, задане значення якого не може перевищуватися, чим досягається стійкий політ. Тут задіяні гіроскоп і акселерометр для утримання горизонту. NAV ALTHOLD – утримання висоти. Тут використано барометр, який сприяє утриманню висоти по тиску повітря. NAV POSHOLD – виконується утримання позиції. Використовує GPS. NAV RTH (Return To Home) – повернення додому, в точку зльоту. NAV WP – політ по заданій траєкторії, яка апроксимована точками. В цьому випадку в конфігураторі накладаються на обрану карту місцевості шляхові точки з такими параметрами, як висота, швидкість її прольоту. Для малих оборотів моторів показана можливість використання режиму AIR MODE для збільшення ефективності роботи PID регулятора. Показана можливість використання програми STM32 Flash loader demonstrator як програматора для прошивки польотного контролера OMNIBUSF4V3 будь-якою прошивкою сімейства Cleanflight. Встановлено, що для налаштування параметрів P, I, D, а також параметрів навігаційного регулятора можливе використання трипозиційного перемикача на одному з каналів управління і змінного резистора на іншому каналі. Розглянуто питання настройки стійкості польоту коптера. При різкому збільшенні дросельної заслінки завал коптера в одну зі сторін і його падіння. Встановлено, що для запобігання цьому необхідно використання однаково підібраних ESC регуляторів, моторів і правильна настройка PID параметрів зокрема по YAW. Встановлено неможливість настройки магнітометра HMC5883L для забезпечення прямолінійного польоту коптера в режимі Cruise через його похибки. Так, під час установки на північ з кутом 0 градусів і подальшим його розворотом на 180 градусів, програмне забезпечення INAV інтерпретує поворот не на 180, а на 191 градус. Це призводить до відведення коптера від прямолінійного руху незважаючи на правильну установку магнітного відхилення.

Ключові слова: OMNIBUSF4V3, PID-регулятор, INAV, GPS приймач, AIR MODE, STM32F4, HMC5883L, NEO6MV2, MPU6000.

A.A. MYASISHEV

Khmelnytsky National University

FEATURES OF INAV FIRMWARE IMPLEMENTATION ON OMNIBUSF4V3 FLIGHT CONTROLLER FOR UAV

The paper considers the practical possibility of adjusting the PID controller parameters for INAV firmware (Cleanflight firmware family) of rotary-type unmanned aerial vehicles (UAVs) and with a fixed wing during flight. It is shown that this requires the use of radio control equipment with a minimum number of channels equal to eight. An unmanned aerial vehicle (UAV) has been developed based on the OMNIBUSF4V3 flight controller with a built-in gyroscope and accelerometer, BMP280 barometer / altimeter. The scheme of connecting the 3-axis compass HMC5883L via the I2C bus and the GPS receiver u-blox NEO-6M to the controller port UART6 is developed. The firmware used is INAV ver.2.2.1, which supports navigation functions. The designed quadcopter (UAV) is capable of performing the following flight modes: ANGLE - automatic roll and pitch alignment with horizon angle control, the set value of which cannot be exceeded, which ensures a stable flight. A gyroscope and an accelerometer are used here to hold the horizon. NAV ALTHOLD - hold height. A barometer is used here, which helps to maintain altitude by air pressure. NAV POSHOLD - a position is being held. Uses GPS. NAV RTH (Return To Home) - return home to the take-off point. NAV WP - flight along a given path, which is approximated by waypoints. In this case, waypoints with such parameters as altitude and its flight speed are superimposed on the selected terrain map in the configurator. For low engine speeds, the possibility of using the AIR MODE to increase the efficiency of the PID controller is shown. The possibility of using the STM32 Flash loader demonstrator program as a programmer for flashing the OMNIBUSF4V3 flight controller with any Cleanflight family firmware is shown. It was found that to configure the parameters P, I, D, as well as the parameters of the navigation controller, it is possible to use a three-position switch on one of the control channels and a variable resistor on the other channel. The issue of tuning the flight stability of the copter is considered. With a sharp increase in the throttle, a crash of the copter in one of the sides and its fall is possible. It was established that in order to prevent this, it is necessary to use identically selected ESC controllers, motors and the correct setting of PID parameters, in particular according to YAW. The impossibility of adjusting the HMC5883L magnetometer to ensure straight-line flight of the copter in Cruise mode due to its error is established. So when installed to the north with an angle of 0 degrees and its subsequent rotation by 180 degrees, the INAV software interprets the rotation not of 180, but of 191 degrees. This leads to the drift away from the rectilinear movement despite the correct installation of magnetic declination.

Keywords: OMNIBUSF4V3, PID controller, INAV, GPS receiver, AIR MODE, STM32F4, HMC5883L, NEO6MV2, MPU6000.

Постановка задачі

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) роторного типу (квадрокоптера, гексакоптери та ін.), з нерухомим крилом (літаки, літаючі крила) для забезпечення утримання горизонтального польоту використовують класичні PID регулятори [1, 2, 14]. Для управління польотом перерахованих вище БПЛА

найбільш часто використовують польотні контролери на базі мікроконтролерів STM32F4, STM32F7 з прошивками *betaflight*, *cleanflight*, *INAV* [1, 5, 10]. Перші дві прошивки використовуються в основному на невеликих квадрокоптерах, дуже динамічних і розвиваючих високі швидкості. Вони не використовують навігаційне обладнання, таке як компас, барометр, GPS приймач для утримання позиції, повернення в точку старту і польоту по точках заданої траєкторії. Прошивка *INAV* використовується і для великих коптерів, літаючих крил, на яких встановлено навігаційне обладнання. В основному ця прошивка застосовується для далеких польотів з використанням курсової камери (політ по FPV). Такі польоти небезпечні тим, що при втраті зв'язку з відеопередавачем втрачається інформація про стан БПЛА і він відлітає в невизначене місце розташування. Для цього в прошивці *INAV* існує можливість використання навігаційної апаратури, яка дозволяє по GPS приймачу, магнітометру, барометру в разі втрати радіозв'язку повернутися в положення старту або на відстань, доступне для радіозв'язку. Однак для сталого польоту БПЛА, особливо в вітряну погоду, на високих швидкостях з різкими змінами траєкторії (динамічні маневри), повинен бути ідеально налаштований PID [1, 7, 11, 12] регулятор, підібраний його три параметра – P, I, D і навігаційні PID-и для польоту по барометру, компасу і приймачу GPS. В даний час не існує аналітичного вирішення цього завдання для різної геометрії, ваги БПЛА. Це завдання вирішується дослідним шляхом в польоті для різних типів, розмірів, ваги, встановленого обладнання БПЛА. В роботі розглядається, як це реалізовано за допомогою апаратури радіо управління для перерахованих типів прошивок так як вони мають аналогічний PID регулятор. Перед налаштуванням регулятора розглядається особливість побудови чотирьохроторного БПЛА (квадрокоптера) на базі польотного контролера OMNIBUSF4V3 [8] з прошивкою *INAV Ver.2.2.1* [10], яка є останньою на момент написання роботи. Приділено увагу настройки польоту по заданій траєкторії з використанням шляхових точок в *INAV* конфігураторі *ver.2.2.1*. Розглядається настройка параметрів навігаційного PID регулятора.

Виклад основного матеріалу роботи

INAV є відгалуженням відомого проекту *Cleanflight* [1, 13] з акцентом на функції GPS для літаків і мультироторних моделей. *INAV* активно розвивається і в даний час підтримує режими *RTH* (*Return To Home*) з визначеною висотою набору висоти, утримання позиції, польоту по подорожнім точкам (*ver.1.9.1*), режим "Йди за мною" (*Follow-Me*) та інші. Особливістю прошивки *INAV* є можливість динамічно регулювати посилення PID, тому високий дросель (прискорений політ вперед або швидкий набір висоти) не викликає високочастотних коливань квадрокоптера, характерних для високих значень складової P в PID регуляторі. Для цього вводиться параметр *TPA* [*Throttle PID Attenuation*]. *TPA* забезпечує зменшення значення PID по відношенню до повного дроселя. Він використовується для гасіння значень PID при досягненні повного газу. Чисельно *TPA* дорівнює відсотку гасіння, яке матиме місце при повному відкритті дросельної заслінки. *TPA Breakpoint* – точка на кривій газу, з якої почне застосовуватися *TPA*. Нижче цієї точки *TPA* не використовується. Наприклад, якщо виникають коливання, що починаються з 1/2 дроселя, необхідно встановити *TPA Breakpoint* = 1500 або нижче (передбачається, що діапазон зміни дроселя складає 1000–2000), а потім повільно необхідно збільшити *TPA*, поки коливання квадрокоптера не зникнуть. На рис. 1 показаний приклад мультироторної кривої *TPA*.

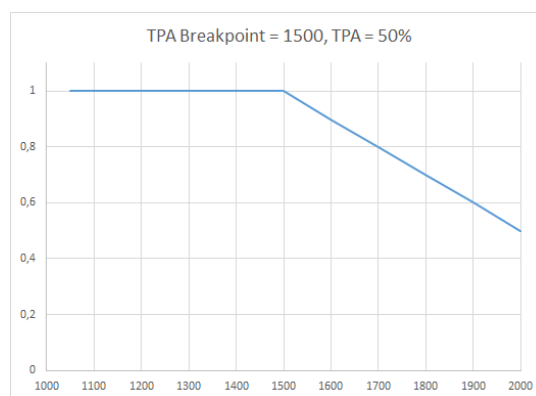


Рис. 1. Приклад мультироторної кривої *TPA*

Для динамічної регуляції посилення PID дуже важливо встановити режим *AIRMODE*. У стандартному режимі зменшення дросельної заслінки, коли розраховуються крен, тангаж і ризикання, всі двигуни будуть зменшувати обороти однаково. При розвороті деякі двигуни можуть навіть відключатися. Це призводить до зменшення посилення PID регулятора. Тому при різкому зниженні квадрокоптера, різких поворотів через зменшення впливу PID регулятора на стабілізацію польоту квадрокоптер падає. *Airmode* забезпечить повну корекцію PID під час нульового дроселя і дає можливість плавного польоту і виконання вищого пілотажу.

Починаючи з *ver.2.3.0* введений режим *Anti-gravity*. Він дозволяє утримувати кут тангажу (*pitch*) стабільним, щоб не було кивків. Наприклад, при різкому збільшенні числа обертів двигуна (*Throttle*), а потім їх скиданні спостерігаються кивки в той момент, коли коптер підвісає в невагомості (розгойдування по тангажу). Завдання *Anti-gravity* тримати кут шляхом збільшення I-коефіцієнта PID регулятора. Це робиться

за допомогою параметра `antigravity_gain = 2`.

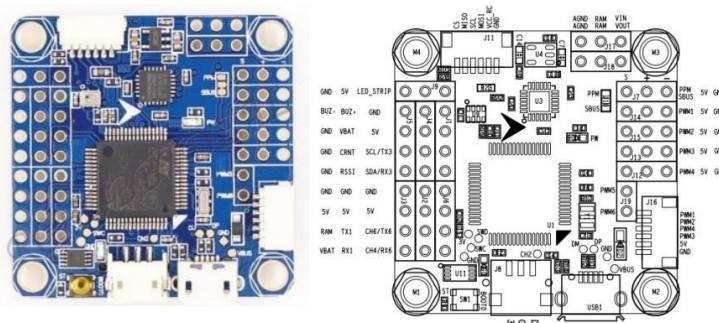
Для побудови тестового квадрокоптера використовувалися наступні компоненти:

1. Рама розміром 450 мм
2. Мотори A2212/1000 з ESC регуляторами на 30A [9]
3. Пропелери 10×45 дюймів
4. Пальотний контролер OMNIBUSF4V3[8] на базі мікроконтролера STM32F405 LQFP64 (168Mhz, 1M Flash, 192kB SRAM) з вбудованим гіроскопом, акселерометром MPU6000 і барометром BMP280
5. Компас HMC5883L підключений до шини I2C
6. GPS приймач NEO6M

Істотно, що компас і приймач GPS мають різні джерела живлення. В іншому випадку спостерігалися збої і зависання компаса, а також помилки по шині I2C.

Для харчування моторів і електроніки встановлена батарея літо 3S1P 1800mAh. Вона забезпечувала політ протягом 11–13 хвилин. Квадрокоптер повинен вміти утримувати висоту (барометр), позицію (GPS приймач) і повертатися додому і літати по заданій траєкторії (до 60 польотних точок).

На рис. 2 представлений польотний контролер OMNIBUSF4V3 з позначенням його основних виводів для підключення до датчиків, моторів, приймача і відеопередавача.



(Barometer). У розділі Board and Sensor Alignment встановлюється MAG alignment – CW 90. Це відповідає розташуванню компаса, повернутого на 90 градусів. Receiver Mode – PPM RX input – режим роботи приймача. У розділі GPS включається GPS і встановлюється протокол UBLOX. У розділі ESC/Motor Features включається Enable motor and servo output. Встановлюється протокол, наприклад ONESHOT125 [10]. У вкладці PID tuning попередньо встановлюються параметри PID регулятора, як на рис. 4. Їх налаштування розглянута нижче.

Name	Proportional	Integral	Derivative	FeedForward
Basic/Acro				
Roll	47	13	40	0
Pitch	47	13	40	0
Yaw	100	60	0	0
Barometer & Sonar/Altitude				
Position Z	40	0	0	
Velocity Z	70	50	10	
Magnetometer/Heading				
Heading	60			
GPS Navigation				
Position XY	25			
Velocity XY	20	10	60	40
Surface	0	0	0	

ROLL rate	150	degrees per second
PITCH rate	150	degrees per second
YAW rate	150	degrees per second
Max. ROLL angle	35,0	degrees
Max. PITCH angle	35,0	degrees
Manual ROLL rate	100	%
Manual PITCH rate	100	%
Manual YAW rate	100	%
MagHold rate	90	degrees per second

Рис. 4. Параметри PID регулятора

У вкладці Motors після включення вимикача "I understand the risks, propellers are removed - Enable motor control" необхідно проконтролювати, в який бік обертаються мотори відповідно до рисунку. Якщо мотор обертається не в той бік, змінюється підключення двох з трьох проводів мотора до ESC регулятора. У вкладці Receiver контролюється робота каналів приймача. Переміщення стіків і включення і виключення активних тумблерів на пульті управління повинно відобразитися у вкладці адекватно. У вкладці Modes встановлюються польотні режими квадрокоптера відповідно до роботи [1].

У розглянутій версії INAV можлива настройка польотної місії – Mission Control (політ по заданій траєкторії із зазначенням шляхових точок, рис. 5). Тут виробляється вибір ділянки карти. Повинен бути доступ до Інтернет. Вказуються натисканням клавішею мишки шляхові точки. Кожна шляхова точка після другого натискання на неї мишкою висвічує свої координати з параметрами висоти прольоту над нею і швидкістю. Ці значення необхідно відредагувати. Якщо необхідно повернутися до того місця старту з автоматичною посадкою, ставлять галочку на RTH at the end of the mission і на Landing. Сформований маршрут записується командами Save mission to FC і Save Eeprom mission. Політ по точках може бути виконаний, якщо у вкладці Modes буде встановлений перемикач на пульті радіоуправління в польотний режим NAV WP.

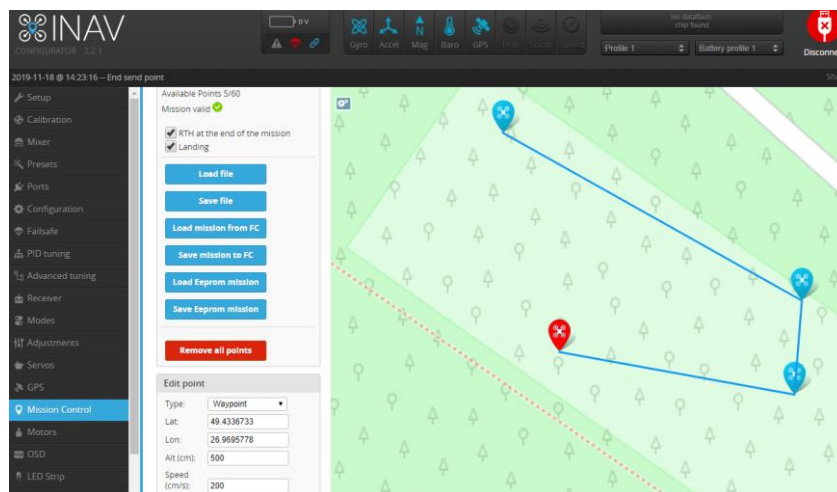


Рис. 5. Формування польотної місії по шляховим точкам

Точка, в яку повертається квадрокоптер після завершення місії на карті не відображається. Ця точка відповідає точці запуску, яка може перебувати в будь-якому місці. Послідовність проліта точок квадрокоптером відповідає послідовності формування точок на карті.

Важливо. При відключенні польотного контролера від батареї місія втрачається. Якщо після

включення місії не завантажити з EEPROM пам'яті в SRAM пам'ять польотного контролера, квадрокоптер не буде виконувати автоматичний політ по траєкторії після встановлення перемикача на пульті управління в режим польоту по точкам. Тому після підключення батареї на пульті управління необхідно виконати переміщення стіків, як на малюнку 6 для виконання процедури Load waypoint mission. Після цього можна виконувати Arming квадрокоптера і злітати з подальшим перемиканням режиму польоту в положення NAV WP.

Mode 2 Stick Functions

Profile 1		Enter OSD Menu (CMS)	
Profile 2		In-flight Calibration Controls	
Profile 3		Trim Acc Left	
Battery profile 1		Trim Acc Right	
Battery profile 2		Trim Acc Forwards	
Battery profile 3		Trim Acc Backwards	
Calibrate Gyro		Save waypoint mission	
Calibrate Acc		Load waypoint mission	
Calibrate Compass		Save Setting	

Рис. 6. Команди пульта управління

Доцільно змінити параметр `nav_wp_radius` зі 100 на 200. Шляхова точка вважається досягнутою, якщо коптер потрапляє в радіус в см, визначений цим параметром. Це дозволить при підльоті до точки зльоту під час виконання RTH, польоту за точками в разі сильного вітру або неточних навігаційних PID, не цілитися коптер з точністю до 100 см, а тільки потім починати зниження. Точності 200 см цілком достатньо. Знижуючись, коптер встигає підкоригувати позицію.

У вкладці Calibration необхідно виконати калібрування Accelerometra і Compass. Схема калібрування Accelerometra показана на рисунку вкладки. Для цього попередньо натискається кнопка Calibrate Accelerometr. При калібрування компаса квадрокоптер необхідно обертати по 6-и осях. На цю процедуру виділяється 30 секунд. Калібрування в поле виконується переміщенням стіків на пульті управління за правилом: лівий стик вгору і вправо, правий стик вниз протягом 2-3секунд. Після цього коптер обертається за 6-а осями (рис. 6).

При польоті коптера в автоматичному режимі настроюються параметри у вкладці Advanced tuning.

Зазвичай настройка ведеться в двох основних розділах. Це Multicopter Navigation Settings і RTH and Landing Settings.

- Multicopter Navigation Settings.

User Control Mode:

Altitude – у цьому режимі коптер в меншій мірі відстежує своє становище по супутникам. Наприклад, включається польотний режим NAV POSHOLD – утримання позиції. Якщо стіком пульта дати переміщення вперед, координати із супутника не будуть сприйматися коптером. Але в разі повернення стіка в нейтральне положення, коптер визначить координати з супутника і повернеться в положення, коли стик зайняв нейтральну позицію. При великій швидкості можливий переліт позиції і коптер буде повертатися назад в точку нейтрального положення стіка. Коптер в цьому режимі більш динамічний, ніж в режимі Cruise і він використовується для малих коптерів.

Cruise – тут при переміщенні стіків з нейтральної позиції коптер при польоті постійно контролює свої координати і в разі повернення стіків в нейтральну позицію коптер відразу зупиняється. При цьому режимі коптер мало динамічний, підходить для великих коптерів.

Max. navigatoin speed – це максимальна швидкість в режимі навігації в см/с (встановлений режим NAV POSHOLD).

Max. CRUISE speed – максимальна швидкість в режимі круїзу в см/с.

Max. navigator climb rate – максимальна швидкість підйому в режимі навігації в см/с.

Max. ALTHOLD climb rate – максимальна швидкість підйому в режимі утримання висоти в см/с.

Multicopter max. banking angle [degrees] – максимальний кут нахилу коптера в градусах в режимі навігації.

Use mid. throttle for ALTHOLD – Якщо включений, режим утримання висоти встановлений, коли стик газу знаходиться в середньому положенні.

Hover throttle – У цьому вікні вказується число, пропорційне частоті обертання моторів при середньому стике газу. Якщо в середньому стике газу на пульті встановити режим утримання висота і коптер буде різко набирати висоту або знижуватися, необхідно точніше встановити це число.

Розділ RTH and Landing Settings.

RTH altitude mode:

Current – повернення додому (в точку старту) виконується на тій же висоті на якій було втрачено зв'язок з пультом управління або дана команда повернення.

Extra – при поверненні коптер з поточної висоти підніметься на висоту, зазначену в параметрі RTH

altitude.

Fixed – при поверненні, якщо коптер має висоту спрацьовування повернення додому нижче RTH altitude, то він піднімається на висоту повернення і далі на ній летить додому. Якщо коптер був вище висоти повернення, то по всій зворотній траєкторії він повільно опускається до висоти повернення додому.

Мах – коптер повертається в точку старту на максимальній висоті, яку він зафіксував під час польоту. В цьому випадку, якщо коптер перелітав гору, а потім знижувався, він при зворотному поверненні не зіткнеться з горою.

At least – повертається в точку старту на висоті не менше тієї, що вказана в параметрі RTH altitude. Якщо висота коптера була менше RTH altitude при спрацьовуванні RTH, то він піднімається на висоту повернення. Якщо більше, то повертається на цій же висоті.

RTH altitude – висота повернення додому в см.

Climb before RTH – спочатку піднятися до висоти RTH altitude, потім повернутися в точку старту.

Climb regardless of positions sensors health – піднятися незалежно від датчика, який втратив зв'язок із супутниками. Якщо зв'язок не відновитися на висоті, коптер приземлиться в цьому місці.

Tail first – повернення додому задом без розвороту.

Land after RTH - Always – завжди виконувати посадку в точці старту, Never – не виконувати посадку в точку старту, Only failsafe – виконувати посадку в разі втрати зв'язку з передавачем.

Landing vertical speed – вертикальна швидкість посадки.

Min. vertical landing speed at altitude – висота, на якій вертикальна швидкість посадки сповільнюється.

Vertical landing speed slowdown at altitude – висота, починаючи з якої коптер починає пригальмовувати вертикальну швидкість посадки.

Min. RTH distance – мінімальна відстань, починаючи з якого коптер буде виконувати процедуру повернення додому. Якщо відстань менше і зв'язок з апаратурою управління порушиться, коптер виконає посадку в місці обриву зв'язку.

Розглянемо можливості польотного контролера і прошивки INAV щодо налаштування PID регулятора. Відомо, що PID регулятор (Пропорційно інтегрально диференційне регулятор) це керуючий цикл зі зворотним зв'язком, який дуже часто використовується в різних керуючих системах. PID регулятор обчислює значення «помилки» як різницю між вимірним значенням змінної і її бажаним значенням. Він намагається мінімізувати помилку впливаючи на керувані входи.

PID регулятор бере дані, виміряні сенсорами польотного контролера (гіроскопи, акселерометри) і порівнює їх з очікуваним значеннями, щоб змінити швидкість моторів для компенсації будь-яких відхилень і утримання балансу. Алгоритм обчислень в PID регуляторі включає в себе 3 постійних параметра – пропорційне, інтегральне і диференціальне значення, що позначаються P, I і D. Евристичне ці значення можуть бути інтерпретовані як значення в часі: P залежить від поточної помилки, I – від накопичених минулих помилок, D – це передбачення майбутніх помилок, на підставі швидкості зміни. Залежно від польотного контролера PID регулятори будуть пов'язані з різними польотними режимами.

P – це основне значення, яке визначає стабільність. Наприклад, якщо I і D будуть рівними 0, літак буде утримувати горизонтальне положення. Тому значення P налаштовується до значень I і D. Чим більше значення P, то все більше воно намагається стабілізувати коптер. Але якщо P занадто велике, то коптер стає занадто чутливим і дуже різко намагається коригувати своє становище, проскакуючи необхідне положення (надмірно різка і швидка реакція), в цьому випадку виникнуть коливання з великою частотою. Параметр P збільшують до тих пір поки не з'являться високочастотні коливання, звуки яких легко можна розрізнити. Далі P зменшують приблизно на 10–15%.

D – це протилежність P. При різкому відхиленні стіків по крену і тангажу при малих D коптер починає розгойдуватися, що призводить до його перекидання. В цьому випадку підвищують D так, щоб при різкому відхиленні стіків і поверненні їх в нейтральне положення коптер повертався в горизонтальне положення без коливань. Значення I збільшують до тих пір, поки не з'являться низькочастотні коливання коптера. Після цього I зменшують до повного припинення коливань. Значення I зменшує розгойдування коптера під час швидкого зниження.

Розглянемо налаштування INAV для зміни параметрів P, I, D під час польоту. Для цього використовується вкладка Adjustments. На пульті управління необхідно вибрати два канали – це трьохпозиційний перемикач і "крутилка" – канал, пов'язаний зі змінним резистором, який може плавно змінювати значення імпульсів від 1000 до 2000. Зміна значень параметрів виконується за допомогою трьохпозиційного перемикача. Середнє положення відповідає стану, коли параметр не змінюється. Верхнє положення – зменшення параметра. Нижнє – збільшення. До польотного контролера обов'язково повинен бути підключений зумер. При зменшенні параметра на одну одиницю він дає одноразовий сигнал з періодом приблизно 0.5сек. При збільшенні – подвійний сигнал. Наприклад, п'ять сигналів, – параметр від початкового значення зменшився на 5 одиниць і т.д. Для вибору параметра використовується канал з резистором. Якщо поворот резистора розмітити на 3 однакових частини, то можна міняти три параметра, встановивши резистори в певне положення. Рисунок 7 ілюструє сказане.

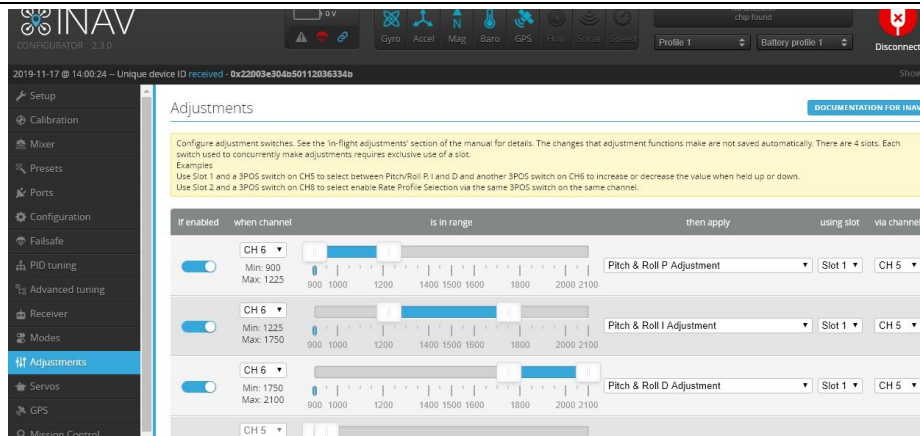


Рис. 7. Ілюстрація роботи з вкладкою Adjustments для установки параметрів PID-регулятора

Канал CH6 використовує змінний резистор. На каналі CH5 встановлений трьохпозиційний перемикач. Якщо ручка резистора (CH6) знаходиться в лівому положенні, то трьохпозиційний перемикач змінює параметр P по Pitch і Roll одночасно. При середньому положенні ручки резистора одночасно змінюються значення параметра I також по Pitch і Roll одночасно. В крайньому правому – D. Одночасне зміна можлива, так як коптер симетричний з центром тяжкості в центрі. Так будуть змінюватися PID параметри P, I, D, по Roll, Pitch, представлені в таблиці на рис 4. Щоб побачити ці зміни необхідно натиснути на кнопку refresh в вкладці PID tuning це в разі, якщо комп'ютер підключений до польотного контролера. При натисканні на кнопку save нові параметри будуть збережені. Під час польоту для збереження змінених параметрів PID необхідно на пульті управління опустити вниз і розвести в різні боки стіки пульта управління (рис.6). Сигнал зумера вкаже, що значення PID регулятора записані в EEPROM пам'ять контролера. Для такого регулювання параметрів необхідно мати мінімум 8-канальну систему управління. Аналогічно можна змінювати багато параметрів польотного контролера, які можна вибрати в колонці then apply вкладки Adjustments. Чим більше каналів має система управління, тим більша кількість параметрів регулюється в тестових польотах по налаштування будь-якого БПЛА. На рис. 8 показана настройка для зміни параметрів Pos XY P Adjustment, Vel XY P Adjustment, Vel XY D Adjustment, які дуже важливі для забезпечення плавного польоту коптера в режимі навігації (NAV POSTHOLD, NAV RTH) і по подорожнім точкам (NAV WP).

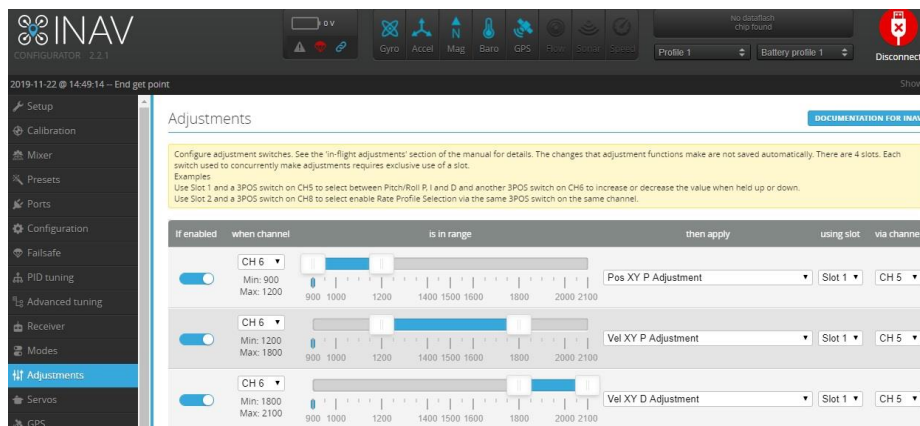


Рис. 8. Налаштування параметрів для режиму навігації

Експериментально встановлено, що одним з важливих параметрів режиму навігації є Position XY - P (рис. 4 обведений). Наприклад, якщо його зменшити від встановлених за замовчуванням, то в режимі Cruise коптер літає дуже плавно, але довго шукає шляхову точку, наприклад при поверненні в точку старту. Коптер може зависнути на кілька десятків секунд, хоча при великому значенні параметра точка визначається відразу і коптер знижується. Аналогічно і при польоті по точкам. Кожна точка визначається довго і коптер висить над нею кілька десятків секунд. Збільшення радіусу розпізнавання точки параметром nav_wp_radius поведінку коптера не змінює. Занадто велике значення Position XY - P – поведінка коптера ставати різким і нестійким. Висновком є те, що важко передбачити поведінку коптера при зміні тільки одного параметра. Складність настройки в тому, що необхідно міняти кілька параметрів для досягнення стійкості польоту. І не завжди це вдається. Налаштування по навігаційним PID-ам плавного польоту коптера в режимі Cruise (і в навігаційних режимах) є тривалою і не завжди успішною.

При установці навігаційного обладнання на коптер, армінг коптера можна виконає тільки в разі підключення до нього такої кількості супутників, які вказані у вкладці Advanced tuning в параметрі Min. GPS satellites for a valid fix, наприклад 6 супутників. Для вирішення армінга без супутників використовується

команда `set nav_extra_arming_safety = OFF`, яку вводять в вкладці CLI з подальшим введенням команди `save`. На рис. 9 представлено фото експериментального БПЛА. Компас винесено за межі корпусу GPS приймача для зменшення збоїв його роботи, помилок по шині I2C і зависання.



Рис. 9. Фото експериментального коптера

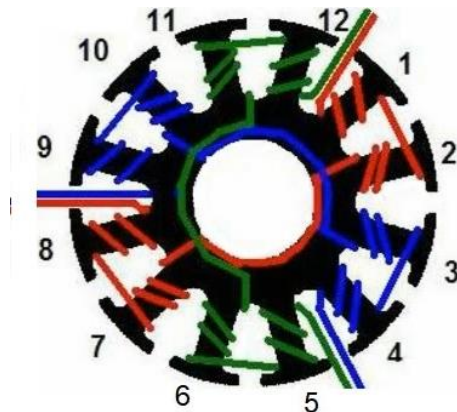


Рис. 10. Схема намотування трикутником (дельта)

Встановлено при запусках коптера, що його PID регулятори дуже чутливі до ESC регуляторам і моторам. Наприклад, установка ESC регуляторів, побудованих на різній елементній базі, але з однаковим струмом віддачі – 30A і однаковою прошивкою – Simonk, показало, що при різкому збільшенні газу, коптер перевертається по Roll і трохи по Pitch. При плавному збільшенні газу коптер піднімається стійко. На рис. 10 показана намотування (перемотування) моторів, якщо вони не будуть розвивати задану потужність для забезпечення сталого польоту при динамічному управлінні (Мотор A2212/1000. На статорі 14 магнітів, на роторі 12 полюсів. Обмотка на полюсі – 13 витків).

Висновки

1. Показана можливість зміни параметрів PID регулятора під час польоту за допомогою пульта управління для прошивки INAV.
2. Для малих оборотів моторів показана можливість використання режиму AIR MODE для збільшення ефективності роботи PID регулятора при нульовій дросельній заслінки.
3. Досліджено можливість використання прошивки INAV з польотним контролером OMNIBUSF4V3 починаючи з версії 1.9.2 для польоту по заданій траєкторії, яку можна сформувати максимум з 60 шляхових точок.
4. Розглянуто підключення до польотного контролера магнітометра, GPS приймача, моторів, радіоприймача системи управління для побудови бюджетного (до \$ 100) повністю автоматичного квадрокоптера для виконання фото зйомок місцевості по радіусу до 10км. з літій іонними елементами ємністю 6000мАч.
5. Експериментально показана можливість стабілізації кута тангажу при використанні режиму Anti-Гравіті
6. Встановлено, що PID регулятори дуже чутливі до ESC регуляторам і моторам. Наприклад, установка ESC регуляторів, побудованих на різній елементній базі, але з однаковим струмом віддачі – 30A і однаковою прошивкою – Simonk, показало, що при різкому збільшенні газу, коптер перевертається по Roll і трохи по Pitch.
7. Експериментально встановлено, що одним з важливих параметрів режиму навігації є Position XY - P. Наприклад, якщо його зменшити від встановлених за замовчуванням, то в режимі Cruise коптер літає дуже плавно, але довго шукає шляхову точку, що призводить до різкого збільшення часу польоту. Збільшення цього параметра призводить до різкого і нестійкого польоту.
8. Встановлено неможливість настройки магнітометра HMC5883L для забезпечення прямолінійного польоту коптера в режимі Cruise. Так при установки на північ з кутом 0 градусів і подальшим його розворотом на 180 градусів, програмне забезпечення INAV інтерпретує поворот не на 180, а на 191 градус.

Література

1. Мясичев А.А. Возможности полетного контроллера CC3D с прошивкой INAV / А.А. Мясичев // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький : ХНУ, 2019. – № 1. – С. 129–136.
2. Мясичев А.А. Использование платы ROBOTDYN MEGA2560 PRO для построения полетного контроллера гексакоптера / А.А. Мясичев // Вісник хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький : ХНУ, 2018. – № 3. – С. 171–179.
3. FLASHER-STM32 [Electronic resource]. – 2016. – Mode of access : <https://www.st.com/en/development-tools/flasher-stm32.html>.

4. Command Line Interface (CLI) [Electronic resource]. – 2019. – Mode of access : <https://github.com/iNavFlight/inav/blob/master/docs/Cli.md>.
5. INAV [Electronic resource]. – 2018. – Mode of access : <https://github.com/iNavFlight/inav/wiki>.
6. U-center Windows. GNSS evaluation software for Windows [Electronic resource]. – 2018. – Mode of access : <https://www.u-blox.com/en/product/u-center-windows>.
7. F1, F3, F4 AND F7 FLIGHT CONTROLLER DIFFERENCES EXPLAINED [Electronic resource]. – 2017. – Mode of access : <https://oscarliang.com/f1-f3-f4-flight-controller>
8. OMNIBUS F4V3 [Electronic resource]. – 2017. – Mode of access : http://nic.vajn.icu/PDF/radio-controlled/OMNIBUS_F4_V3.pdf
9. М'ясищев А.А. Программирование ESC регуляторов SIMONK-30A и EMAX SIMON-12A через ARDUINO и полетный контроллер / А.А. М'ясищев // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький : ХНУ, 2019. – № 2. – С. 228–237.
10. INAV Configurator 2.2.1 [Electronic resource]. – 2019. – Mode of access : <https://github.com/iNavFlight/inav-configurator/releases/tag/2.2.1>
11. Карпов В.Э. ПИД-управление в нестрогом изложении [Electronic resource]. – Москва, 2012. – Mode of access : http://robobob.ru/materials/articles/pages/Karpov_mobline1.pdf
12. QUADCOPTER PID EXPLAINED [Electronic resource]. – 2019. – Mode of access : <https://oscarliang.com/quadcopter-pid-explained-tuning/>
13. Open-Source flight controller software for modern flight boards [Electronic resource]. – 2018. – Mode of access : <http://cleanflight.com/>.
14. М'ясищев А.А. Построение БПЛА на базе полетного контроллера APM 2.6 / А.А. М'ясищев // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький : ХНУ, 2016. – № 5. – С. 225–230.
15. М'ясищев А.А. Программирование ESC регуляторов прошивками SIMONK и BLHELI через ARDUINO и полетный контроллер [Electronic resource]. – Mode of access : https://www.researchgate.net/publication/332381105_PROGRAMMIROVANIE_ESC_REGULATOROV_PROSIVKAMI_SIMONK_I_BLHELI_CEREZ_ARDUINO_I_POLETNYJ_KONTROLLER, 2019

References

1. Myasishev A.A. Vozmozhnosti poletnogo kontrollera SS3D s proshivkoj INAV / A.A. Myasishev // Herald of Khmelnytskyi National University. – Hmelnyckij : HNU, 2019. – № 1. – S. 129–136.
2. Myasishev A.A. Ispolzovanie platy ROBOTDYN MEGA2560 PRO dlya postroeniya poletnogo kontrollera geksakoptera / A.A. Myasishev // Herald of Khmelnytskyi National University. – Hmelnyckij : HNU, 2018. – № 3. – S. 171–179.
3. FLASHER-STM32 [Electronic resource]. – 2016. – Mode of access : <https://www.st.com/en/development-tools/flasher-stm32.html>.
4. Command Line Interface (CLI) [Electronic resource]. – 2019. – Mode of access : <https://github.com/iNavFlight/inav/blob/master/docs/Cli.md>.
5. INAV [Electronic resource]. – 2018. – Mode of access : <https://github.com/iNavFlight/inav/wiki>.
6. U-center Windows. GNSS evaluation software for Windows [Electronic resource]. – 2018. – Mode of access : <https://www.u-blox.com/en/product/u-center-windows>.
7. F1, F3, F4 AND F7 FLIGHT CONTROLLER DIFFERENCES EXPLAINED [Electronic resource]. – 2017. – Mode of access : <https://oscarliang.com/f1-f3-f4-flight-controller>
8. OMNIBUS F4V3 [Electronic resource]. – 2017. – Mode of access : http://nic.vajn.icu/PDF/radio-controlled/OMNIBUS_F4_V3.pdf
9. Myasishev A.A. Programirovanie ESC reguljatorov SIMONK-30A i EMAX SIMON-12A cherez ARDUINO i poletnyj kontroller / A.A. Myasishev // Herald of Khmelnytskyi National University. – Hmelnyckij : HNU, 2019. – № 2. – S. 228–237.
10. INAV Configurator 2.2.1 [Electronic resource]. – 2019. – Mode of access : <https://github.com/iNavFlight/inav-configurator/releases/tag/2.2.1>
11. Karpov V.E. PID-upravlenie v nestrogom izlozhenii [Electronic resource]. – Moskva, 2012. – Mode of access : http://robobob.ru/materials/articles/pages/Karpov_mobline1.pdf
12. QUADCOPTER PID EXPLAINED [Electronic resource]. – 2019. – Mode of access : <https://oscarliang.com/quadcopter-pid-explained-tuning/>
13. Open-Source flight controller software for modern flight boards [Electronic resource]. – 2018. – Mode of access : <http://cleanflight.com/>.
14. Myasishev A.A. Postroenie BPLA na baze poletnogo kontrollera APM 2.6 / A.A. Myasishev // Herald of Khmelnytskyi National University. – Hmelnyckij : HNU, 2016. – № 5. – S. 225–230.
15. Myasishev A.A. Programirovanie ESC reguljatorov proshivkami SIMONK i BLHELI cherez ARDUINO i poletnyj kontroller [Electronic resource]. – Mode of access : https://www.researchgate.net/publication/332381105_PROGRAMMIROVANIE_ESC_REGULATOROV_PROSIVKAMI_SIMONK_I_BLHELI_CEREZ_ARDUINO_I_POLETNYJ_KONTROLLER, 2019

Рецензія/Peer review : 9.5.2020 р. Надрукована/Printed : 16.6.2020 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

ПРОГНОЗУВАННЯ ТИСКУ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ В СИСТЕМІ «ФІГУРА – СУКНЯ»

Авторами статті досліджений механізм формування суконь, що дало можливість прогнозування їх об'єму, форми та виникаючого під ними компресійного тиску на м'які тканини.

Для вивчення властивостей текстильних матеріалів та отримання бази даних механічних характеристик зразків тканин під час їх розтягу та стиску був використаний комплекс KES-F, обґрунтовано вибір визначальних показників, які спільно з конструктивними параметрами впливають на компресійний тиск. В ході виконання досліджень використали метод кореляційного аналізу.

Для жіночих суконь з додатними значеннями основних конструктивних прибавок до охопту за лініями грудей, талії та стегон розроблені універсальні моделі для прогнозування фізичного тиску та його суб'єктивного сприйняття на основі об'ємних конструктивних прибавок, величина яких залежить від показників розтягу та чистого згину матеріалів тканин.

Досліджений спільний вплив на комфортність суконь показників властивостей матеріалів і об'єму суконь.

Отримана база даних для віртуального моделювання та відображення фізичної і психологічної взаємодії між фігурою і сукнею в статичних і динамічних умовах. Виявлені залежності між показниками властивостей текстильних матеріалів, виміряних на комплексі KES-F та виникаючим під оболонками в системі «фігура – одяг» компресійним тиском.

Розроблені математичні моделі для прогнозування тиску текстильних матеріалів в системі «фігура – сукня», які дозволяють, без проведення трудомістких експериментальних досліджень, виконувати моделювання, дослідження та оптимізацію форм та розмірів жіночих суконь з метою забезпечення їх комфортності.

Ключові слова: компресійний тиск, властивості тканин, показники, конструктивні параметри, жіночі сукні, матеріали, комфортність одягу.

O.V. NAKHAYCHUK, E.A. ZAKHAROVA, A.A. MIZRAH, V.S. GOROBCHYSHYNA

Vinnitsia Institute of Designing of Clothes and Entrepreneurship

PRESSURE FORECASTING OF TEXTILE MATERIALS IN THE "FIGURE-DRESS" SYSTEM

The authors of the article investigated the mechanism of forming dresses, which made it possible to predict their volume, shape and the resulting compression pressure on soft tissues. To study the properties of textile materials and obtain a database of mechanical characteristics of tissue samples during their stretching and compression, the KES-F complex was used, the choice of determinants that together with the design parameters affect the compression pressure is justified. When performing research, the method of correlation analysis was used. For women's dresses with positive values of the main design increments to the coverage of the chest, waist and hips, universal models have been developed to predict physical pressure and its subjective perception based on volumetric design increments, the value of which depends on stretch and sheer bending of fabric materials. There is a joint effect on the comfort of dresses in terms of material properties and volume of dresses. The database for virtual modeling and display of physical and psychological interaction between a figure and a dress in static and dynamic conditions is received. The relationships between the indicators of the properties of textile materials measured on the KES-F complex and the compression pressure arising under the shells in the "figure-clothing" system are revealed. Mathematical models have been developed for predicting the pressure of textile materials in the "figure-dress" system, which allow, without time-consuming experimental research, to perform modeling, research and optimization of shapes and sizes of women's dresses to ensure their comfort.

Keywords: compression pressure, fabric properties, performance, design parameters, women's dresses, materials, comfort of clothes.

Вступ

Відчуття комфортності в процесі носіння одягу залежить від його конструктивних особливостей, використаних матеріалів і показників їх властивостей, що виявляються в одязі саме під впливом конструктивних рішень. Однак база даних, яка би достатньо формалізувала вплив показників властивостей текстильних матеріалів та умов, необхідних і достатніх для прояву ними такого впливу в одязі, ще не сформована. Без неї неможливо якісне і реалістичне віртуальне проектування тривимірних систем «фігура – одяг».

Метою статті є вибір і обґрунтування тих показників властивостей матеріалів, які спільно з конструктивними параметрами впливають на компресійний тиск. Надалі отримана база даних була використана для віртуального моделювання та відображення фізичної і психологічної взаємодії між фігурою і сукнею в статичних і динамічних умовах.

Експериментальна частина

Для вивчення комфортності суконь були обрані п'ять жіночих фігур приблизно одного соматичного типу та кольору шкіри з розмірними ознаками, близькими до типової фігури. Для дослідження використано антропометричні точки для вимірювання тиску сукні на поверхню тіла: P1 – передній кут пахвової западини, P2 – задній кут пахвової западини, P3 – виступаюча точка грудних залоз, P4 – точка в пахвовій западині, P5 – точка нижче лопатки точки на рівні охопту груді третього, P6 – точка спереду на рівні талії, P7 – точка збоку на рівні талії, P8 – точка ззаду на рівні талії, P9 – виступаюча точка сідниць, P10 – плечова

точка, P11 – точка по низу рукава спереду, P12 – точка по низу рукава збоку, P13 – точка по низу рукава ззаду.

Комфортність суконь оцінювали з використанням об'єктивних і суб'єктивних показників: використовували прилади, вимірюючи тиск в обраних антропометричних точках, і експериментальним шляхом, пропонуючи носіям суконь ранжувати свої відчуття від суконь в цих же точках в шести різних позах (1 – нахил убік, 2 – нахил вперед, 3 – підйом рук, 4 – відведення рук назад, 5 – вихід з автомобіля, 6 – піднімання по сходах).

Для експертної оцінки використовували колишню шкалу: некомфортно «U» – 2 бали, задовільно «E» – 1 бал, комфортно «C» – 0 [1]. Результати вимірювання тиску і ранги суб'єктивних відчуттів наведені в табл. 1.

З табл. 1 випливає, що вплив матеріалів на фізичні показники і сенсорні відчуття носіїв суконь досить істотний: для обраної форми сукні заміна матеріалу M1 на M3 знижує виникаючий тиск з 563,1 до 353,8 Па (на 37%) і підвищує ранг комфортності з 1,1 до 0,1 (майже на 100%). Таке порівняння тканини і трикотажного полотна підтверджує виключно високий вплив матеріалів в комфортність.

Таблиця 1

Компресійний тиск і його суб'єктивна оцінка

Антропометрична точка (див. рис. 1)	Середнє значення тиску P (Па), розрахованого в шести позах та для п'яти систем «фігура – сукня» для різних матеріалів			Осереднені суб'єктивні ранги ступені комфортності CP для різних матеріалів		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3
1	2	3	4	5	6	7
P1	669,4	612,4	427,6	0,9	0,6	0
P2	898,8	780,2	616,8	0,6	0,3	0
P3	210,8	177,3	120	0,1	0	0
P4	1197,7	1033	788,6	0,6	0,4	0
P5	851,9	500,8	338	0,2	0,2	0
P6	495,3	450,4	339,1	0,6	0,4	0
P7	465,7	419,3	276,8	0,8	0,3	0
P8	452,7	406	232,2	0,8	0,2	0
P9	417,8	340,3	205,4	0	0	0
P10	548,6	498,4	393,6	0	0	0
P11	367,2	348,1	287,6	1,1	0,8	0,2
P12	596,5	565,1	458,5	1,1	0,8	0,04
P13	148	132,3	113,2	0,04	0,04	0
Середньоарифметичне значення	563,1	481,8	353,6	1,1	0,7	0,1

Досліджено прогнозування тиску за стандартизованими показниками розтяжності і жорсткості матеріалів. Після підтвердження впливу обраних матеріалів на комфортність суконь необхідно вибрати такі показники властивостей, які найбільш впливають на виникнення компресійного тиску і сенсорні відчуття. Оскільки досліди проводились на двох групах и приладів, то для кожної групи були використані власні показники. За допомогою показників властивостей матеріалів з першої групи отримані наступні рівняння для прогнозування тиску і показника комфортності:

$$P = 1.1 KPIV - 49.5 So + 50.6 Sy - 2335 (F = 1,477), \quad (1)$$

$$CP = 0.0006 KPIV - 0.03 So + 0.03 Sy - 1.7 (F = 9,629), \quad (2)$$

де So , Sy – частка пружної деформації розтягу відповідно уздовж основи (So) і утока (Sy),%; P – компресійний тиск під одягом, Па; CP – суб'єктивний показник комфорту; $KPIV$ – об'ємна конструктивна прибавка, см³. Значення критерію Фішера вказано в дужках.

Встановлено, що показники з першої групи не гарантують високої адекватності рівнянь для прогнозування показників обсягу суконь та їх комфортності через розбіжності умов випробування зразків і взаємодії одягу з фігурою. Для відбору значимих показників властивостей матеріалів з другої групи були досліджені кореляційні зв'язки між ними, відібрані незалежні показники для кожної властивості, перевірені зв'язки між ними для основи і утока з об'єктивними і суб'єктивними показниками комфорту [2]. Значення коефіцієнтів кореляції наведені в табл. 2 для фізичного тиску P (Па) і сенсорного сприйняття CP . За впливом на комфортність показники властивостей матеріалів склали наступний ряд (в порядку зменшення їх впливу на об'єктивні і суб'єктивні показники тиску за середнім значенням коефіцієнту кореляції):

$$WC (-0,53) - 2NB (0,53) - B (0,5125) - RT (-0,47) - LT (0,4425) - 2HG5 (0,3475).$$

Варта уваги абсолютна адекватність послідовності ранжируваних показників в рядах (А) і (В) для об'єму і тиску. Це свідчить про існування єдиного механізму для обох досліджуваних явищ: формоутворення одягу та його тиску на поверхню тіла [3].

На основі аналізу та встановлених обмежень обрані два показника з різних груп: жорсткість при вигині **В** та лінійність кривої «навантаження – розтяг/пауза» **LT** (як більш незалежний показник в порівнянні з **RT**).

Показники властивостей матеріалів з другої групи включені в наступні рівняння для прогнозування

тиску і комфортності ($n = 27$, $p = 95\%$, $F_{\text{крит}} = 1,91$):

$$P = 24.55 + 577.4 \text{ LT} + 775.56 \text{ B} \quad (F = 2.23), \quad (3)$$

$$CP = -0.07 + 0.12 \text{ LT} + 0.31 \text{ B} \quad (F = 12.43), \quad (4)$$

де P – тиск, Па; CP – суб'єктивний ранг ступеня комфортності; LT – середнє значення лінійності кривої «навантаження – розтяг/пауза» по основі і утоку при навантаженні 500 сН/см,²; B – середнє значення жорсткості при вигині по основі і утоку, сН · см/см.

Похибка прогнозування абсолютного тиску і його суб'єктивного сприйняття стає істотно меншою за допомогою показників, виміряних на приладах KES-F і PT-250M, ніж в рівняннях (1) і (2) завдяки схожості процесів деформування при випробуваннях проб і одягу в системі «фігура – сукня».

Таблиця 2

Коефіцієнти лінійної парної кореляції між показниками властивостей матеріалів KES-F і тиском в системі «фігура – сукня»

Показник та напрям змін	Коефіцієнт кореляції		Показник та напрям змін	Коефіцієнт кореляції	
	P	CP		P	CP
G	основа	0,1223	B	основа	0,367
	уток	0,1904		уток	0,367
2HG	основа	-0,2814	2HB	основа	0,3674
	уток	-0,2671		уток	0,3862
2HGS	основа	0,2576	LC	-	-0,37
	уток	0,2893	WC	-	-0,3711
LT	основа	0,3644	RC	-	-0,2169
	уток	0,3076	TO	-	-0,2999
WT	основа	-0,3611	TM	-	-0,35
	уток	-0,3895	MIU	основа	-0,36
RT	основа	0,3323		уток	0,196
	уток	-0,3734	MMD	основа	-0,156
EMT	основа	-0,3617		уток	0,3961
	уток	-0,3788	SMD	основа	0,3798
INT	основа	-0,361		уток	0,3851
	уток	-0,4	КФ Kawabata	-	-0,3916
B-INT	основа	-0,36		КФ Lindberg	-
	уток	-0,38	-		0,696
F0,5	основа	0,365			
	уток	0,338			

Розглянемо спільний вплив на комфортність суконь показників властивостей матеріалів і об'єму суконь з використанням методу кореляційного аналізу. Для цього вивчався вплив на показники комфортності показників з двох груп: виміряних на плоских пробах і виміряних в системі "фігура – сукня" (табл. 3). За силою впливу на суб'єктивний ранг комфортності CP показники утворюють ряд: $KPV_{O_{T4-O6}} - KPV_{O_{T3-O6}} - B_0 - B_y - L_{to} - LT_y$ (послідовність C). За силою впливу на суб'єктивний ранг комфортності CP показники розташовуються в порядку зменшення: $KPV_{O_{T3-O6}} - B_0 - KPV_{O_{T4-O6}} - B_y - L_{to} - LT_y$ (послідовність D).

Найбільш сильний вплив на зміну тиску (коефіцієнт кореляції $r = 0,858$) і викликаного їм суб'єктивне відчуття ($r = 0,6267$) надає об'ємна конструктивна прибавка $KPV_{O_{T4-O6}}$ між верхньою та нижньою опорними поверхнями. Слідом за нею розташовується повна прибавка. Такий результат не є випадковим. Наявність повітряного прошарку між фігурою і одягом, що оцінюється за значенням KPV , дозволяє одягу переміщатися відносно тіла, створюючи різні умови для реалізації матеріалом своїх властивостей і виникнення тиску.

Інтенсивність впливу обраних показників фізико-механічних властивостей приблизно однакова. З послідовностей (C) і (D) впливає виключно важливий висновок для розробки методології прогнозування комфортності одягу: вплив показників властивостей матеріалів, виміряних на зразках, посилюється в декілька разів в умовах просторового формоутворення текстильної оболонки навколо фігури. Це підтверджують проранговані в порядку зменшення показники, ранги яких були розраховані за середніми значеннями коефіцієнтів кореляції для P і CP : $KPV_{O_{T4-O6}} - KPV_{O_{T3-O6}} - B_0 - B_y - L_{T_0} - L_{T_y}$.

Дані табл. 3 дозволяють зробити й інший дуже важливий висновок: вплив показників властивостей матеріалів на комфортність обмежений величиною об'ємної конструктивної прибавки – при збільшенні об'єму одягу внесок властивості матеріалу в зростання тиску буде зменшуватися. У загальному вигляді тиск, що виникає під одягом, може бути виражений в такий спосіб:

$$P(CP)_{ij} = f[KPV, \lim TM], \quad (5)$$

де $P(CP)_{ij}$ – тиск (суб'єктивний ранг комфортності) в i -й антропометричній точці в певній динамічній j -й позі, Па (бал); KPV – об'ємна конструктивна прибавка, см³; TM – одиничний або комплексний показник якості текстильного матеріалу. Оскільки була підтверджена залежність KPV від самих значимих показників B і LT , то їх можна виключити з рівняння (5), а в модель для прогнозування тиску включити тільки KPV .

Кореляційна матриця

Вихідні фактори до системи «фігура – сукня»	Коефіцієнт кореляції для вхідних факторів, що відносяться до показників властивостей матеріалів та обсягу сукні							
	в пласкому стані				в об'ємному стані			
	Жорсткість при згині за основою V_0	Жорсткість при згині по утку V_y	Лінійність кривої за основою LT_0	Лінійність кривої за утком LT_y	Повна KPV_{Or3-05}	Під верхньою опорною поверхнею $KPV_o r3-0r4$	Між верхньою та нижньою опорними поверхнями $KPV_{Or4-0r6}$	Над нижньою поверхнею KPV_{Or3-06}
X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	
Тиск P (Y_1), Па	0,37/(3)	0,37/(3)	0,36/(4)	0,31/(3)	0,3956/(5)	0,345	0,858/(1)	0,78
Ранг комфортності CP (Y_2), балів	0,69/(2)	0,62/(4)	0,61/(5)	0,49/(6)	0,7112/(1)	0,411/(7)	0,627/(3)	0,9687
Об'єм вибірки	39	39	39	39	39	9	9	3
Критичний коеф. корел.	0,236				0,5822			0,9877
Середньо-арифм. знач. коеф. кореляції та їх ранг	0,53 (3)	0,485 (4)	0,485 (4)	0,4 (5)	0,5534 (2)	-	0,7424 (1)	-

Рівняння для прогнозування величини тиску і його суб'єктивного сприйняття залежно від величин об'ємних прибавок в жіночих сукнях з додатними значеннями конструктивних прибавок мають вигляд:

$$P = 0,5734 KPV_{Or3-06} - 705,6, \quad (6)$$

$$P = 0,7148 KPV_{Or4-06} - 33,7, \quad (7)$$

$$CP = 0,0002 KPV_{Or3-06} - 0,357, \quad (8)$$

$$CP = 0,0003 KPV_{Or4-06} - 0,118, \quad (9)$$

де P – тиск, Па; CP – ранг комфортності, балів; KPV_{Or3-06} , KPV_{Or4-06} – об'ємна конструктивна прибавка, повна та розташована між верхньою і нижньою опорними поверхнями, см³.

Спільне рішення рівнянь (6)...(9) створює основу для єдиного механізму прогнозування об'єму форми суконь і тиску, який вони створюють. При цьому можуть бути враховані конструктивні параметри 2D креслень і показники властивостей матеріалів.

Рівняння для прогнозування тиску за адаптованими показниками розтяжності (3) включає показник LT , вимірний під навантаженням 500 сН/см. Такі навантаження не завжди характерні для побутового одягу вільної форми. Для щільного прилягання або за наявності антропоморфних форм жіночих суконь з трикотажних і стретчевих матеріалів розтяжність останніх буде визначальним фактором у виникненні тиску в порівнянні з жорсткістю. Тому пропонується використовувати для таких суконь показники, виміряні при малих навантаженнях на приладі KES-FB-1 і які названі адаптованими. Запропонований нами алгоритм вибору адаптованих показників і їх використання для опису реальних процесів в одязі включає наступні кроки:

1) експериментальне дослідження систем «фігура – одяг» для встановлення наступних параметрів: умов деформування текстильної оболонки (наприклад, напрямки дії і величин зусиль, величин розтягу матеріалу L , кутів перекошу між основою і утком та ін.); компресійного тиску P , що чинить текстильна оболонка на м'які тканини тіла при їх щільному контакті; ефекту зміщення м'яких тканин під впливом оболонки (push-up).

2) експериментальні дослідження текстильних матеріалів на приладі KES-FB-1 і знаходження за діаграмами «зусилля – розтяг» величин зусиль F , необхідних для розтягу текстильних матеріалів в реальних системах «фігура – одяг» L ;

3) розробка математичних моделей для прогнозування компресійного тиску текстильних оболонок на м'які тканини тіла або ефектів корекції м'яких тканин у вигляді:

$$P = f(F, L), EK = f(F, L), \quad (10)$$

де P , EK – відповідно компресійний тиск текстильної оболонки або ефект корекції м'яких тканин тіла в вигляді їх цілеспрямованого зміщення, виміряні в системі «фігура – одяг», Па, або см; F , L – відповідно зусилля розтягу і видовження текстильного матеріалу, виміряні на приладі KES-FB-1, сН/см або%.

В якості об'єктів досліджень були взяті жіночі сукні, виготовлені з різних матеріалів і маючі позитивні величини конструктивних прибавок до обхватів грудей (1,8 ... 9,8 см), талії (1,8 ... 5,8 см) і стегон (2,3 ... 10,3 см). Для суконь були використані ті ж тканини ($M1$, $M2$) і трикотажне полотно ($M3$).

На **першому етапі** матеріали досліджували на приладі KES-FB-1 для визначення їх базових стандартизованих і адаптованих показників:

- пов'язані з розтягом зразку: LT – лінійність кривої «зусилля – розтяг», що дорівнює відношенню площі під кривою до загальної площі прямокутного трикутника зі сторонами, рівними найбільшому навантаженню і найбільшому подовженню; WT – енергія (робота) розтягу, рівна площі діаграми під кривою розтягу, сН·см/см²; EMT – відносна деформація подовження під навантаженням 500сН,%; F – зусилля,

необхідне для відносного подовження зразку на 0,3 ... 10%. Величина відносного подовження рівнозначна негативним конструктивним прибавкам;

- пов'язані з релаксацією розтягнутого зразку: RT – частка пружної деформації, що дорівнює відношенню площі діаграми під кривою релаксації до роботи розтягу, %.

Адаптований під умови реального деформування B показник – зусилля розтягу, необхідне для подовження зразка на малу величину - вираховували за діаграмами «зусилля – розтяг».

Значення базових стандартизованих і додаткових адаптованих показників наведені в табл. 4. З наведених даних випливає, що подовження ЕМТ має значення 1,782 ... 30,743 %. Виявлено, що коефіцієнти варіації для адаптованих показників становлять 1...43,7; що значно вище, ніж для базових стандартизованих показників 0,23 ... 2,2 і свідчить про більшу змінність перших.

Таблиця 4

Показники матеріалів для суконь, виміряні на приладі KES-FB-1

№ п/п	Показник	вздовж полотна (о) / поперек полотна (у)	Середнє значення показника для матеріалів			C _v
			M1	M2	M3	
Зусилля розтягу, F(L), сН/см, необхідне для відносного видовження проби на величину L						
1	F(0,3)	о	43,5	48,3	0	1,58
		у	0	2,4	0	1
2	F(0,6)	о	116,2	116,2	1,2	1,48
		у	2,1	6,5	0	2,26
3	F(0,9)	о	216,6	208,6	2,2	1,24
		у	4,6	10,8	0	2,11
4	F(1,2)	о	318,5	311,3	4,2	1,49
		у	8,8	13,5	0,8	1,65
5	F(1,5)	о	407,1	430,7	6,3	2,52
		у	12,4	19,2	1,3	1,63
6	F(2)	у	19,8	27,2	2	1,54
7	F(4)	у	58,8	63,3	9	43,7
8	F(6)	у	123,6	111,3	19,2	1,23
9	F(8)	у	222,3	170,8	29,5	1,38
10	F(10)	у	353,7	247,7	43	1,45

Таблиця 5

Коефіцієнти парної кореляції між показниками розтягу матеріалів та компресійним тиском суконь на м'які тканини

Група показників	Показник	Коефіцієнти парної кореляції	
		основа (вздовж полотна)	уток (поперек полотна)
Базові	LT	0,9198	0,7763
	WT	-0,9113	-0,983
	EMT	-0,913	-0,9561
	RT	0,8387	-0,9424
Адаптовані	F(0,3)	0,8747	0
	F(0,6)	0,9149	0,4169
	F(0,9)	0,928	0,5194
	F(1,2)	0,9228	0,7036
	F(1,5)	0,8938	0,6957
	F(2)	-	0,7574
	F(4)	-	0,8822
	F(6)	-	0,953
	F(8)	-	0,988
	F(10)	-	0,9973

На **другому етапі** були виміряні значення тисків під сукнями в 13 антропометричних точках фігури під час виконання різних рухів, що супроводжувалися розтягуванням матеріалів і появою компресійного тиску під ними [4]. Інтервал значень тиску склав 0,12...1,2 кПа.

На **третьому етапі** був проведений кореляційний аналіз між показниками властивостей матеріалів і компресійним тиском, виміряним під сукнями з цих же матеріалів. Коефіцієнти кореляції наведені в табл. 5. Встановлено, що компресійний тиск за ступенем впливу залежить від показників (в порядку зменшення): $[F(10)_y - F(8)_y - W_{ty} - EMT_y - F(6)_y] - [F(90,9)_0 - F(1,2)_0 - LT_0 - F(0,6) - EMT_0 - WT_0]$.

Найбільш тісні зв'язки існують з адаптованими показниками, виміряними при розтягу за утком на 6...10%. Менші значення зусиль розтягу чинять не настільки виражений вплив на компресійний тиск. При збільшенні зусиль розтягу матеріалу одягу тиск пропорційно збільшується [5].

Базові показники ЕМТ, виміряні під навантаженням 500 сН/см та LT не мають таких тісних зв'язків

з компресійним тиском, як адаптовані.

Таким чином, кореляційний аналіз підтвердив доцільність використання нестандартизованих показників KES-F та їх адаптованих до реальних умов експлуатації аналогів, вимірних при малих навантаженнях. Пряма залежність між видовженням матеріалу та виникаючого в ньому напруження, з одного боку, та компресійного тиску, з іншого, дозволяє ціленаправлено керувати комфортністю на етапах проектування при виборі від'ємних конструктивних прибавок.

Модель із найвищою адекватністю для прогнозування компресійного тиску суконь на фігуру має вигляд:

$$P = 0,8F(10)_y + 330, (F= 12,4) \quad (11)$$

де P – компресійний тиск під напруженою текстильною оболонкою, Па; $F(10)_y$ – зусилля, необхідне для розтягу текстильного матеріалу з утоком (поперек полотна) на 10 %, сН/см.

Висновки

1. Досліджений механізм формоутворення суконь, що дало можливість прогнозування їх об'єму, форми та виникаючого під ними компресійного тиску на м'які тканини. Показана та доведена доцільність використання комплексу KES-F для виміру показників властивостей текстильних матеріалів, які можна використати з метою прогнозування об'єму форми суконь та виникаючого під ними компресійного тиску на м'які тканини. Підтверджений єдиний механізм для двох процесів – формоутворення суконь навкруги форми та створюваного ним тиску, які викликані одними і тими ж показниками властивостей текстильних матеріалів при їх розтягу та згині.

2. Підтверджено існування стійких залежностей між показниками властивостей текстильних матеріалів, вимірних на комплексі KES-F та виникаючим під оболонками в системі «фігура – одяг» компресійним тиском.

3. Показана ефективність застосування нового показника для вибраних форм суконь та використаних матеріалів – зусилля розтягу матеріалів, що має значення $214,7 \pm 91$ сН/см, та необхідного для їх видовження на 6...10 % для прогнозування компресійного тиску суконь на м'які тканини тіла.

4. Отримано дві групи математичних рівнянь для прогнозування компресійного тиску суконь на м'які тканини тіла в залежності від обсягу сукні та показників властивостей текстильних матеріалів, вимірних при стандартизованих умовах при навантаженні 500 сН/см та при дії малих за величиною розтягуючи зусиль, додатніх для розтягу матеріалів на 6...10 %.

5. Для жіночих суконь з додатними значеннями основних конструктивних прибавок до обхвату по лінії грудей, талії та стегон розроблені універсальні моделі для прогнозування фізичного тиску та його суб'єктивного сприйняття на основі об'ємних конструктивних прибавок, величина яких залежить від показників розтягу та чистого згину. Встановлено, що умовами для найбільш точного прогнозування компресійного тиску в цьому випадку є наступні умови випробовування – зусилля розтягу $214,7 \pm 91$ сН/см та відносного видовження на 6...10 %.

Література

1. Березненко М.П. Роль одягу, як фактора оздоровчого характеру / М.П. Березненко, І.М. Федоткін, О.Й. Янцеловський, С.М. Березненко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2013. – № 3.– С. 16–19.
2. Нахайчук О.В. Використання статистичних методів дослідження антропометричної інформації / О.В. Нахайчук, Е.А. Захарова, А.А. Мізрах // Вісник Хмельницького національного технічного університету. Технічні науки. – 2017. – № 1. – С. 79–82.
3. Pratt J., West G. Pressure garments: a manual on their design and fabrication. Bath, UK: Bath Press, 1995.
4. Guo M., Kuzmichev V.E., Adolphe D.C. Human-friendly design of virtual systems “femalebody - dress”. AUTEXResearchJournal, 2015, March, vol. 15, №. 1, p. 19–29.
5. Ciesielska-Wrobel I.-L., Langenhove L.V. The hand of textiles – definitions, achievements, perspectives – a review. Textile Research Journal, 2012, 82(14), p. 1457–1468.

References

1. Bereznenko M.P. Rol odiahu, yak faktora ozdorovchoho kharakteru / M.P. Bereznenko, I.M. Fedotkin, O.I. Yantselovskiy, S.M. Bereznenko // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2013. – № 3.– S. 16–19.
2. Nakhaichuk O.V. Vykorystannia statystychnykh metodiv doslidzhennia antropometrychnoi informatsii / O.V. Nakhaichuk, E.A. Zakharova, A.A. Mizrah // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2017. – № 1. – S. 79–82.
3. Pratt J., West G. Pressure garments: a manual on their design and fabrication. Bath, UK: Bath Press, 1995.
4. Guo M., Kuzmichev V.E., Adolphe D.C. Human-friendly design of virtual systems “femalebody - dress”. AUTEXResearchJournal, 2015, March, vol. 15, №. 1, p. 19–29.
5. Ciesielska-Wrobel I.-L., Langenhove L.V. The hand of textiles – definitions, achievements, perspectives – a review. Textile Research Journal, 2012, 82(14), p. 1457–1468.

Рецензія/Peer review : 02.06.2020 р.

Надрукована/Printed : 27.6.2020 р.
Рецензент: к.ф.-м.н. Шньорко В.М.

А.О. НІЧЕПОРУК, А.А. НІЧЕПОРУК, Ю.О. НІЧЕПОРУК, А.Д. КАЗАНЦЕВ
Хмельницький національний університет

МЕТОД ВИОКРЕМЛЕННЯ ФРАГМЕНТІВ БОТ-МЕРЕЖ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ МЕРЕЖЕВОГО ТРАФІКУ

В роботі запропоновано метод виявлення фрагментів бот-мереж на основі аналізу мережевого трафіку. Метод заснований на представленні шкідливої активності, що здійснюють боти в локальній мережі у вигляді зваженого орієнтованого графу, де вершинами виступають хости мережі, а ребрами – зв'язки між хостами. З метою виявлення шкідливої активності на хості використовуємо IDS Snort – мережеву систему виявлення вторгнень, що працює за принципом мережевих сніферів. Всі шкідливі активності розподілено сім категорій: контроль, сканування, спам, отримання інформації, завантаження, атака та категорія інші. Зв'язність графу забезпечується наявністю ребер, які мають ваги. Вагою ребра, що з'єднує два вузли, є імовірність того, що два вузли є частиною однієї бот-мережі. Для визначення імовірності того, що два вузли є частиною однієї бот-мережі використовується правило Байєса. Оновлення вагів ребер відбувається після кожного інтервалу часу в межах загального часу моніторингу шкідливої активності. Наприкінці часу моніторингу здійснюється розбиття отриманого графу на підграфи, що відповідають окремим бот-мережам. Для розбиття графу на підграфи розроблений алгоритм, що дозволяє виділити фрагменти різних бот-мереж, які присутні в локальній мережі. Представлений алгоритм використовує "жадібний" підхід та ґрунтується на обчисленні максимального виграшу, який може принести перенесення будь-якої вершини в той чи інший підграф розбиття.

Ключові слова: бот-мережа, мережевий трафік, орієнтований граф, хост.

A.O. NICHEPORUK, A.A. NICHEPORUK, Y.O. NICHEPORUK, A.D. KAZANTSEV
Khmelnitskyi National University

METHOD OF DETECTING FRAGMENTS OF BOTNETS BASED ON THE ANALYSIS OF NETWORK TRAFFIC

The paper proposes a method of detecting fragments of botnets based on the analysis of network traffic. The proposed method depends primarily on the temporary relationships of malicious actions between computers on the network and does not depend on the architectures of botnets and the tools used to manage them. The method is based on the representation of malicious activity performed by bots in the local network in the form of a weighted oriented graph, where the vertices are the hosts of the network, and the edges are the connections between the hosts. In order to detect malicious activity on the host, we use IDS Snort - a network intrusion detection system that works on the principle of network sniffers. All malicious activities are divided into seven categories: control, scanning, spam, information retrieval, downloads, attacks and other categories. The connectivity of the graph is ensured by the presence of edges that have weights. The weight of the edge connecting the two nodes is the probability that the two nodes are part of the same bot network. The Bayesian rule is used to determine the probability that two nodes are part of the same bot network. The edge weights are updated after each time interval within the total time of harmful activity monitoring. At the end of the monitoring time, the obtained graph is divided into subgraphs corresponding to individual bot networks. An algorithm has been developed to divide a graph into subgraphs, which allows to select fragments of different bot networks that are present in the local network. The presented algorithm uses a "greedy" approach and is based on the calculation of the maximum gain that can bring the transfer of any vertex in a subgraph of the partition. To verifying the effectiveness of the proposed method, a number of experiments were performed, which included determining the fact of the presence of a botnet on a local computer network.

Keywords: botnet, network traffic, oriented graph, host.

Вступ

У сучасному світі бот-мережі стали однією з найбільших загроз безпеці для корпоративних мереж підприємств. Зловмисники або ботмайстри використовують бот-мережі для запуску DDoS, щоб паралізувати великі веб-сайти. Вони також використовують «фішингові» атаки, щоб викрасти конфіденційну інформацію (наприклад, облікові записи користувачів та паролі), надіслати об'ємну рекламу електронною поштою та/або здійснити шахрайство з кліками. Навіть незважаючи на те, що технології їх виявлення були значно удосконалені, загроза бот-мереж все ще залигається актуальною і сьогодні.

Сучасні методи в першу чергу спрямовані на виявлення бот-мереж та попередження їх поширення [1]. Проте при виявленні таких загроз розробники досить часто нехтують умовою наявності декількох бот-мереж, що інфікували одну локальну мережу [2]. Це значно знижує ефективність залучених методів по виявленню бот-мереж в локальній мережі. Тому актуальною є задача розроблення методу виокремлення фрагментів бот-мереж на основі аналізу мережевого трафіку.

Попередні дослідження

Розглянемо детальніше відомі методи виявлення та локалізації бот-мереж у локальних мережах.

Методи виявлення бот-мереж, що представлені в роботах [3, 4], базуються на аналізі трафіку та залучають методи, які засновані на порівнянні отриманих результатів аналізу трафіку з шаблонами бази аномалій. Головним недоліком цієї групи підходів є необхідність постійного розбору трафіку та виділення важливих характеристичних ознак, які можуть змінюватись зловмисниками для підвищення ступеня прихованості бот-мереж. Окрім того, представлені підходи не враховують архітектури існуючих бот-мереж, в наслідок чого блокування підозрілих пакетів, в подальшому не гарантує їх повторення від інших вузлів бот-мережі.

У роботі [5] авторами запропоновано систему виявлення P2P бот-мереж на основі машинного навчання. Запропонований підхід здійснює отримання згорткових ознак, на основі яких здійснюється

формування моделі класифікатора із залученням штучної нейронної мережі з прямим зв'язком. Результати експерименту показують, що ефективність виявлення з використанням згорткових ознак вища, у порівнянні із використанням традиційних ознак. За результатами проведених експериментів представленого методу ефективність виявлення P2P бот-мереж склала 94,7% із рівнем помилкових спрацювань 2,2%.

Іншим підхід до виявлення P2P бот-мереж представлений у роботі [6]. Запропонована система виявлення бот-мереж ґрунтується на проведенні обліку мережевого трафіку із використанням протоколу NetFlow. Потік пакетів аналізується з використанням трьох основних модулів: експорту, колектора і аналізатора. Модуль експорту захоплює пакет і виконує моніторинг вмісту пакета. Колектор фіксує потік потоку, а компонент аналізатора ініціює автоматизований аналіз трафіку із захопленою інформацією про пакет. Інформація про потік пакетів збирається за допомогою віртуального інтерфейсу та фізичного зонда. Віртуальний інтерфейс використовується для збору інформації про зловмисний трафік між віртуальними машинами, а фізичний зонд збирає зловмисну інформацію про трафік між мережевими мостами, що з'єднують віртуальні машини.

В останні час цільовим напрямком атаки бот-мереж окрім, локальних комп'ютерних мереж, стали IoT мережі. Серед основних напрямків по виявленню бот-мереж в IoT мережах можна відзначити використання ентропійного аналізу, визначення належності досліджуваного трафіку до одного із законів розподілу випадкових величин, залучення систем на основі правил, використання методів машинного навчання, обчислення та порівняння статистичних величин, наприклад, кількості пакетів, часу затримки між пакетами, кількість одиничних пакетів, протокол передачі, тощо.

У роботі [7] було запропоновано алгоритм захисту IoT мереж перед DDoS-атакам, шляхом надання IoT пристроям інтелектуальних можливостей, подібних до ботів. Щоб зрозуміти різницю між доброякісним і шкідливим запитом, вузол здійснює аналіз вмісту пакету. Хоча результати показали, що такий підхід допомагає запобігти атакам, проте продуктивність роботи цього методу сильно залежить від обмежених ресурсів кожного бота.

Основи методу виокремлення фрагментів бот-мереж на основі аналізу мережевого трафіку

Згідно із визначенням "бот" є саморозповсюджуваною частиною коду, який інфікує кінцеві хости через різні вразливі системи, зокрема вразливості, засновані на переповненні буфера та інші подібні вразливості засновані на атаках соціальної інженерії із запуском троянських програм. У зв'язку з цим вони схожі на віруси і хробаки. Боти, однак, відрізняються від ізольованих вірусів і черв'яків у тому сенсі, що вони демонструють певні специфічні комунікаційні схеми і контролюються зовнішнім об'єктом, який зазвичай називають C&C сервером. Схеми спілкування, пов'язані з ботами, відображають їхню здатність брати участь у скоординованій шкідливій діяльності.

Виявлення бот-мереж є головною метою адміністраторів мережної безпеки. Якщо бот-мережа може бути ідентифікована, і успішно виділена в мережі, таку ж стратегію дезінфекції можна швидко застосувати до всіх хостів відразу. Це значно знижує ймовірність повторного зараження від все ще інфікованих хостів, коли мережа одночасно очищається від одного вузла. Адміністратори мережевої безпеки також загалом вважають, що якщо одночасно можна було виявити всі інфіковані хости, то такий підхід був би більш ефективніший, ніж тестування кожного хоста в ізоляції на наявність або відсутність бот-мережі. Тому головною мета даного методу є виявлення всіх ботів у кожній з бот-мереж, які можуть інфікувати комп'ютерну мережу.

Запропонований метод залежить, в першу чергу, від тимчасових взаємозв'язків шкідливих дій між комп'ютерами в мережі і не залежить від архітектур бот-мереж і засобів, які використовуються для їхнього керування. В процесі життєвого циклу, наприклад, час життя бота, а також тривалість і вибір шкідливих дій, замовлених керуючим ботом, можна очікувати, що ці параметри змінюватимуться з часом. Запропонований метод включає механізми, які дозволяють графу, що представляє інфікованими комп'ютерами, розвиватися з часом. Що стосується того, як такий граф змінюється з часом, то особливо важливими є граничні ваги, які виводяться з тимчасових взаємозв'язків шкідливих дій на кінцевих точках ребер.

Визначення точної мітки кожному інфікованому хосту в мережі досягається шляхом представлення інфікованих хостів зваженим повнозв'язним графом:

$$G = (V, E) \quad (1)$$

де V – набір вузлів, причому кожен інфікований хост – вузол, а E – набір ребер.

Вузол додається до набору V , коли новий хост проявляє шкідливу активність. З іншого боку, вузол видаляється з V , коли відповідний хост припиняє виявляти шкідливу активність і надійно відомо, що був дезінфікований. Ці вузли можуть бути додані повторно до V , якщо відповідні хости знову виявляють шкідливу активність.

Зв'язність графу G забезпечується наявністю ребер, які мають ваги. Вагою ребра, що з'єднує два вузли, є імовірність того, що два вузли є частиною однієї бот-мережі. Ваги ребра можуть приймати значення в діапазоні від 0 до 1. Вага ребра, яка близька до 1, вказує на те, що існує велика ймовірність того, що два вузли є частиною однієї бот-мережі, тоді як вага ребра, близька до 0, вказує на те, що ці два вузли однозначно належать до різних бот-мереж. Вагові коефіцієнти оновлюються в кінці кожного часового інтервалу, щоб відобразити спостереження за певний час. Наприклад, якщо два вузли виконували одну і ту ж зловмисну активність протягом цього періоду, відповідна вага ребра збільшується, оскільки імовірність того, що два вузли є частиною однієї бот-мережі, збільшиться. Оскільки комп'ютерні системи, що належать

до однієї бот-мережі, прагнуть показувати подібні за часом дії протягом тривалого часу, ребра між такими хостами в графі G набувають великих ваг. З іншого боку, ребра між хостами, які належать до двох різних бот-мереж, демонструють низькі граничні ваги.

Припускаючи, що мережа комп'ютерів була атакована множиною бот-мереж, для виявлення та ідентифікації бот-мереж, існує необхідність в розбитті графа G на непересічні підграфи, кожен з яких відповідає унікальній бот-мережі.

Узагальнену схему методу виокремлення фрагментів бот-мереж на основі аналізу мережевого трафіку наведено на рис. 1.

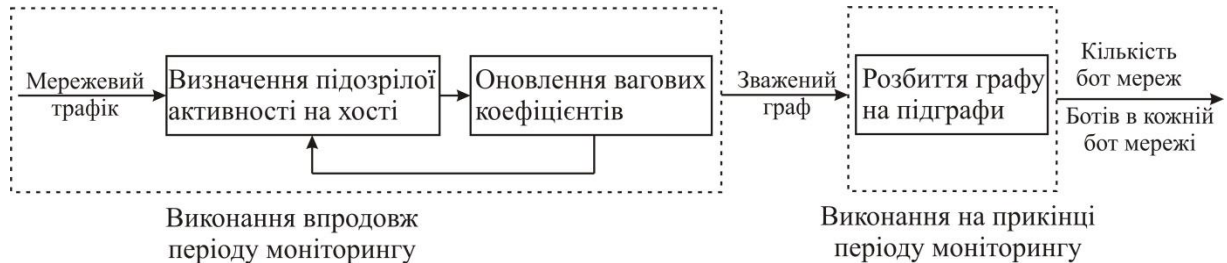


Рис. 1. Узагальнена схема методу виокремлення фрагментів бот-мереж на основі аналізу мережевого трафіку

Таким чином запропонований метод складається з наступних кроків:

1. Визначення підозрілої активності на хостах комп'ютерної мережі;
2. Оновлення вагових коефіцієнтів на протязі всього періоду моніторингу шкідливої активності;
3. Формування зваженого повнозв'язного графу;
4. Розбиття отриманого графу на підграфи, що відповідають окремим бот-мережам.

Розглянемо детальніше кроки запропонованого методу.

Виявлення шкідливої активності на хості

Першим кроком запропонованого методу виокремлення фрагментів бот-мереж є виявлення шкідливої активності на хості.

Щоб виявити і виміряти спільні події, необхідно мати інструменти, необхідні для виявлення шкідливих дій. На протязі попередніх років були розроблені різні методи. Наприклад, маршрутизатор, відповідальний за локальну мережу, може бути обладнаний монітором, який може реєструвати мережеві траси, пов'язані з кожним клієнтом, у списках протоколу конфігурації динамічного хоста (DHCP) і статичних IP-адрес. Таке ведення мережевих трас підтримується багатьма маршрутизаторами, такими як Cisco і Juniper. Згодом ці журнали можуть бути проаналізовані, щоб виявити, чи відбулися шкідливі дії на хостах.

Наприклад, спам від хоста може бути виявлений шляхом моніторингу наступних ознак: запити системи доменних імен для записів обмінників поштових повідомлень, що надходять від хоста; частоту, з якою хост ініціює підключення протоколу передачі простих повідомлень до зовнішніх поштових серверів. Виявлення зловмисних завантажень може бути здійснено за допомогою механізму виявлення підписів BotHunter та Snort. Інші шкідливі дії можуть бути аналогічно виявлені за допомогою вільно доступних систем виявлення та запобігання вторгнення в мережу.

З метою виявлення шкідливої активності на хості використано IDS Snort [9] – мережеву систему виявлення вторгнень, що працює за принципом мережевих сніферів. IDS Snort за певними сигнатурами шукає шкідливий трафік, який проходить через мережу, що захищається, і попереджають про його наявність адміністратора. Snort може бути встановлений на численних платформах операційних систем, таких як Windows, Linux і т.д. Snort працює в режимі реального часу і має можливість оповіщення про дані мережевого трафіку та їх аналіз. Повідомлення буде надіслано в системний журнал або окремі файли "попередження" або у спливаючі вікна. Snort логічно поділяється на кілька компонентів. Ці компоненти забезпечують покроковий процес виявлення конкретних атак і генерують вивід у необхідному форматі з системи виявлення. Компонентами Snort є пакетний декодер, препроцесор, двигок виявлення, система реєстрації і оповіщення, а також модулі виведення.

Оновлення вагових коефіцієнтів

Припускаючи, що активності R були визначені під час дискретних інтервалів часу, розглянемо формування графа G та оновлення його вагових коефіцієнтів. Оновлення вагових коефіцієнтів графу G є необхідним у зв'язку із динамічною зміною в часі активностей хостів, що перебувають під контролем бот-мережі. Для визначення та оновлення вагових коефіцієнтів будемо вважати, що кожен дискретний часовий інтервал має одиничну тривалість.

Нехай i, j дві вершини графа G , такі, що представляють комп'ютерну систему в локальній мережі, і які проявляють підозрілу активність. Нехай $C_{i,j}$ латентна змінна, що визначає чи є комп'ютерні системи i та j складовими однієї бот-мережі, так, що $C_{i,j} = 1$ визначає, що дві комп'ютерні системи i та j є складовими

однієї бот-мережі, а $C_{i,j} = 0$ – ні. Тоді виникає завдання визначення $p(C_{i,j} = 1)$, тобто оцінити ймовірність того, що два хости i та j є частиною однієї і тієї ж бот-мережі на підставі спостережень до поточного часу t . У будь-який заданий час t вага ребра між двома вузлами i, j визначимо як $p(C_{i,j}^t = 1)$. Оскільки вагою ребра є імовірність, то вона приймає значення від 0 до 1. Оскільки час є дискретною величиною в одиничні проміжки часу, то $t = \{0, 1, 2, \dots\}$. Оновлення ваги ребра в кожний момент часу t буде базуватися на спостереженнях шкідливої активності між $t - 1$ і t .

Нехай $A_i^{(t)}$ та $A_j^{(t)}$ змінні, що визначають активність, що спостерігається i та j комп'ютерною системою відповідно, між часом $t - 1$ та t . Нехай a_i та a_j поточні значення, що приймають змінні $A_i^{(t)}$ та $A_j^{(t)}$. a_i та a_j відображають значення з таблиці 3.1. a_i може приймати значення від $0, 1, \dots, K$, де значення $a_i = 0$ визначає, що хост не показав шкідливої активності протягом розглянутого часового інтервалу, в той час як $a_i = m (1 \leq m \leq K)$ вказує, що хост виконував m -у шкідливу активність в інтервалі часу $t - 1$ та t .

В кожний дискретний момент часу оновлюватимемо попереднє значення ймовірності $p(C_{i,j}^{t-1})$ між кожною парою вузлів до останнього значення $p(C_{i,j}^t)$ використовуючи правило Баєса. Оновлена вага ребра між двома вузлами залежить від попередньої ваги ребра $p(C_{i,j}^{t-1})$, тобто ймовірності побачити цю групу активностей $A_i^{(t)}$ та $A_j^{(t)}$ з урахуванням значення $C_{i,j}$, і загальної ймовірності побачити цю пару дій $p(A_i^{(t)}, A_j^{(t)})$:

$$p(C_{i,j}^t / A_i^{(t)} = a_i, A_j^{(t)} = a_j) = \frac{p(A_i^{(t)} = a_i, A_j^{(t)} = a_j / C_{i,j}^t) p(C_{i,j}^{t-1})}{p(A_i^{(t)} = a_i, A_j^{(t)} = a_j)} \tag{2}$$

Ймовірність $p(A_i^{(t)} = a_i, A_j^{(t)} = a_j / C_{i,j} = 1)$ та $p(A_i^{(t)} = a_i, A_j^{(t)} = a_j / C_{i,j} = 0)$, які є важливими для обчислення лівої частини рівняння (3), оцінюються для кожної пари можливих активностей ботів, перелічених у таблиці 3.1. Слід зазначити, що ніколи не потрібно безпосередньо обчислювати знаменник у правій частині рівняння (3), тобто тому, що обмеження нормалізації на ймовірності, яка пов'язана з двома результатами для $C_{i,j}$, опосередковано дає знаменник у рівнянні (3). Тобто, якщо ми оцінюємо ці дві ймовірності без знання знаменника, то той факт, що ці ймовірності повинні скласти одиницю, дасть нам невідоме значення для знаменника.

Ваги ребер оновлюються між парою хостів i, j наприкінці часового інтервалу, лише якщо принаймні на одному з них виявлено шкідливу активність протягом спостережуваного часового інтервалу, тобто $A_i^{(t)} \neq 0$ або $A_j^{(t)} \neq 0$.

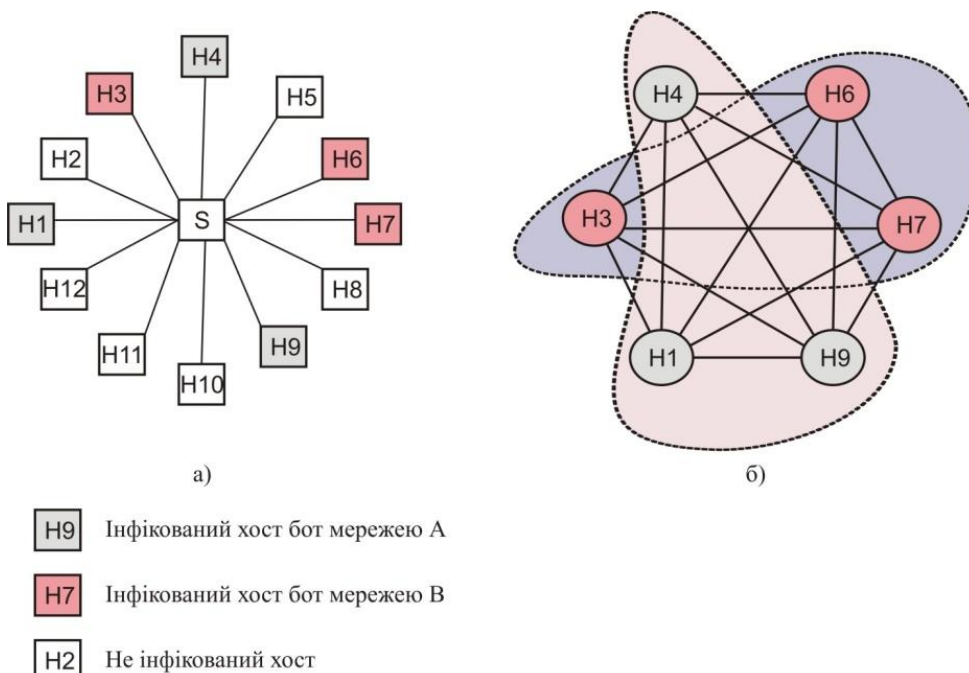


Рис. 2. Схематичне зображення розбиття хостів, що проявляють шкідливу активність на два графи: а) локальна мережа, що інфікована двома бот-мережами; б) розбиття повнозв'язного графу на два підграфи

На початку періоду моніторингу, тобто при початковій побудові графу G , ваги ребер між кожною парою вузлів, що виявляють шкідливу активність, ініціалізуються значенням 0,5. Вага 0,5 означає ймовірність того, що хости в двох кінцевих точках інфіковані однією бот-мережею, з одного боку, та іншою – з другого боку. Якщо мережа інфікована тільки одним або двома бот-мережами, можна стверджувати, що це початкове значення ймовірності буде вищим. Але тоді можна також заперечити, що ця початкова ймовірність буде нижчою, якщо мережа була атакована багатьма малими бот-мережами. За відсутності будь-якої попередньої інформації про кількість та/або розміри бот-мереж у локальній мережі, вирішено здійснити неупереджену ініціалізацію значенням 0,5, для всіх ребер між вузлами, що демонструють підозрілу діяльність. Граф G створюється, коли новий хост у мережі починає показувати ознаки шкідливої активності (на цей момент він ще не є частиною G), далі зазначений хост включається у G , а нові ребра утворюються між щойно доданим хостом та всіма хостами, які були присутні на даний момент в графі G , із встановлення початкової ваги кожного ребра на рівні 0,5. Схематичне зображення розбиття хостів, що проявляють шкідливу активність на два підграфи наведено на рис. 2.

Оцінка розподілу спільної діяльності

Як зазначалось раніше $A_i^{(t)}$ та $A_j^{(t)}$ є активностями, що були виявлені мережевим монітором на хостах i та j відповідно, на проміжку часу $t-1$ та t . Тоді важливою задачею є оцінка розподілу спільної діяльності $p(A_i^{(t)} = a_i, A_j^{(t)} = a_j | C_{i,j} = 1)$ та $p(A_i^{(t)} = a_i, A_j^{(t)} = a_j | C_{i,j} = 0)$ для всіх можливих пар a_i та a_j .

Нехай $B_i^{(t)}$ та $B_j^{(t)}$ упорядковані дії бот-майстра на вузлах i та j в інтервалі часу $t-1$ та t , причому b_i та b_j є двома значеннями для таких дій. Подібно до $A_i^{(t)}$, $B_i^{(t)}$ змінна, що може приймати значення від 0 до K , де K – кількість активностей. Слід зазначити, що $b_i = 0$ вказує, що бот-майстер не вибрав жодної зловмисної активності для часового інтервалу (тобто його бот-мережа не активна) і $b_i = 1$ ($1 \leq l \leq K$) вказує, що бот-майстер вибрав l -у зловмисну активність. Імовірність $p(B_i^{(t)} = b)$ представляють відносні частоти різних шкідливих дій, виконаний бот-майстром. Виходячи з емпіричних спостережень, можна припустити, що в середньому бот-майстер не взаємодіє із бот-мережею на протязі 25% часу.

Конкретні значення $A_i^{(t)}$ та $A_j^{(t)}$ в момент часу t залежать від дій бот-майстра $B_i^{(t)}$ та $B_j^{(t)}$ для хостів i та j на протязі цього часового інтервалу. Окрім того, слід врахувати можливість того, що обидва вузли можуть контролюватися одним і тим же бот-майстром.

Тому для визначення ймовірності того, що два різних вузла показують дві задані дії, коли обидва вузли знаходяться в одній бот-мережі або знаходяться в різних бот-мережах запишемо:

$$p(A_i^{(t)} = a_i, A_j^{(t)} = a_j | C_{i,j} = 1) = \sum_{b_i=0}^K \sum_{b_j=0}^K p(A_i^{(t)} = a_i, A_j^{(t)} = a_j | B_i^{(t)} = b_i, B_j^{(t)} = b_j, C_{i,j} = 1) \times p(B_i^{(t)} = b_i, B_j^{(t)} = b_j | C_{i,j} = 1) \quad (3)$$

Покажемо більш прості версії вищезазначеної формули для двох випадків $C_{i,j} = 1$ та $C_{i,j} = 0$. Коли $C_{i,j} = 1$ обидва боти i та j контролюються одним і тим самим бот-майстром. Цей факт можна визначити відношенням $B_i = B_j = B$, тобто B є випадковою змінною для визначення загальної активності у двох вузлах. У цьому випадку рівняння 3 буде мати вигляд:

$$p(A_i^{(t)} = a_i, A_j^{(t)} = a_j | C_{i,j} = 1) = \sum_{b=0}^K p(A_i^{(t)} = a_i, A_j^{(t)} = a_j | B^{(t)} = b) \times p(B^{(t)} = b) \quad (4)$$

де b – будь-яке конкретне значення для випадкової величини B , загальна діяльність, направлена бот-майстром на бот-мережу.

Слід зауважити, що у рівнянні 4 було усунуто залежність від $C_{i,j}$, оскільки той факт, що два боти мають одного і того ж бот-майстра неявно припускає $C_{i,j} = 1$. Для подальшого спрощення рівняння, показаного раніше, зауважимо, що $A_i^{(t)}$ не залежить від $A_j^{(t)}$, оскільки дійсно виконується ботом i активність залежить тільки від активності, обраної бот-майстром бота, та не залежить від того, що відбувається у бота j . Отже, можна переписати вищезгадане рівняння наступним чином:

$$p(A_i^{(t)} = a_i, A_j^{(t)} = a_j | C_{i,j} = 1) = \sum_{b=0}^K p(A_i^{(t)} = a_i | B^{(t)} = b) \times p(A_j^{(t)} = a_j | B^{(t)} = b) \times p(B^{(t)} = b) \quad (5)$$

В іншому випадку, коли $C_{i,j} = 0$ боти i та j мають два різних бот майстри $B_i^{(t)}$ та $B_j^{(t)}$. Аналогічно залежність $C_{i,j} = 0$ від може бути вилучена у формулі для спільної ймовірності

$p(A_i^{(t)} = a_i, A_j^{(t)} = a_j / C_{i,j} = 0)$ до тих пір, поки зберігається різниця між активністю $B_i^{(t)}$ та $B_j^{(t)}$ на двох вузлах. Таким чином, у випадку $C_{i,j} = 1$ $A_i^{(t)}$ не залежить від $A_j^{(t)}$, оскільки активність, що фактично здійснюється ботом i , залежить тільки від активності, обраної бот-майстром бота, і не залежить від того, що відбувається на бот j . Перепишемо формулу 3 для випадку $C_{i,j} = 0$:

$$\begin{aligned}
 p(A_i^{(t)} = a_i, A_j^{(t)} = a_j / C_{i,j} = 0) &= \\
 &= \sum_{b_i=0}^K p(A_i^{(t)} = a_i / B_i^{(t)} = b_i) p(B_i^{(t)} = b_i) \times \\
 &\times \sum_{b_j=0}^K p(A_j^{(t)} = a_j / B_j^{(t)} = b_j) p(B_j^{(t)} = b_j)
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

Обидва рівняння (5) і (6), які демонструють визначення спільних розподілів за спостережуваними зловмисними діями в парі хостів, за умови, що вони належать до однієї і тієї ж бот-мережі, і за умови, що вони належать до двох різних бот-мереж, залежать від можливості оцінювати $p(A^{(t)} = a / B^{(t)} = b)$ – імовірність того, що спостережена шкідлива активність бота a в той час, як бот-майстер вибрав b .

Розбиття отриманого графу на підграфи, що відповідають окремим бот-мережам

Нехай задано орієнтований зважений граф $G(X, V, w)$ порядку n , де $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ – множина вершин (хості в локальній мережі); $V \subseteq X \times X$ – множина ребер; $w: V \rightarrow R^+$ – відображення, що визначає вагу кожного ребра, де R^+ – множина дійсних невід’ємних чисел.

Необхідно визначити розбиття множини вершин X графа $G(X, V, w)$ на k – підмножин (X_1, \dots, X_k) таким чином, щоб для частин графа $G_1(X_1, V_1, w_1), \dots, G_k(X_k, V_k, w_k)$ виконувались наступні вимоги:

$$\begin{aligned}
 X_i \cap X_j &= \emptyset, \text{ для } \forall i \neq j, \text{ де } i, j = \overline{1, k}; \\
 \bigcup_{i=1}^k X_i &= X; \\
 |X_1| &= n_1, \dots, |X_k| = n_k, n_1 + \dots + n_k = n,
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

Перерізом розбиття $C(X_1, \dots, X_k)$ будемо називати сукупність ребер, що сполучають вершини, які належать різним підграфам.

В якості критерію оптимальності Q , що визначає ефективність бі-розбиття (X_1, \dots, X_k) будемо розглядати вагу розрізу – сума вагів всіх ребер перерізу:

$$Q(X_1, X_2, \dots, X_k) = \frac{1}{2} \sum_{L=1}^{k-1} \sum_{i \in V_L} \sum_{j \notin V_L} w(x_i, x_j) \rightarrow \min
 \tag{8}$$

В даному випадку оптимальним k -розбиттям є рішення (X_1^*, \dots, X_k^*) екстремальної задачі (8), тобто розбиття (X_1^*, \dots, X_k^*) з мінімальними вагами перерізу $C(X_1^*, \dots, X_k^*)$.

Система вимог (7), що ставиться до розбиття (X_1, \dots, X_k) , визначає область пошуку D задачі розбиття графа. Дана задача відноситься до задач переборного типу і загальна кількість допустимих рішень $|D|$ визначити із виразу:

$$\frac{n!}{n_1! \cdot n_2! \cdot \dots \cdot n_k! \cdot t!}
 \tag{9}$$

де t – загальна кількість під графів (ботів бот-мереж, що присутні в локальній мережі). Суть алгоритму полягає в обчисленні максимального виграшу, який може принести перенесення будь-якої вершини в той чи інший підграф розбиття і здійсненні цього перенесення.

Визначимо декомпозиційне обмеження так, щоб ваги кожного підграфа розбиття визначались наступним чином:

$$w(V_i) = \sum_{v_q \in V_i} w(v_q),
 \tag{10}$$

де $w(v_q)$ – ваги вершини v_q , обмежуються наступними границями:

$$L_i \leq w(V_i) \leq U_i, i = \overline{1, k},
 \tag{11}$$

де L_i та U_i – мінімальна та максимальна вага вершин підграфів розбиття та визначають межі, в яких можуть варіюватися ваги підграфів розбиття.

Тоді з урахування декомпозиційного обмеження наведемо кроки запропонованого алгоритму:

- 1) Ребра графа сортуються по зростанню вагів. Нехай $E = (e_1, \dots, e_m)$ – вектор відсортованих ребер;
- 2) $i := 0; f := 0;$
- 3) Із k підграфів розбиття вибирається той, при переміщенні в який вершин ребра e_i не порушуються

обмеження задачі декомпозиції, та досягається найбільше зменшення ваги перерізу;

- 4) Якщо на кроці 3 відбулось переміщення, то $f:=1$;
- 5) $i:=i+1$;
- 6) Якщо $i \leq m$, то перехід на крок 3;
- 7) Якщо $f=1$, то перехід на крок 2.

Слід зазначити, що на кроці 3 алгоритму обидві вершини ребра e_i виявляються в одному підграфі розбиття, тим самим ребро перестає брати участь в перерізі, якщо до цього брало. Назвемо цей процес локалізацією ребра. Таким чином, алгоритм локалізує спочатку самі «важкі» ребра, а потім, якщо це можливо, ребра меншої ваги. Евристика працює до тих пір, поки можлива локалізація хоча б одного ребра зі зменшенням ваги перетину, тобто до досягнення деякого локального екстремуму.

Таким чином, розроблений алгоритм розбиття орієнтованого зваженого графа, що представлений ботами, які присутні в локальній мережі, на підграфи дозволяє виділити фрагменти різних бот-мереж, що присутні в локальній мережі. Представлений алгоритм використовує «жадібний» підхід та ґрунтується на обчисленні максимального виграшу, який може принести перенесення будь-якої вершини в той чи інший підграф розбиття. Запропонований алгоритм є складовою частиною методу виявлення фрагментів бот-мереж на основі аналізу мережевого трафіку.

Експерименти

Для перевірки ефективності методу виявлення фрагментів бот-мереж на основі аналізу мережевого трафіку та моделювання виявлення хостів, що інфікували локальну мережу, було проведено ряд досліджень.

З метою моніторингу активності та визначення вагів ребер між інфікованими вузлами бот-мережі, перший експеримент передбачав використання локальної мережі, що складалась з 15 хостів.

Для представленої мережі було згенеровано дві IRC бот-мережі, кожна з яких складалась з трьох хостів. Хости, промарковані від 1 до 3 складали бот-мережу 1, а значення від 4 до 6 відповідали хостам бот-мережі 2. Усі інфіковані комп'ютери брали участь у регулярному інтернет-спілкуванні, що передбачає P2P-завантаження, HTTP веб-комунікацію, використання протоколу передачі файлів, Telnet тощо. При генеруванні бо мереж існувало значне перекриття часу, коли обидві бот-мережі були задіяні в одній і тій же шкідливій діяльності. Окрім того, з метою підвищення ступеню адекватності моделювання, згенеровані бот-мережі характеризувались відсутністю унікальних шкідливих дій, які можна було б використовувати для сегментації окремих бот-мереж.

Процес моніторингу мережевого трафіку тривав 24 години, протягом якого здійснювалось виявлення шкідливої активності. Сканування портів та інших атак, що виконуються шкідливими хостами в мережі, були відстежені за допомогою системи попередження вторгнень Snort. Для визначення типу активності бота було залучено правила Intrusion Detection System Snort. Набір правил, що визначають різні активності ботів наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Залучені правила для IDS Snort

№ п/п	Тип активності
Сканування	
1	alert tcp \$EXTERNAL_NET 10101 -> \$HOME_NET any (msg:"SCAN myscan"; flow:stateless; ack:0; flags:S; ttl:>220; reference:arachnids,439; classtype:attempted-recon; sid:613; rev:6;)
2	alert tcp \$EXTERNAL_NET 10101 -> \$HOME_NET any (msg:"SCAN myscan"; flow:stateless; ack:0; flags:S; ttl:>220; reference:arachnids,439; classtype:attempted-recon; sid:613; rev:6;)
3	alert tcp \$EXTERNAL_NET any -> \$HOME_NET 80 (msg:"SCAN cybercop os probe"; flow:stateless; dsize:0; flags:SF12; reference:arachnids,146; classtype:attempted-recon; sid:619; rev:6;)
4	alert tcp \$EXTERNAL_NET any -> \$HOME_NET any (msg:"SCAN FIN"; flow:stateless; flags:F,12; reference:arachnids,27; classtype:attempted-recon; sid:621; rev:7;)
Спам	
1	alert tcp \$EXTERNAL_NET any -> \$SMTP_SERVERS 25 (msg:"POLICY-SPAM 1.usa.gov URL in email, possible spam redirect"; flow:to_server, established; file_data; content:"http[3A 2F 2F]1.usa.gov"; pcre:"/http[x3A x2F x2f1\.usa\.gov x2f[a-f0-9]{6,8}/smi"; metadata:ruleset community, service smtp; reference:url,www.symantec.com/connect/blogs/spam-gov-urls; classtype:bad-unknown; sid:24598; rev:3;)
2	alert tcp \$HOME_NET any -> \$EXTERNAL_NET \$HTTP_PORTS (msg:"POLICY-SPAM local user attempted to fill out paypal phishing form"; flow:to_server,established; content:"POST"; http_method; content:"/logindo.php"; fast_pattern:only; http_uri; content:"partner="; nocase; http_client_body; content:"&login="; distance:0; nocase; http_client_body; content:"&user="; distance:0; nocase; http_client_body; content:"&pass="; distance:0; nocase; http_client_body; content:"&submit="; distance:0; nocase; http_client_body; metadata:service http; classtype:suspicious-login; sid:21637; rev:4;)

Продовження табл. 1

№ п/п	Тип активності
3	alert tcp \$EXTERNAL_NET any -> \$SMTP_SERVERS 25 (msg:"POLICY-SPAM appledownload.com known spam email attempt"; flow:to_server, established; content:"appledownload.com"; nocase; metadata:service smtp; reference:url,www.tuaw.com/2011/05/18/new-phishing-email-pretends-to-be-from-apples-online-store/; classtype:policy-violation; sid:19122; rev:5;)
Атака	
1	alert icmp \$EXTERNAL_NET any -> \$HOME_NET any (msg:"DDOS TFN Probe"; icmp_id:678; itype:8; content:"1234"; reference:arachnids,443; classtype:attempted-recon; sid:221; rev:4;)
2	alert icmp \$EXTERNAL_NET any -> \$HOME_NET any (msg:"DDOS tfn2k icmp possible communication"; icmp_id:0; itype:0; content:"AAAAAAAAAAAA"; reference:arachnids,425; classtype:attempted-dos; sid:222; rev:2;)
3	alert udp \$EXTERNAL_NET any -> \$HOME_NET 31335 (msg:"DDOS Trin00 Daemon to Master PONG message detected"; content:"PONG"; reference:arachnids,187; classtype:attempted-recon; sid:223; rev:3;)
4	alert icmp \$EXTERNAL_NET any -> \$HOME_NET any (msg:"DDOS TFN client command BE"; icmp_id:456; icmp_seq:0; itype:0; reference:arachnids,184; classtype:attempted-dos; sid:228; rev:3;)
Контроль	
1	alert icmp \$EXTERNAL_NET any -> \$HOME_NET any (msg:"ICMP PING NMAP"; dsize:0; itype:8; reference:arachnids,162; classtype:attempted-recon; sid:469; rev:3;)
2	alert icmp \$EXTERNAL_NET any -> \$HOME_NET any (msg:"ICMP icmpenum v1.1.1"; dsize:0; icmp_id:666; icmp_seq:0; id:666; itype:8; reference:arachnids,450; classtype:attempted-recon; sid:471; rev:3;)

Протягом усього періоду моніторингу здійснювалось оновлення ваг ребер між хостами в мережі з використанням рівняння (3). Отримані ваги ребер між вузлами (що відповідають хостам від 1 до 6 в мережі) наведені в таблиці 2.

Згідно із даними із таблиці 2, ваги ребер між вузлами, що належать до однієї бот-мережі, є високими, тоді як крайні ваги між вузлами, що належать різним бот-мережам, є низькими. Наприклад, ваги ребер між вузлами 1 і 3 (які належать до однієї бот-мережі) становили 0,94, тоді як вага ребра між вузлами 1 і 4 (які належать до різних бот-мереж) становили 7×10^{-3} .

Таблиця 2

Ваги ребер між інфікованими вузлами мережі після закінчення часу моніторингу

Хост мережі	1	2	3	4	5	6
1	1.000	0.9202	0.9472	0.007	0.0007	0.0002
2	0.9202	1.000	0.968	0.0013	0.0001	0.0003
3	0.9472	0.968	1.000	0.0823	0.0006	0.0003
4	0.007	0.0013	0.0823	1.000	0.9714	0.9575
5	0.0007	0.0001	0.0006	0.9714	1.000	0.9581
6	0.0002	0.0003	0.0003	0.9575	0.9581	1.000

Інформація із представленої матриці ваг між інфікованими хостами мережі, була використана для ідентифікації бот-мереж у мережі. Таблиця 3 демонструє результати проведеного експерименту за визначенням ботів двох бот-мереж.

Таблиця 3

Результати проведеного експерименту по визначенню ботів двох бот-мереж

Кількість повторень експерименту	Середній час виконання методу (етап розбиття)	Коефіцієнт ваги перерізу	Кількість вірного розподілу ботів бот-мереж 1 та 2
5	0,24	0,4	5
5	0,27	0,5	4
5	0,24	0,6	1

Результати проведеного експерименту свідчать, що запропонований метод дозволив здійснити вірне визначення як ботів у кожній бот-мережі, так і кількість бот-мереж, що присутні у локальній мережі.

Висновок

Запропоновано метод виявлення фрагментів бот-мереж на основі аналізу мережевого трафіку. Метод заснований на представленні шкідливої активності, що здійснюють боти в локальній мережі у вигляді зваженого орієнтованого графу, де вершинами виступають хости мережі, а ребрами – зв'язки між хостами.

Зв'язність графу забезпечується наявністю ребер, які мають ваги. Вагою ребра, що з'єднує два вузли, є імовірність того, що два вузли є частиною однієї бот-мережі. Для визначення імовірності того, що

два вузли є частиною однієї бот-мережі використовується правило Байєса. Оновлення вагів ребер відбувається після кожного інтервалу часу в межах загального часу моніторингу шкідливої активності. Наприкінці часу моніторингу здійснюється розбиття отриманого графу на підграфи, що відповідають окремим бот-мережам.

Для розбиття графу на підграфи розроблений алгоритм, що дозволяє виділити фрагменти різних бот-мереж, які присутні в локальній мережі. Представлений алгоритм використовує “жадібний” підхід та ґрунтується на обчисленні максимального виграшу, який може принести перенесення будь-якої вершини в той чи інший підграф розбиття. Для перевірки ефективності запропонованого методу проведено ряд експериментів, що включали визначення факту наявності бот-мереж у локальній комп’ютерній мережі.

References

1. Kapre A., Padmavathi B. Behaviour based botnet detection with traffic analysis and flow intervals using PSO and SVM. International Conference on Intelligent Computing and Control Systems: Proceedings (Madurai, India, 15-16 June 2017). Madurai, 2017. P. 718–722.
2. Jaikumar P., Kak A.C. A graph-theoretic framework for isolating botnets in a network. Security and Communication Networks. 2012. Vol. 5. No. 6. P. 2605–2623.
3. Li S.H., Kao Y.C., Zhang Z.C., Chuang Y.P., Yen D.C. A Network Behavior-Based Botnet Detection Mechanism Using PSO and K-means. ACM Transactions on Management Information Systems. 2015. Vol. 6. Issue 1. P. 3–12.
4. Stevanovic M., Pedersen J. M. An analysis of network traffic classification for botnet detection. Cyber Situational Awareness, Data Analytics and Assessment: Proceedings (London, UK, June 8–9 2015). London, 2015. P. 1–8.
5. Chen S.C., Chen Y.R., Tzeng W.G. Effective Botnet Detection Through Neural Networks on Convolutional Features. The 17th IEEE International Conference On Trust, Security And Privacy In Computing And Communications. 12th IEEE International Conference On Big Data Science And Engineering: Proceedings (New York, NY, USA, 1–3 August 2018). New York, 2018. P. 372–378.
6. Thangapandiyam M., Anand P. M. An efficient botnet detection system for P2P botnet. International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking: Proceedings (Chennai, India, May 23-25). Chennai, 2016. P. 1217–1221.
7. Zhang C., Green R. Communication security in internet of thing: preventive measure and avoid ddos attack over iot network. Proceedings of the 18th Symposium on Communications & Networking. Society for Computer Simulation International, 2015, P. 8–1
8. IDS Snort. URL: <https://www.snort.org/>

Рецензія/Peer review : 26.5.2020 р.

Надрукована/Printed : 16.6.2020 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ И НЕЛИНЕЙНЫХ ЭФФЕКТОВ В ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКНАХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ DWDM

Рассматривается алгоритмическое и программное решение задачи динамического моделирования в волоконно-оптических системах передачи (ВОСП). В качестве базового метода численного моделирования используется метод разделения по физическим факторам. Особенность применяемого алгоритма сводится к линеаризации фазового коэффициента нелинейных эффектов. Параметрические установки максимально приближены к характеристикам реальных ВОСП DWDM в соответствии с рекомендациями МСЭ-Т. Общий диапазон от 1460 нм до 1640 нм (приблизительно шириной 20 ТГц) в зависимости от частотного плана равномерно делится на соответствующее количество каналов. Для базовой ширины канала 25 ГГц общее количество каналов 903, тогда как для ширины канала 100 ГГц их количество 225. Модель позволяет выбирать для исследований любой частотный канал в диапазоне. При этом адекватным образом пересчитываются дисперсионные характеристики, параметры затухания и нелинейности. Моделирование выполняется для ВОСП с длиной линии от 10 км до 2000 км. Шаг моделирования может изменяться от 1 м до 10 км. Для исследований можно выбрать тип оптического волокна (ОВ) из списка стандартного ОВ и вариантов ОВ с смещенной дисперсией. В качестве начальной формы оптического сигнала можно выбирать различные варианты: сигналы Найквиста, гауссов импульс, приподнятый косинус, гиперболический секанс. Также можно задавать начальный chirping оптического сигнала. Также имеется возможность моделирования эффектов в многоканальных ВОСП. Количество каналов может быть 1, 3 или 5. Эффекты интерференции между импульсами моделируются пакетами импульсов от 1 до 5.

Ключевые слова: дисперсия, затухание, оптический сигнал, спектр, преобразование Фурье, нелинейные эффекты, расщепление по физическим факторам.

N.A. ODEGOV

Odessa National O.S. Popov Academy of Telecommunications

DYNAMIC MODELLING OF LINEAR AND NONLINEAR EFFECTS IN OPTICAL FIBERS OF DWDM TRANSMISSION SYSTEMS

The algorithmic and software solution of the dynamic modeling problem in fiber-optic transmission systems (FOTS) is considered. As a basic method of numerical modeling, the method of separation by physical factors is used. The peculiarity of the applied algorithm reduces to linearization of the phase coefficient of nonlinear effects. Parametric settings are as close as possible to the characteristics of real FDM DWDM in accordance with ITU-T recommendations. The total range from 1460 nm to 1640 nm (approximately 20 THz wide), depending on the frequency plan, is evenly divided into the corresponding number of channels. For a basic channel width of 25 GHz, the total number of channels is 903, while for a channel width of 100 GHz their number is 225. The model allows you to choose any frequency channel in the range for research. In this case, the dispersion characteristics, attenuation and nonlinearity parameters are adequately recalculated. Simulations are performed for FOTS with a line length of 10 km to 2000 km. The simulation step can vary from 1 m to 10 km. For research, you can select the type of optical fiber (S) from the list of standard S and options for S with bias dispersion. As the initial form of the optical signal, various options can be chosen: Nyquist signals, Gaussian impulse, raised cosine, hyperbolic secant. You can also set the initial chirping of the optical signal. It is also possible to simulate effects in multi-channel FOTS. The number of channels can be 1, 3 or 5. The effects of interference between pulses are modeled by bursts of pulses from 1 to 5. Application of the developed software and algorithmic software allows solving both educational and scientific problems. In this case, such effects are adequately modelled as: pulse distortion in the linear mode, pulse distortion and spectra in nonlinear modes. The program also allows you to simulate solution effects in organic matter.

Keywords: dispersion, attenuation, optical signal, spectrum, Fourier transform, nonlinear effects, splitting by physical factors.

Введение

Развитие средств вычислительной техники позволяет исследователям переходить от решения расчетных задач к решению задач имитационного моделирования. При этом создается принципиальная возможность наблюдать модели реальных явлений в виде процессов. В данной статье рассматривается класс задач имитационного моделирования явлений в оптическом волокне (ОВ) применительно к современным оптическим системам передачи (ВОСП).

Большинство методов моделирования эволюции сигналов в ОВ основываются на модели в форме обобщенного дифференциального уравнения Шредингера [1]. Для современных ВОСП можно ограничиться относительно простым вариантом этого уравнения:

$$\frac{\partial U}{\partial z} - j \frac{\beta_2}{2} \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} + \frac{\alpha}{2} U = -j\gamma |U|^2 U, \quad (1)$$

где $U(t, z)$ – мгновенное значение амплитуды огибающей оптического сигнала (ОС) на расстоянии z от точки ввода в ОВ; β_2 – коэффициент дисперсии групповых скоростей (в терминах [1] – дисперсия групповых скоростей); α – коэффициент затухания; γ – коэффициент нелинейности.

В уравнении (1) параметр t (время) – это условный временной параметр. Его значения привязаны к абсолютному времени T распространения ОС вдоль ОВ соотношением между фиксированными и

«бегущими» координатами: $t = T - z/V_{gr}$, где V_{gr} – групповая скорость распространения ОС. Уже на этом шаге интерпретации уравнения (1) видна определенная условность: совершенно очевидно, что групповая скорость зависит от частоты. Для сигнала с более-менее широким спектром данный параметр приходится учитывать как частотно зависимую функцию. При этом значение $t = 0$ соответствует энергетическому центру ОС, перемещающемуся с групповой скоростью $V_{gr}(f_0)$, где f_0 – центральная (несущая) частота соответствующего канала DWDM. Зависимостью $t(f)$ обычно пренебрегают.

Также отметим, что и коэффициент затухания является частотно зависимой функцией. В широкополосных ВОСП на больших расстояниях передачи его влияние также может стать значительным [2]. Но и этой зависимостью обычно пренебрегают. В нашем понимании любая модель является некоторым компромиссом между принятыми условностями (ограничениями, предположениями), и теми задачами, которые ставит перед собой исследователь. Хотя, абсолютно точной моделью реального явления все равно останется само это явление.

Отметим два типа целевых установок. Научные модели позволяют с относительно большой точностью моделировать реальность. Цель: открытие новых явлений. Или, скромнее, подтверждение давно уже известных фактов. Модели учебного характера должны демонстрировать основные закономерности явлений, ранее изученные наукой. Цель – убедить обучаемых, дать им взгляд на физическую картину реального мира. Две эти цели в некоторой степени противоречивы. Если исследователь может запустить некоторый вычислительный процесс «на ночь», а то и на пару недель, то в учебных целях надо ограничиваться продолжительностью одной пары занятий. Реально: демонстрации процессов на лекционных занятиях вряд ли должны продолжаться больше 1–3 минут. На лабораторных занятиях каждый наблюдаемый процесс вряд ли должен длиться больше 5–10 минут.

В данной работе рассматривается подкласс имитационных моделей – динамические модели. Их особенностью заключается в том, что процесс искажений ОС в ОБ представляется не только в его начальной и финальной стадии, а в том, что вид ОС плавно меняет свою форму при распространении вдоль ОБ. Этот, так сказать, мультфильм требует существенных вычислительных затрат. Соответственно, необходимо найти компромисс между скоростью и точностью решения задач.

Нелинейные дифференциальные уравнения (1) в общем случае не решаются аналитически. Исторически первыми численными методами их решения были конечно-разностные схемы, включая метод Рунге-Кутты. Данный класс методов при определенном выборе шага численного дифференцирования дает наибольшую точность, но приводит к очень значительным затратам времени. Современные методы сводятся к линеаризации, например, к использованию разложения функций в ряды Вольтерра [3].

Более типичным является применение метода разделения по физическим параметрам (например, [4, 5]). В этом случае последовательно выполняются операции линейных и нелинейных преобразований.

Целью данной статьи является разработка алгоритмического и программного обеспечения, которое позволяет решать комплекс учебных задач, а также получать качественные выводы о наблюдаемых явлениях.

Общее описание программы **Nonlinear**

Программное обеспечение для решения поставленных задач разработано на кафедре Физики и волоконно-оптических систем передачи ОНАС им. А.С. Попова. Программы написаны на языке C# с использованием свободной платформы Visual Studio. Общий вид окна программы дан на рис. 1.

Окно содержит панель настроек и управляющих кнопок, таблицу для заполнения результатов наблюдений и два графических окна. В разных вариантах в этих окнах отображаются модули сигнала и спектральной плотности, дисперсионные характеристики и функции коэффициента затухания. Сетки графиков формируются с достаточно мелким шагом для снятия количественных значений.

Начальная форма сигналов выбирается из списка вариантов: гауссов импульс, различные варианты импульсов Найквиста, гиперболический секанс и др. Ширина полосы отдельного канала выбирается из вариантов 12,5 ГГц, 25 ГГц, 50 ГГц и ли 100 ГГц, что соответствует частотным планам DWDM по рекомендациям МСЭ-T [6]. На рис. 1 дан пример импульса Найквиста со спектральной плотностью в виде приподнятого косинуса с коэффициентом скругления 0,5.

Программа позволяет изменять масштабы оси времени и частоты в широких пределах в статическом и динамическом режиме воспроизведения.

Имеется возможность выбора одного из вариантов ОБ – стандартное ОБ (SF) и ОБ со смещенной дисперсией (NZ DSF +, NZ DSF -). Все эти варианты имеют различные дисперсионные характеристики в исследуемом диапазоне S-L-C (от 1460 нм до 1640 нм). Пример дисперсионных характеристик для ОБ типа NZ DSF+ дан на рис. 2. При выборе конкретного частотного канала отображаются фрагменты таких графиков в окрестности несущей (центральной) частоты.

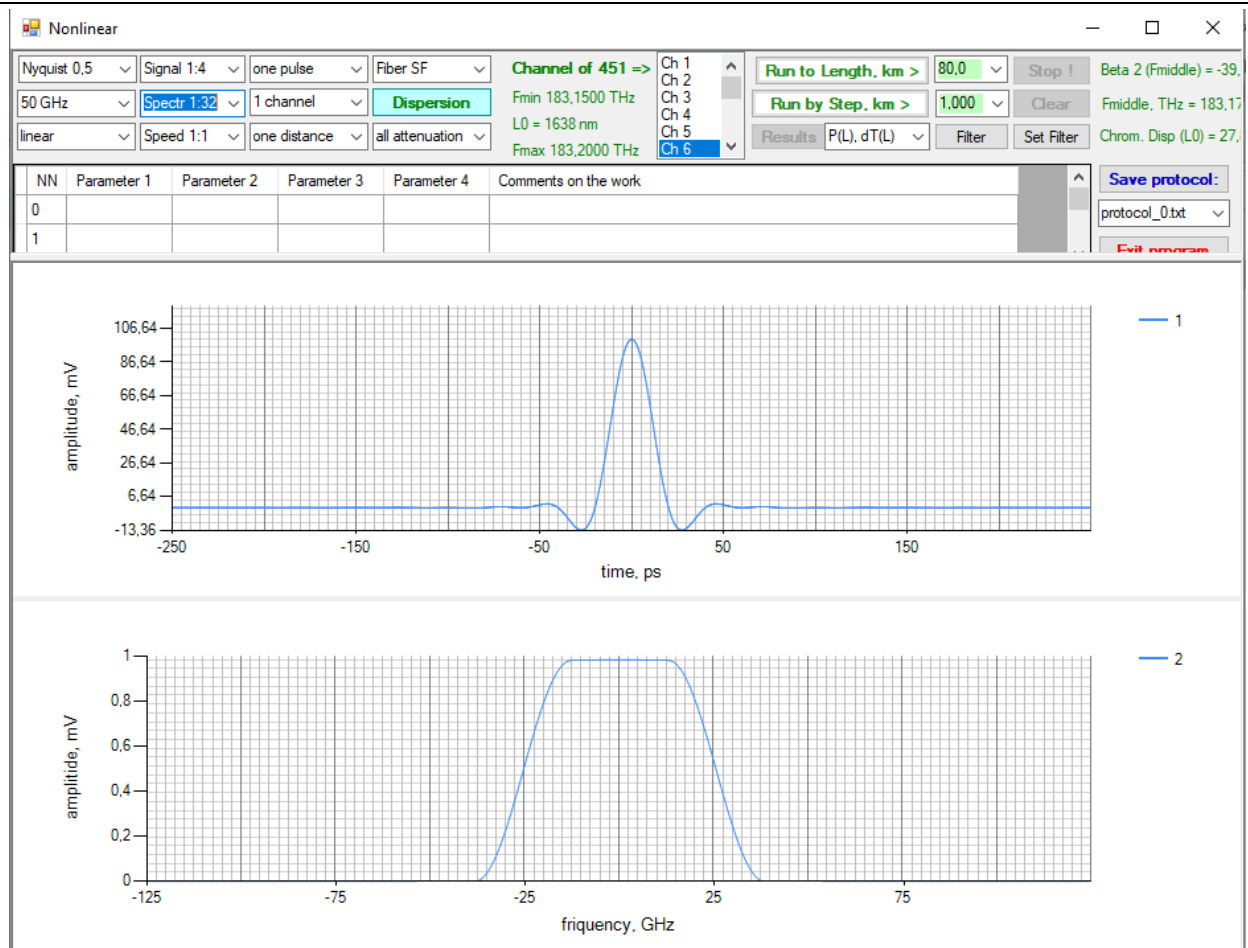


Рис. 1. Общий вид окна программы Nonlinear

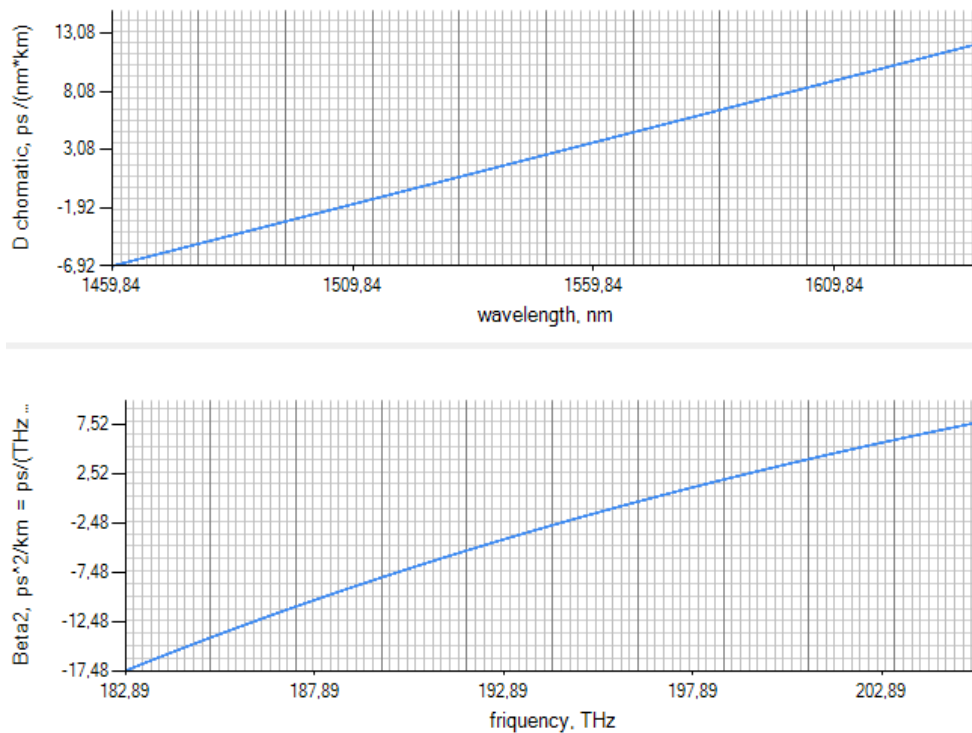


Рис. 2. Отображение дисперсионных характеристик ОВ типа NZ DSF+

Аналогично, имеется возможность отображения характеристик коэффициента затухания. Зависимость коэффициента затухания от частоты для всего диапазона дана на рис. 3

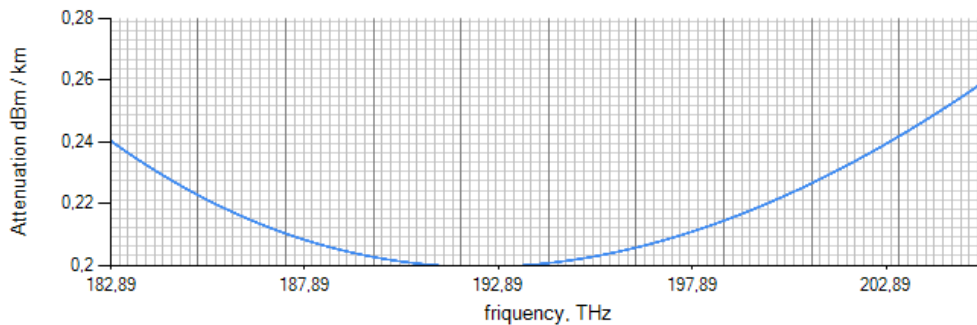


Рис. 3. Отображение коэффициента затухания от частоты

Отметим основные возможности рассматриваемой системы моделирования. Программа Nonlinear позволяет наблюдать основные эффекты линейных и нелинейных искажений ОС в ОВ, включая:

- исследование деформаций ОС вследствие дисперсии;
- исследование деформаций ОС с учетом дисперсии и неравномерности коэффициента затухания;
- наблюдение фазовой самомодуляции (ФСМ) с учетом фактора нелинейности;
- наблюдение квазисолитонного режима передачи ОС;
- наблюдение эффектов фазовой кросс-модуляции (ФКМ) и относительной задержки импульсов в многоканальных системах.

Количество каналов может быть 1, 3, 5. Для наблюдения наиболее интересных явлений этого достаточно. График спектральной плотности и амплитуды ОС для 5-канальной ВОСП дан на рис. 4.

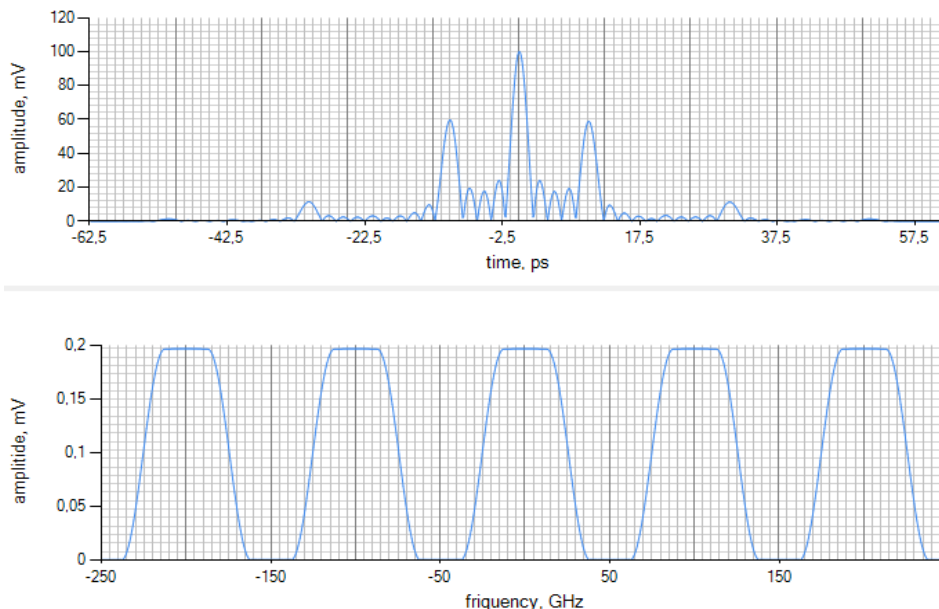


Рис. 4. Графики функций в 5-канальной ВОСП

Соответственно, во временной области можно формировать пачки импульсов одинаковой формы для исследования межимпульсной интерференции. При этом расстояния между каналами в спектральной области и между импульсами во временной области также можно изменять с различным шагом.

Значения моделируемой длины ВОСП можно устанавливать в широких пределах – от 10 км до 3000 км. Шаг моделирования можно изменять от 1 м до 10 км.

Протокол результатов, внесенный в таблицу можно сохранить в текстовом файле с разделителями табуляции. Такой файл впоследствии может быть отправлен преподавателю, например для оценки результатов лабораторной работы. Также он может быть открыт в Excel, после чего исследователь может выполнить дополнительную обработку результатов измерений.

Особенности алгоритмического и программного обеспечения

В общем плане применяемый алгоритм не отличается от базового алгоритма расщепления по физическим параметрам [1, 4, 5].

На каждом шаге моделирования по длине ОВ h последовательно выполняются четыре оператора: сначала над сигналом во временной области $U(t)$ выполняется быстрое преобразование Фурье (БПФ), затем полученная спектральная плотность $G(\omega)$ преобразуется оператором линейных искажений D_L , который учитывает дисперсию и затухание, далее выполняется обратное БПФ и, наконец, во временной

области выполняется преобразование оператором нелинейных искажений D_{NL} .

Условно этот алгоритм можно записать так:

$$\begin{cases} G(\omega, z+h) = F[U(t, z)] \otimes D_L[G, \omega, h] \\ U(t, z+h) = F^{-1}[G(\omega, z+h)] \otimes D_{NL}[U, t, h] \end{cases} \quad (2)$$

где F и F^{-1} обозначают соответственно операторы прямого и обратного БПФ. Знак \otimes означает: «применить оператор», что в алгоритмических решениях сводится к комплексным умножениям на значения поворачивающих множителей.

Реализация операторов (2) требует адекватного выбора шага моделирования h . Здесь требуется компромисс между точностью моделирования и возможностями отображения образов сигналов на экране. Если ограничиться только линейными эффектами при условии $\alpha(\omega) = \alpha(2\pi f) \approx const$, то точность моделирования не будет зависеть от шага. В самом деле, преобразование в частотной области означает умножение спектральной плотности на коэффициент передачи $H_L(\omega)$:

$$G(\omega, z+h) = G(\omega, z)H_L(\omega), \quad H_L(\omega, h) = \exp(-j\beta_2(\omega)h\omega^2/2). \quad (3)$$

Разделим общую длину L линии ВОСП на n равных участков, тогда $h = L/n$ и

$$H_L(\omega, L) = \prod_{k=1}^n \exp(-j\beta_2(\omega)h\omega^2/2) = \exp(-j\beta_2(\omega)\omega^2/2 \sum_k h) = \exp(-j\beta_2(\omega)L\omega^2/2)$$

независимо от выбора шага.

Совершенно иная ситуация при совместном моделировании линейных и нелинейных эффектов. Нетрудно убедиться, что моделировать нелинейные эффекты абсолютно точно невозможно. Речь может идти о приемлемой точности моделирования. При этом для выбранного шага необходимо сравнивать полученный результат моделирования с некоторым эталоном. Если расхождение неприемлемо, шаг следует уменьшить. Иной вопрос – а где взять эталон? В программе nonlinear с этой целью применен метод обратного преобразования, а в качестве эталона берется сигнал и его спектр в начальной фазе.

Общая длина линии делится пополам. При движении до середины линии выполняются преобразования с шагом h , затем изменяются на противоположные операторы D_L и D_{NL} . Для этого значения поворачивающих фазовых множителей изменяются на комплексно сопряженные и соответствующим образом коэффициент затухания заменяется коэффициентом усиления. В частности, зависимость (3) приобретает вид: $H_L(\omega, h) = \exp(-j\beta_2(\omega)h\omega^2/2)$. Шаг моделирования делится пополам и обратные преобразования выполняются с заведомо большей точностью (с шагом $h/2$). Мерой точности моделирования может быть любая метрика в пространстве сигналов и спектров. В программе выбран простейший вариант линейной метрики:

$$R(U) = \int_{-T}^T |U(t,0) - U(t,L)| dt, \quad R(G) = \int_{-\Omega}^{\Omega} |G(t,0) - G(t,L)| dt. \quad (4)$$

Интегралы в зависимостях (4) вычисляются, естественно, численными методами.

Данный простой прием позволяет дополнительно продемонстрировать эффекты компенсации искажений ОС. Например, можно показать, как в волокне с противоположным знаком дисперсии выполняется полная или частичная компенсации данного фактора.

Наиболее сложный вопрос в моделировании нелинейных эффектов – опять-таки компромисс между точностью и возможностью воспроизведения в удобном масштабе времени экспозиций. Простой и достаточно точный вариант нелинейных преобразований (2) во временной области дается оператором [1]:

$$U(t, z+h) = U(t, z)H_{NL}(t, z), \quad H_{NL}(t, z) = \exp(j\phi_{NL}(t, z, h)),$$

где $\phi_{NL}(t, z)$ – фазовая функция нелинейных искажений, которая в литературе определяется разными эквивалентными способами. При этом используются разные параметры [7]. Приемлемым в нашем случае является определение [1]:

$$\phi_{NL}(t, z, h) = P(t, z)z_{eff}/L_{NL}, \quad z_{eff} = \frac{1}{\alpha}(1 - \exp(-\alpha h)), \quad P(t, z) = |U(t, z)|^2, \quad (5)$$

где $P(t, z)$ – распределение мгновенной мощности вдоль временной оси ОС; z_{eff} – эффективная длина начального участка ОБ; L_{NL} – нелинейная длина, на которой максимум фазовой функции (5) достигает значения 1. В расчетах моделей оказалось допустимым при малом шаге использовать приближение $z_{eff} \approx h$, а также принять некоторую усредненную величину для разных типов ОБ в расчете на 1 км длины линии: $\eta_{NL} = z_{eff}^*/L_{NL}^*$. Тогда изменение фазы (5) получается в простой форме:

$$\varphi_{NL}(t, z, h) = P(t, z)\eta_{NL}h.$$

Наиболее значимым проявлением нелинейных эффектов является деформация спектра ОС, включая его расширение. Данное явление обычно представляют в виде сдвига мгновенной частоты [1, 7]:

$$\Delta\omega(t, z, h) = -\frac{\partial\varphi_{NL}(t, z, h)}{\partial t} = -\eta_{NL}h \frac{\partial P(t, z)}{\partial t}. \quad (6)$$

Реализация спектральных преобразований вида (6) требует неоправданных вычислительных затрат. В этом случае приходится выполнять нелинейные преобразования собственно частотной оси. При этом теряется точность за счет пересчета значений массива частот, а также пересчета промежуточных значений спектральной плотности. Если полагать, что изменение фазы незначительно на каждом шаге, а функции $P(t, z)$ достаточно гладкие, то можно ограничиться разложением множителя $H_{NL}(t, z)$ в ряд Тейлора с удержанием членов не выше первого порядка:

$$H_{NL}(t, \Delta t, z, h) = 1 + j \frac{\partial P(t, z)}{\partial t} \eta_{NL} h \Delta t \cdot \exp(jP(t, z)\eta_{NL}h). \quad (7)$$

Тогда деформация сигнала во временной области (2) выражается так: $U(t, z + h) = U(t, z)(1 + \Delta H_{NL})$, где

$$\Delta H_{NL}(t, \Delta t, z, h) = \frac{\partial P(t, z)}{\partial t} \eta_{NL} h \Delta t \cdot [-\sin(P(t, z)\eta_{NL}h) + j \cos(P(t, z)\eta_{NL}h)]. \quad (8)$$

Как видим, выражение (8) для приращения множителя $H_{NL}(t, z)$ позволяет одновременно учитывать девиацию фаз, а также зависимость от производной мгновенной мощности. Последнее дает возможность исследовать нелинейные эффекты в зависимости от вида фронтов ОС.

В качестве меры длительности ОС и ширины спектра в алгоритмах предусмотрены соответственно расчетная длительность и расчетная ширина спектра (РДИ и РШС [8]). Данные оценки позволяют сравнивать параметры искажений ОС различной формы.

Среди приемов программирования, обеспечивающих высокое быстродействие, отметим: вынесение расчетов константных параметров за пределы циклов, передачу в методы больших массивов по ссылкам, а не по значениям и т.п.

Отображение промежуточных стадий динамического моделирования требует значительных затрат времени. Поэтому в программе предусмотрены варианты, когда вычисления выполняются с мелким шагом, а отображения выполняются с увеличенными в 5, 10 и 20 раз шагами.

Модели квазисолитонных режимов в оптическом волокне

В короткой статье невозможно дать информацию обо всех эффектах, подтверждаемых или обнаруживаемых с помощью программы `nonlinear`, а тем более показать картину деформаций ОС в динамическом режиме. Поэтому остановимся только на одном нелинейном явлении, которое удастся моделировать – на возникновении солитонного режима передачи. Считается, что данный режим может быть в основе перспективных ВОСП с рекордной скоростью передачи [9].

Строго говоря, получить оптический солитон на более-менее большом расстоянии невозможно. В то же время, в определенных диапазонах частот вблизи точек нулевой дисперсии ОС может сжиматься [1]. Режим, в котором РДИ уменьшается вследствие компенсации дисперсии нелинейными эффектами, а далее увеличивается до начального значения можно назвать квазисолитонным режимом. При этом скорость передачи на данном расстоянии будет определяться начальной длительностью импульса.

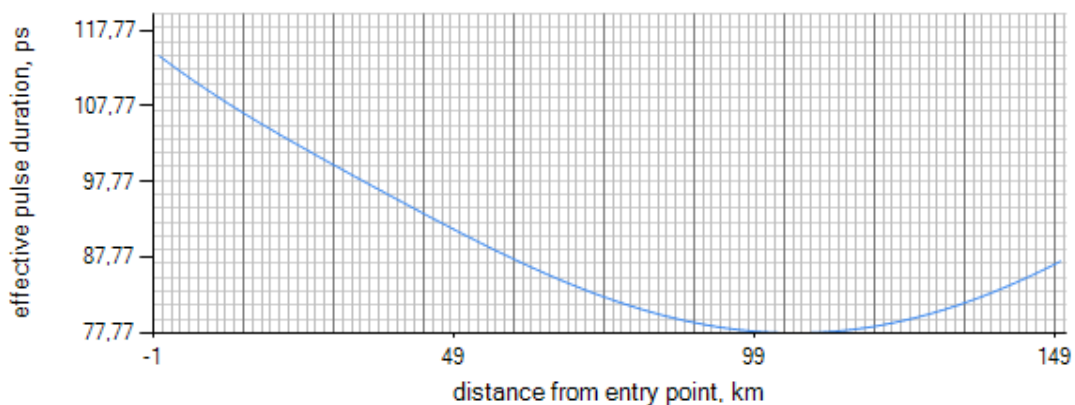


Рис. 5. Квазисолитонный режим вблизи точки нулевой дисперсии

На рис. 5 приведен график изменения РДИ для канала шириной 50 ГГц в условиях небольшой дисперсии $\beta_2 = 3,4711$ [пс/(ТГц*км)] ($D = -2,752$ [пс/(нм*км)]). Начальная форма сигнала – гауссов импульс,

центральная частота $f_0=195,325$ ТГц. Как видно, РДИ постепенно уменьшается до расстояния порядка 100 км, а затем начинает увеличиваться. Представляет интерес исследовать, на каком расстоянии и для какого диапазона частот будет наблюдаться квазисолитонный режим. Параметром для сравнения будет служить длина перекомпенсации L_{comp} , когда РДИ уменьшается.

В табл. 1 даны результаты моделирования для нескольких частотных каналов при той же начальной форме ОС.

Таблица 1

Длина перекомпенсации для каналов шириной 50 ГГц

Nк	f_0 , ТГц	β_2 , пс/ТГц/км	L_{comp} , км	Nк	f_0 , ТГц	β_2 , пс/ТГц/км	L_{comp}
1	195,375	3,5246	115	11	195,875	4,0554	230
2	195,425	3,5781	124	12	195,925	4,1080	275
3	195,475	3,6314	126	13	195,975	4,1606	310
4	195,525	3,6847	130	14	196,025	4,2130	375
5	195,575	3,7379	140	15	196,075	4,2654	480
6	195,625	3,7910	148	16	196,125	4,3177	620
7	195,675	3,8441	160	17	196,175	4,3699	800
8	195,727	3,8970	170	18	196,225	4,4220	1600
9	195,775	3,9499	190	19	196,275	4,4741	2300
10	195,825	4,0027	220	20	196,325	4,5261	60

В табл. 1 примечателен характер увеличения длины перекомпенсации от 115 до 2300 км, после чего наблюдается резкий спад. Частота, на которой квазисолитонный режим становится незначительным в данном случае (ОВ типа NZ DSF-, РШС примерно 50 ГГц) приблизительно равна 196,325 ТГц (центральная длина волны 1528,66 нм). При этом значения коэффициентов дисперсии групповых скоростей и хроматической дисперсии составляют 4,4741 пс/(ТГц*км) и -3,588 пс/(нм*км). Таким образом, моделирование подтверждает теоретические выводы о том, что солитонный режим может возникать при небольшой отрицательной дисперсии [1].

Другое положение теории подтверждает рис. 6.

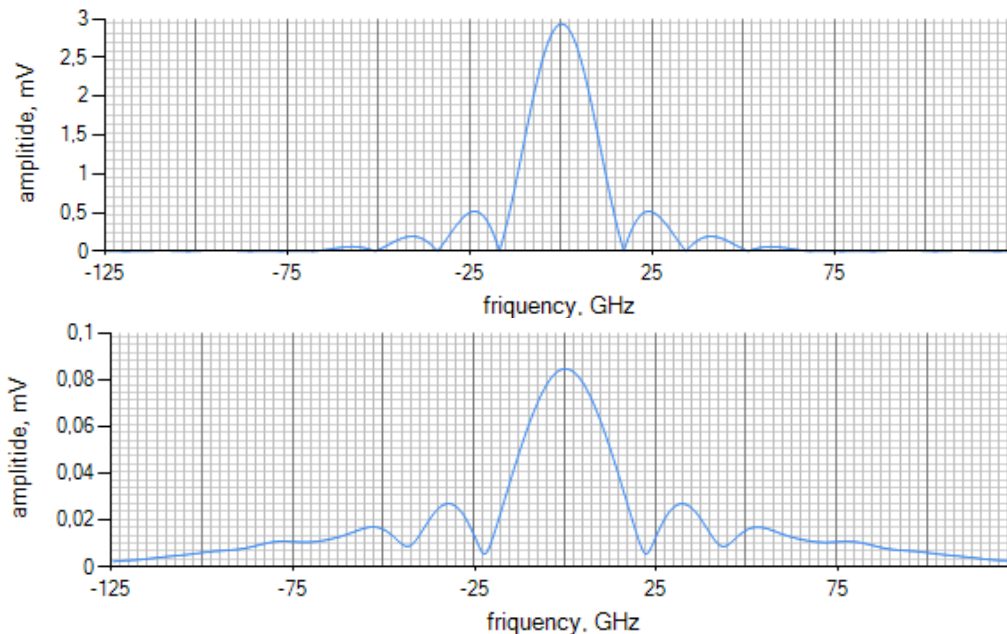


Рис. 6. Начальная и финальная форма амплитудного спектра ОС в виде приподнятого косинуса

Из последнего рисунка видно, что спектр ОС расширяется за счет нелинейных эффектов, что также согласуется с положениями теории нелинейной волоконной оптики.

Заключення

Разработанное алгоритмическое и программное обеспечение реализуют метод расщепления по физическим параметрам. Особенность данной реализации метода заключается в использовании большого класса начальной формы сигналов, а также привязка к параметрам, характерным для реальных ВОСП. При этом за счет использования достаточно точной линеаризации удастся наблюдать различные процессы в одноканальных и многоканальных ВОСП в режиме динамического моделирования.

Выполненные многочисленные исследования с помощью программы nonlinear подтверждают основные выводы теории нелинейной волоконной оптики. При определенных настройках модели позволяют наблюдать такие сложные явления, как солитонный режим передачи ОС.

В целом, рассматриваемые алгоритмы и программы могут использоваться как в учебных, так и в научных целях.

Литература

1. Агравал Г. Нелинейная волоконная оптика / Агравал Г. – М. : Мир, 1996. – 323 с.
2. Одегов Н.А. Зависимость длительности и формы оптических сигналов от неравномерности коэффициента затухания / Н.А. Одегов, А.И. Гузун // Вісник Хмельницького національного університету. – 2019. – № 1. – С. 194–203.
3. Педяш В.В. Усовершенствование модели распространения оптического сигнала на базе рядов Вольтерра / В.В. Педяш // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2015. – № 2. – С. 96–103.
4. Исследование распространения световых импульсов в оптических волокнах / [О.Е. Наний, В.Г. Волков, В.Г. Воронин, В.А. Камынин]. – М. : МГУ. НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, 2011. – 25 с.
5. Султанов А.Х. Моделирование распространения WDM-сигналов в волоконно-оптической линии передачи в условиях нелинейностей и поляризационно-модовой дисперсии / А.Х. Султанов, В.Х. Багманов, Р.В. Кутляров, С.В. Харитонов // Вестник УГАТУ. Электроника, измерительная техника, радиотехника и связь. – 2012. – Т. 16, № 8 (53). – С. 29–35.
6. Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid. Recommendation ITU-T G.694.1. 2012. 16 p.
7. Портнов Э.Л. Оптические кабели связи и пассивные компоненты волоконно-оптических линий связи / Э.Л. Портнов. – М. : Горячая линия – Телеком, 2007. – 464 с.
8. Одегов Н.А. Основы теории аппроксимации оптических сигналов гауссовыми импульсами / Н.А. Одегов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2018. – № 5. – С. 42–72.
9. Макаров Т.В. Когерентные волоконно-оптические системы передачи / Т.В. Макаров. – Одесса : ОНАС им. А.С. Попова, 2009. – 220 с.

References

1. Agraval G. Nelinejnaya volokonnaya optika / Agraval G. – M. : Mir, 1996. – 323 s.
2. Odegov N.A. Zavisimost dlitelnosti i formy opticheskikh signalov ot neravnomernosti koefficienta zatushaniya / N.A. Odegov, A.I. Guzun // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2019. – № 1. – S. 194–203.
3. Pedyash V.V. Usovershenstvovanie modeli rasprostraneniya opticheskogo signala na baze ryadov Volterra / V.V. Pedyash // Naukovi pratsi ONAZ im. O.S. Popova. – 2015. – № 2. – S. 96–103.
4. Issledovanie rasprostraneniya svetovykh impulsov v opticheskikh voloknah / [O.E. Naniy, V.G. Volkov, V.G. Voronin, V.A. Kamynin]. – M. : MGU. NII yadernoy fiziki im. D.V. Skobelcyna, 2011. – 25 s.
5. Sultanov A.H. Modelirovanie rasprostraneniya WDM-signalov v volokonno-opticheskoy linii peredachi v usloviyah nelinejnostej i polarizacionno-modovoj dispersii / A.H. Sultanov, V.H. Bagmanov, R.V. Kutlyarov, S.V. Haritonoov // Vestnik UGATU. Elektronika, izmeritelnaya tehnika, radiotekhnika i svyaz. – 2012. – T. 16, № 8 (53). – S. 29–35.
6. Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid. Recommendation ITU-T G.694.1. 2012. 16 p.
7. Portnov E.L. Opticheskie kabeli svyazi i passivnye komponenty volokonno-opticheskikh linii svyazi / E.L. Portnov. – M. : Goryachaya liniya – Telekom, 2007. – 464 s.
8. Odegov N.A. Osnovy teorii approksimacii opticheskikh signalov gaussovymi impulsami / N.A. Odegov // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2018. – № 5. – S. 42–72.
9. Makarov T.V. Kogerentnye volokonno-opticheskie sistemy peredachi / T.V. Makarov. – Odessa : ONAS im. A.S. Popova, 2009. – 220 s.

Рецензія/Peer review : 17.05.2020 р.

Надрукована/Printed : 27.06.2020 р.

Рецензент: к.т.н. К. Л. Горященко

ОЦІНКА ДОВГОВІЧНОСТІ ОБ'ЄКТІВ ЗА ДАНИМИ ПРО ПЕРЕМІЩЕННЯ ТОЧОК ЇХ ПОВЕРХНІ

Для оцінки реального технічного стану діючих магістральних та технологічних трубопроводів, циліндрично-оберткових об'єктів вивчається питання оцінки технічного ресурсу з урахуванням термінів експлуатації об'єктів, режимів дії на них силових факторів різної природи, які обумовлюють зміну несучої здатності об'єктів. Запропоновано розрахункову схему для оцінки довговічності технологічних оберткових об'єктів з використанням статистичного критерію, а також спосіб визначення зміни напружено-деформованого стану вказаних об'єктів. Реалізовано методику перевірки гіпотези про нормальний закон розподілу випадкової величини – зміни напруженого стану об'єкта дослідження.

Ключові слова: оберткові об'єкти, зміни напружень, компонент тензора напружень, значення квантилі, амплітуди вібрації, вібронантаження, термін експлуатації.

A.P. OLIYNYK, G.V. GRYGORCHUK, O.I. KLAPOUSHCHAK, L.I. FESHANYCH

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

EVALUATION OF THE DURABILITY OF OBJECTS ACCORDING TO DATA ON THE DISPLACEMENT OF POINTS OF THEIR SURFACE

In order to evaluate the actual technical condition of existing main and technological pipelines, cylindrical - rotating objects, the issue of technical resource evaluation is considered taking into account the life of the objects, the modes of action on them of force factors of different nature, which cause changes in the bearing capacity of the objects. In doing so, statistical approaches that provide additional information about the loading of the investigated object, the presence of periodic loads are used. For this purpose, the components that characterize the change in stresses of the deformed state are studied. To determine the structures durability, it is necessary to determine whether the law of change of stresses obeys the normal law of distribution. This selects those sectors on a cylindrical object where the stress change is maximum. It is potentially possible to control the process of changing voltages at each point in the grid, but in this case there is a need to deal with large amounts of computation. A calculation scheme is proposed for estimating the durability of technological rotating objects using a statistical criterion, as well as a method for determining the change in the stress-strain state of these objects. The method of testing the hypothesis about the normal law of distribution of random value – change of the stress state of the object of study is implemented. The directions of further researches are determined, which should include determination of physical and mechanical characteristics of material of technological pipelines; determination of statistical characteristics of modes of vibration or change of loads; implementation of known methods of measuring the displacement of surface points for the purpose of the law of motion; experimental and theoretical determination of the unknown characteristics of the materials from which the elements of the design of technological rotary objects are made.

Keywords: rotating objects, voltage changes, stress tensor component, quantile values, vibration amplitudes, vibration loads, service life.

Вступ

Під час оцінки реального технічного стану діючих магістральних та технологічних трубопроводів, циліндрично-оберткових об'єктів, елементів конструкції газоперекачувальних агрегатів виникає питання оцінки технічного ресурсу з урахуванням термінів експлуатації об'єктів, режимів дії на них силових факторів різної природи, які обумовлюють зміну несучої здатності об'єктів. Питання такого роду вивчалось багатьма авторами [1, 2, 5, 6]. Як правило, задача оцінки терміну експлуатації об'єкта з математичної точки зору є некоректною через достатньо наближений характер задання початкових умов, тому необхідно робити додаткові допущення про характер діючих на об'єкт навантажень, врахувати особливості геометричної конфігурації, періодичність дії часових впливів. При цьому необхідно використовувати статистичні підходи [2], які передбачають наявність деякої додаткової інформації про способи навантаження об'єкта, що досліджується, а також навантажень, що мають періодичний характер.

Розглядається випадок, коли відомим є процес зміни напружень в часі, що моделюються згідно з розробленими в [7] моделями. Для цього використаємо найбільш поширений метод розроблений Болотиним В.В. і відображений в роботі [2], згідно з яким у випадку, коли випадковий процес зміни напружень підпорядковується нормальному закону розподілу, формула очікуваного терміну служби має наступний вигляд:

$$t_n = \frac{N_1 t_1 x_0^m}{F} \quad (1)$$

де

$$F = \sum_{n=0}^m C_m^n (\psi \alpha_1)^n \psi^{m-n+2} P[(x_0 - \psi \alpha_1)^2, m-n+2], \quad (2)$$

C_m^n – число комбінацій з m елементів по n ;

t_1 – ефективний період пульсацій напружень;

$$x_1 = \frac{\langle s \rangle}{s\sigma}; \quad x_0 = \frac{\sigma_2}{s\sigma};$$

$$\psi(n) - \text{масштабний множник: } \psi(n) = 2^{\frac{n-2}{2}} \cdot \Gamma\left(\frac{n}{2}\right);$$

$\Gamma(\alpha)$ – гамма функція [3]:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty x^{\alpha-1} e^{-x} dx, \quad (3)$$

причому якщо α – непарне ціле число, то $\psi(\alpha) = (\alpha - 2)! \cdot \sqrt{\frac{\pi}{2}}$, якщо α – парне, то $\psi(\alpha) = 2^{\frac{\alpha-2}{2}} \cdot \left(\frac{\alpha-2}{2}\right)!$ [2];

$P_{\chi^2}(x_0, m_1 + 2)$ – функція χ^2 – розподілу Пірсона;

N_1, m_1, σ_2, ψ – відомі характеристики матеріалу;

S_σ – інтенсивність пульсацій напружень;

для функції $P_{\chi^2}(x_0, \nu)$ відома форма подання [4]:

$$P_{\chi^2}(x_0, \nu) = k \cdot e^{-\frac{x_0}{2}} \cdot \frac{\nu^{-1}}{x_0^{\frac{\nu}{2}}}, \quad x_0 \geq 0, \quad (4)$$

де k – нормований множник, який забезпечує виконання рівності:

$$\int_0^\infty P_{\chi^2}(x_0; \nu) dx_0 = 1 \quad (5)$$

Табличні значення квантилі можна знайти, наприклад, в роботі [1]. Зокрема, за даними досліджень труб, що використовується в магістральних трубопроводах, приймається $S_\sigma = 12 \div 14$ МПа, $\langle \sigma \rangle = 180 - 190$ МПа; $t = 1 \div 2$ с; $N_1 = 10^7$; $m = 6$, $\psi = 0,17$ і $\sigma_2 = 140$ МПа, при цьому $t_1 \approx 10^6$ год. Підходи, що використовуються в [7, 8], дозволяють на основі інформації про переміщення певної множини точок поверхні досліджуваного тіла встановити закон руху кожної точки досліджуваного трубопроводу у вигляді:

$$\vec{r}(s, \varphi, r, t) = \vec{r}_1(s, \varphi, r, t) - R\vec{n}_1 + \rho(s, \varphi, r, t) [\cos \omega(s, \varphi, r, t) \cdot \sin \omega(s, \varphi, r, t) \vec{n}_1] + \psi(s, \varphi, r, t) \vec{L}_1 \quad (6)$$

де $\rho(s, \varphi, r, t), \omega(s, \varphi, r, t), \psi(s, \varphi, r, t)$ – функції, які характеризують переміщення точок досліджуваного тіла в радіальному, поперечному та поздовжньому напрямках при різних компоновках досліджуваної ділянки трубопроводу (рис. 1) – ділянки I та III – прямолінійні, II – тороподібна, IV – конічна; змінні s, φ, r – пов’язані з криволінійно-циліндричною системою координат: s – координата вздовж осі тіла, $0 \leq \varphi \leq L$;

φ – координата по полярному куту, $0 \leq \varphi \leq 2\pi$;

r – координата по радіусу трубопроводу, $R_{вн} \leq r \leq R_3$, $R_{вн}$ – внутрішній; R_3 – зовнішній радіуси труби,

$\vec{r}_1, \vec{n}_1, \vec{L}_1$ – компоненти нормалі, бінормалі та дотичної в досліджуваній точці тіла.

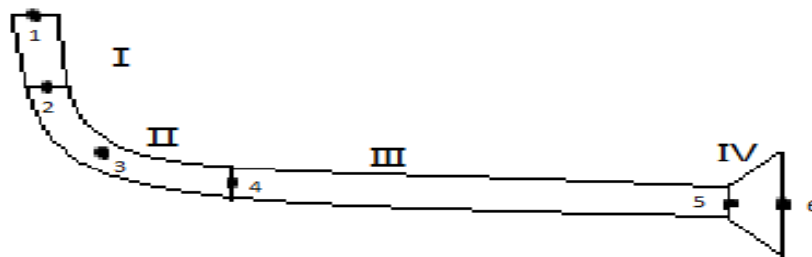


Рис. 1. Комплексна компоновка ділянки трубопроводу

Подання (6) є справедливим для квазіпрямолінійної, тороподібної та конічної ділянки об’єктів. На рис. 1 показано схему розміщення точок, в яких необхідно проводити вимірювання напружень з метою оцінки параметрів довговічності. В роботах [7, 8, 10–13] наводяться вказані подання для конічних та тороподібних ділянок трубопроводів, які використовуються в різних промислових системах. Подання виду (6) дозволяє провести розрахунок зміни напружено-деформованого стану досліджуваних об’єктів в рамках моделі крупно-деформованого ізотропного або анізотропного тіла за формулами [7]:

- для компонент тензора деформацій:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} (\nabla_i \omega_j + \nabla_j \omega_i), \quad (7)$$

де ω_i – компоненти вектора переміщень, пораховані за (6);
 ∇_i – оператор коваріантного диференціювання у відповідній системі координат (декартовій, циліндричній, конічній, тороподібній) [7–13];
 - для компонент тензора напружень (ізотропна модель):

$$\sigma^{ij} = \lambda I_1(\varepsilon_{ij}) g^{ij} + 2\mu \varepsilon^{ij}, \quad (8)$$

де $\sigma^{ij}, \varepsilon^{ij}$ – контраваріантні компоненти тензора деформацій та напружень;
 s, φ, r – псевдополярні координати,
 $I_1(\varepsilon_{ij})$ – перший інваріант тензора деформації:

$$I_1(\varepsilon_{ij}) = \sum_{ij=1}^3 \varepsilon^{ij} g^{ij}, \quad (9)$$

g^{ij} – контраваріантні компоненти метричного тензора відповідної криволінійної системи координат;

λ і μ – параметри Ламе матеріалу, з якого виготовлено досліджуване тіло, вони зв'язані з модулем Юнга E та коефіцієнтом Пуассона матеріалу σ залежностями:

$$\mu = \frac{E}{2(\sigma + 1)} \quad \text{і} \quad \lambda = \frac{E\sigma}{(1 + \sigma)(1 - 2\sigma)} \quad (10)$$

для компонент тензора напружень (анізотропна модель):

$$\sigma_{ij} = \sum_{k,l=1}^3 C_{ijkl} \varepsilon_{kl} \quad (11)$$

де C_{ijkl} – компоненти тензора пружних модулів, між коваріантними та контраваріантними компонентами тензора існує взаємозв'язок:

$$\varepsilon^{kl} = \sum_{ij=1}^3 \varepsilon_{ij} g^{ik} g^{jl}. \quad (12)$$

Таким чином, компоненти, які характеризують зміну напружень деформованого стану, визначаються за (6)–(12).

Зміна напружень на модельній ділянці технологічного трубопровода по довжині

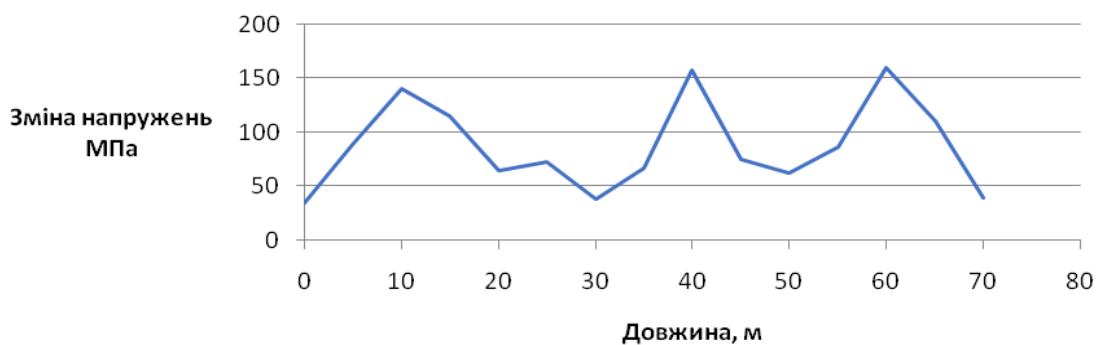


Рис. 2. Зміна напружень по перерізах модельної ділянки трубопровода

Для застосування запропонованої методики (1)–(5) визначення довговічності конструкцій необхідно визначити, чи підпорядковується закон зміни напружень нормальному закону розподілу. При цьому вибираються ті сектори на технологічному трубопроводі, на яких зміна напружень є максимальними (рис. 2). Потенційно можливо контролювати процес зміни напружень в кожній точці розрахункової сітки, але в такому випадку виникає необхідність мати справу зі значними об'ємами обчислень. В тому випадку, коли конструкція зазнає дії вібронавантажень або інших навантажень періодичного характеру, закон (6) будується по максимальним амплітудам вібрації, визначених експериментально. Тому в контрольних (7) точках визначаються значення напружень. Одержується вибірка значень напружень $\sigma_{ij}^0(A_k)$ в точках A_k , яка групується за інтервалами:

Перевірка гіпотези про те, що вказана вибірка підлягає нормальному закону розподілу, проводиться за критерієм χ^2 наступним чином:

1. Визначаються середини відрізків інтервалів:

$$x_\alpha = \frac{1}{2} \left[\sigma_{ij}^{\alpha-1}; \sigma_{ij}^\alpha \right], \quad (12)$$

$\alpha = 1, \dots, k$, k – кількість інтервалів розбиття.

Таблиця 1

Групування по інтервалах

Інтервал	Частота	Теоретична частота
$\left[\sigma_{ij}^0; \sigma_{ij}^1 \right]$	n_1	n_1^T
$\left[\sigma_{ij}^1; \sigma_{ij}^2 \right]$	n_2	n_2^T
$\left[\sigma_{ij}^2; \sigma_{ij}^3 \right]$	n_3	n_3^T
...
$\left[\sigma_{ij}^{k-2}; \sigma_{ij}^{k-1} \right]$	n_{k-1}	n_{k-1}^T
$\left[\sigma_{ij}^{k-1}; \sigma_{ij}^k \right]$	n_k	n_k^T

2. Обчислюється вибіркове середнє та дисперсія:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{\alpha=1}^k x_\alpha n_\alpha \quad (13)$$

$$n = \sum_{\alpha=1}^k n_\alpha \quad (14)$$

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{\alpha=1}^k (x_\alpha - \bar{x})^2 \quad (15)$$

Теоретичні частоти Π_α^T визначаються наступним чином:
визначаються межі інтегрування:

$$\beta = \frac{\sigma_{ij}^{\alpha-1} - x_\alpha}{S}; \quad \gamma = \frac{\sigma_{ij}^\alpha - x_\alpha}{S} \quad (16)$$

після чого знаходиться теоретична ймовірність:

$$P_\alpha = \int_{\beta}^{\gamma} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt \quad (17)$$

за таблицями інтеграла Ейлера [4]. Тоді

$$\Pi_\alpha^T = nP_\alpha \quad (18)$$

Якість результатів, одержаних за критерієм Пірсона, вважається прийнятною, якщо $n \geq 5$. В разі потреби, деякі інтервали об'єднуються (як правило, кратні). Обчислюються значення

$$\chi_\beta^2 = \sum_{\alpha=1}^k \frac{(n_\alpha - nP_\alpha)^2}{nP_\alpha} \quad (19)$$

та χ_T^2 , яке визначається з таблиць χ^2 для параметрів: квантиль 0.95; кількість ступенів свободи $m = k - l - 1$, де l – кількість параметрів нормального закону; $l = r$; k – кількість інтервалів після об'єднання неінформативних; $\chi_{0.95}^2(m)$ визначається з таблиць χ^2 [4]. Якщо

$$\chi_\beta^2 < \chi_T^2(m), \quad (20)$$

то гіпотеза про нормальний закон генеральної сукупності напружень узгоджується з емпіричними даними вибірки з ймовірністю 0,95. З такою ж ймовірністю буде достовірним значення t_n в (1). Якщо ж умова (20) не виконується, то можливі два варіанти: 1) збільшення об'єму вибірки n ; 2) використання одержаних результатів з урахуванням того факту, що t_n визначається з ймовірністю меншою за 0.95, при цьому весь алгоритм розрахунку можна повторити для значень квантилі, меншою за 0.95.

Висновки

За результатами моделювання зміни напружено-деформованого стану діючих магістральних та технологічних трубопроводів, циліндрично-обертючих об'єктів, елементів конструкції ГПА, проведеного на основі результатів роботи [7] запропоновано вирішення питання оцінки технічного ресурсу з

урахуванням термінів експлуатації об'єктів, режимів дії на них силових факторів різної природи, які обумовлюють зміну несучої здатності об'єктів. Розроблена методика дозволяє визначати параметри довговічності об'єктів, які тривалий час експлуатуються, періодично проводячи оцінку довговічності з метою врахування значення діючих змін напружень неперспектного характеру – зміщення осей об'єктів, зміна режимів та умов експлуатації, зміна властивостей матеріалу. При цьому необхідно також періодично оцінювати значення параметрів, які вводять в методику (1)–(5) для корекції початкових значень параметрів довговічності з урахуванням особливостей процесу експлуатації та конструктивних особливостей досліджуваних технічних систем.

Напрямки подальшого дослідження можуть бути визначені наступним чином:

- визначення фізико-механічних характеристик матеріалу технологічних трубопроводів та циліндрично-обертвових об'єктів в кожний контрольний момент часу;
- визначення статистичних характеристик режимів вібрації або зміни навантажень, обумовлених зміною режимів та умов технічної експлуатації об'єктів;
- реалізація відомих апаратних методик періодичних вимірювань переміщень точок поверхні з метою побудови (6) та урахування особливостей геометрії об'єкта;
- експериментально-теоретичного визначення відомих характеристик матеріалів, з яких виготовлено технологічні трубопроводи та циліндрично-обертвові об'єкти з урахуванням їх змін внаслідок втоми матеріалу.

Література

1. Харионовский В. В. Повышение прочности газопроводов в сложных условиях / В. В. Харионовский. – Л. : Надра, 1990. – 180 с.
2. Болотин В. В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций / В. В. Болотин. – М. : Машиностроение, 1984. – 321 с.
3. Зорич В. А. Математический анализ / В. А. Зорич. – М. : Наука, 1984. – 640 с.
4. Свєрдан П.П. Вища математика (Математичний аналіз і теорія ймовірностей) / П. П. Свєрдан. – Знання, 2008. – 450 с.
5. Вислобіцький П. А. Розрахунки граничних станів колон труб та трубопроводів / П.А. Вислобіцький. – К. : Логос, 1997. – 364 с.
6. Работоспособность трубопроводов / Е. Е. Зорин, Г. А. Ланчанов, А. Н. Степаненко, А. В. Шибнев. – М. : Сопротивляемость разрушений. – 350 с.
7. Олійник А. П. Математичні моделі процесу квазістационарного деформування трубопровідних та промислових систем при зміні їх просторової конфігурації / А. П. Олійник. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2010. – 320 с.
8. Победря Б. Е. Лекции по тензорному анализу / Б. Е. Победря. – М. : Из-во Московского университета, 1986. – 264 с.
9. Седов Л. И. Механика сплошных сред / Л. И. Седов. – М. : Наука, 1984. – Т. 2. – 572 с.
10. Тимошенко С. П. Теория упругости / С. П. Тимошенко. – М. : Наука, 1975. – 576 с.
11. Марчук Г. И. Методы вычислительной математики : учебное пособие / Г. И. Марчук. – М. : Наука, 1989. – 608 с.
12. Clapham L. Origin of a magnetic easy axis in pipeline steel / L. Clapham, C. Heald, T. Krause // J. Appl. Phys. – 1999. – Vol. 86. – № 36. – P. 1574–1580.
13. Cline A.K. Scalar and Planar Valued Curve Fitting Using Splines Under Tension / A.K. Cline // Communications of the ACM. – V. 17. – № 4. – P. 218–228.

References

1. Harionovskij V. V. Povyshenie prochnosti gazoprivodov v slozhnyh usloviyah / V. V. Harionovskij. – L. : Nadra, 1990. – 180 s.
2. Bolotin V. V. Prognozirovanie resursa mashin i konstrukcij / V. V. Bolotin. – M. : Mashinostroenie, 1984. – 321s.
3. Zorich V. A. Matematicheskij analiz / V. A. Zorich. – M. : Nauka, 1984. – 640 s.
4. Sverdan P.P. Vyshcha matematyka (Matematychnyi analiz i teoriia ymovirnostei) / P. P. Sverdan. – Znannia, 2008. – 450 s.
5. Vyslobitskyi P. A. Rozrakhunky hranychnykh staniv kolon trub ta truboprovodiv / P.A. Vyslobitskyi. – K. : Lohos, 1997. – 364 s.
6. Rabotosposobnost truboprovodov / E. E. Zorin, G. A. Lanchanov, A. N. Stepanenko, A. V. Shibnev. – M. : Soprotivlyaemost rozrushenij. – 350 s.
7. Oliinyk A. P. Matematychni modeli protsesu kvazistatsionarnoho deformuvannia truboprovodnykh ta promyslovykh system pry zmini yikh prostоровoi konfigurasii / A. P. Oliinyk. – Ivano-Frankivsk : IFNTUNH, 2010. – 320 s.
8. Pobedrya B. E. Lekcii po tenzornomu analizu / B. E. Pobedrya. – M. : Iz-vo Moskovskogo universiteta, 1986. – 264 s.
9. Sedov L. I. Mehanika sploshnyh sred / L. I. Sedov. – M. : Nauka, 1984. – T. 2. – 572 s.
10. Timoshenko S. P. Teoriya uprugosti / S. P. Timoshenko. – M. : Nauka, 1975. – 576 s.
11. Marchuk G. I. Metody vychislitelnoj matematiki : uchebnoe posobie / G. I. Marchuk. – M. : Nauka, 1989. – 608 s.
12. Clapham L. Origin of a magnetic easy axis in pipeline steel / L. Clapham, C. Heald, T. Krause // J. Appl. Phys. – 1999. – Vol. 86. – № 36. – R. 1574–1580.
13. Cline A.K. Scalar and Planar Valued Curve Fitting Using Splines Under Tension / A.K. Cline // Communications of the ACM. – V. 17. – № 4. – R. 218–228.

Рецензія/Peer review : 04.05.2020 р. Надрукована/Printed : 16.6.2020 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Захімовський Л.М.

ТЕНЗОРЕАКТИВНИЙ ЕФЕКТ У ПОЛЬОВИХ ТРАНЗИСТОРАХ

В статті представлено розробку та дослідження елементів теорії тензореактивного ефекту в польових тензочутливих транзисторах. Розроблено математичні моделі тензореактивного ефекту, які відрізняються від існуючих тим, що в них враховано вплив тиску на активну і реактивну складові повного опору тензочутливих польових транзисторів, які визначають залежність частоти генерації радіовимірювальних частотних перетворювачів від дії тиску. Проведені теоретичні та експериментальні дослідження показали, що активна складова повного опору польового транзистора змінюється на $8,86 \text{ Ом}/10^5 \text{ Па}$, а реактивна складова повного опору змінюється на $8,52 \text{ Ом}/10^5 \text{ Па}$ при зміні тиску на $2,5 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Отримані зміни повного опору від дії тиску є достатньо суттєвими для використання польових транзисторів як первинних тензочутливих елементів в радіовимірювальних частотних перетворювачах тиску. В результаті математичного моделювання отримано аналітичні вирази, які можна використати для інженерного розрахунку функції перетворення, рівняння чутливості та інших характеристик радіовимірювальних частотних перетворювачів тиску на основі польових тензочутливих транзисторів.

Ключові слова: тензореактивний ефект, тензочутливий польовий транзистор, радіовимірювальні частотні перетворювачі, тиск, від'ємний диференційний опір.

A.V. OSADCHUK, V.S. OSADCHUK, I.A. OSADCHUK

Vinnitsa National Technical University

TENZOREACTIVE EFFECT IN FIELD-EFFECT TRANSISTORS

The article presents the development and research of elements of the theory of the tenzoreactive effect in field tenzo-sensitive transistors. Mathematical models of the tenzoreactive effect have been developed, which differ from the existing ones in that they take into account the effect of pressure on the active and reactive components of the impedance of the tenzo-sensitive field-effect transistors, which determine the dependence of the generation frequency of the radiomeasuring frequency transducers on the effect of pressure. Theoretical and experimental studies showed that the active component of the field-effect transistor impedance changes by $8.86 \text{ Ohm}/10^5 \text{ Pa}$, and the reactive component of the impedance changes by $8.52 \text{ Ohm}/10^5 \text{ Pa}$ with a pressure change of $2.5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. The obtained changes in the impedance from the action of pressure are significant enough to use field-effect transistors as primary tenzo-sensitive elements in radiomeasuring frequency pressure transducers. As a result of mathematical modeling, analytical expressions are obtained that can be used for the engineering calculation of the conversion function, the sensitivity equation, and other characteristics of the radiomeasuring frequency pressure transducers based on field-effect transistors.

Keywords: tenzoreactive effect, tenzo-sensitive field-effect transistor, radiomeasuring frequency pressure transducers, pressure, negative differential resistance.

Вступ

Тиск потрібно вимірювати в космічних дослідженнях, при моніторингу навколишнього середовища, в автомобільній промисловості, комп'ютерній техніці, будівництві, хімічній промисловості, нафтогазовій промисловості, військовій техніці тощо [1–3]. Тому є нагальна потреба розширення наукових досліджень в галузі вітчизняного виробництва радіовимірювальних мікроелектронних параметричних перетворювачів тиску з огляду їх подальшого розвитку в напрямках: висока точність і чутливість, малі масогабаритні показники, надійність, відтворюваність, низька вартість, широка номенклатура та інтеграція з мікропроцесорними пристроями обробки інформації [4–6]. Все це примушує проводити пошук і розробку нових методів вимірювання, які б дозволили вирішити задачі, що з'являються у зв'язку з потребами практики.

На ринку сенсорів фізичних величин представлені прилади та засоби вимірювання та контролю тиску різних типів та конструкцій, проте більша частина перетворювачів тиску є аналоговими. У даних перетворювачах зміна тиску перетворюється в електричний вихідний сигнал у вигляді напруги або струму. Радіовимірювальні перетворювачі тиску з частотним вихідним сигналом мають ряд переваг перед аналоговими перетворювачами, які полягають у можливості одержання великих вихідних сигналів, а також у значному підвищенні завадостійкості, що дозволяє збільшити точність і чутливість вимірювання [7–10].

Розробка радіовимірювальних частотних перетворювачів тиску на основі напівпровідникових структур з від'ємним диференційним опором, в яких польові транзистори виступають як тензочутливі активні елементи, потребує розроблення математичних моделей тензореактивного ефекту в чутливих до тиску польових елементах [10]. На основі цих математичних моделей можна визначити залежності активної та реактивної складових повного опору польової транзисторної структури, зміни резонансної частоти перетворювачів від дії тиску, отримати рівняння чутливості та дослідити основні параметри і характеристики перетворювачів тиску. Розгляду цих питань присвячено дану статтю.

Теоретичні та експериментальні дослідження

Тензореактивний ефект у польових транзисторах, тобто залежність його повного вихідного опору від дії тиску, визначаємо на основі залежності елементів еквівалентної схеми від тиску, які є складовими повного опору. Залежність реактивної складової повного опору від тиску визначає зміну резонансної частоти радіовимірювального частотного перетворювача тиску. Еквівалентна схема польового транзистора,

який виступає первинним перетворювачем тиску, представлена на рис. 1 [11]. Перетворимо її на більш зручну для розрахунків вихідного повного опору тензочутливого польового транзистора (рис. 2).

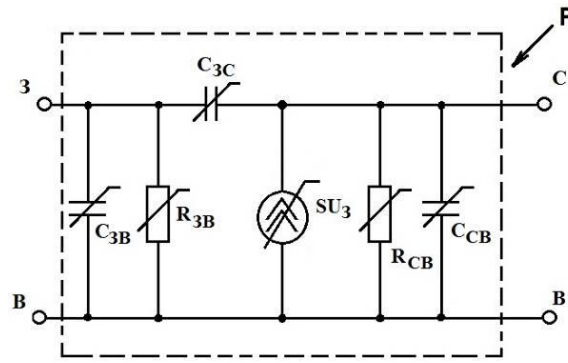


Рис. 1. Еквівалентна схема польового транзистора при дії тиску

Повні опори елементів еквівалентної схеми на рис. 2 описуються виразами:

$$Z_1 = \frac{R_{3B}}{1 + (j\omega R_{3B} C_{3B})^2} - j \frac{\omega R_{3B}^2 C_{3B}}{1 + (\omega R_{3B} C_{3B})^2}, \quad Z_2 = -j \frac{1}{\omega C_{3C}}, \quad Z_3 = \frac{R_{CB}}{1 + (\omega R_{CB} C_{CB})^2} - j \frac{\omega R_{CB}^2 C_{CB}}{1 + (\omega R_{CB} C_{CB})^2}.$$

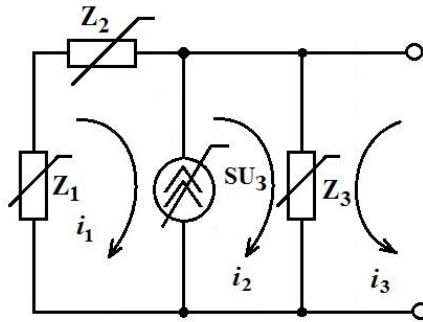


Рис. 2. Перетворена еквівалентна схема польового транзистора при дії тиску

Система рівнянь Кірхгофа для схеми (див. рис. 2) згідно з напрямками контурних струмів має вигляд

$$\begin{cases} 0 = (Z_1 + Z_2 + Z_3)i_1 + Z_3i_2 + Z_3i_3, \\ U = Z_3i_1 + Z_3i_2 + Z_3i_3. \end{cases} \quad (1)$$

Струм i_1 визначаємо з першого рівняння системи (1)

$$i_1 = \frac{Z_3i_3}{Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_3i_2}. \quad (2)$$

Струм i_2 визначаємо на основі схеми (рис. 2)

$$i_2 = SU_3 = S \cdot Z_1i_1. \quad (3)$$

Таким чином, підставивши значення струмів i_1 і i_2 в друге рівняння системи (1), отримаємо повний опір тензочутливого польового транзистора Z_{ce} від дії тиску

$$Z_{ce} = Z_3 - \frac{Z_3^2}{(Z_1 + Z_2 + Z_3) + Z_3SZ_1} - \frac{Z_3SZ_1}{Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_3SZ_1}. \quad (4)$$

Розділивши вираз (4) на дійсну і уявну складові, отримаємо формулу

$$Z_{ce} = (a_4 - a_{14} - a_{10}) - j(a_5 - a_{15} - a_{11}), \quad (5)$$

де $Z_1 = a_1 - ja_2$, $Z_2 = -ja_3$, $Z_3 = a_4 - ja_5$, $a_1 = \frac{R_{3B}}{1 + (\omega R_{3B} C_{3B})^2}$,

$$a_2 = \frac{\omega R_{3B}^2 C_{3B}}{1 + (\omega R_{3B} C_{3B})^2}, \quad a_3 = \frac{1}{\omega C_{3C}}, \quad a_4 = \frac{R_{CB}}{1 + (\omega R_{CB} C_{CB})^2}, \quad a_5 = \frac{\omega R_{CB}^2 C_{CB}}{1 + (\omega R_{CB} C_{CB})^2},$$

$$a_6 = S(a_4^2 a_1 - a_5^2 a_1 - 2a_4 a_5 a_2), \quad a_7 = S(2a_4 a_5 a_1 + a_2 a_4^2 - a_2 a_5^2), \quad a_8 = (a_1 + a_4) + S(a_4 a_1 - a_2 a_5),$$

$$a_9 = (a_1 + a_3 + a_5) + S(a_2 a_4 + a_1 a_5), \quad a_{10} = \frac{a_6 a_8 + a_7 a_9}{a_8^2 + a_9^2}, \quad a_{11} = \frac{a_7 a_8 - a_6 a_9}{a_8^2 + a_9^2}, \quad a_{12} = (a_4^2 - a_5^2), \quad a_{13} = 2a_4 a_5,$$

$$a_{14} = \frac{a_8 a_{12} + a_9 a_{13}}{a_8^2 + a_9^2}, \quad a_{15} = \frac{a_8 a_{13} - a_9 a_{12}}{a_8^2 + a_9^2}.$$

Визначивши активну і реактивну складові повного опору польового транзистора, перейдемо до визначення залежності елементів еквівалентної схеми (рис. 1) від дії тиску. Оскільки польовий транзистор працює в лінійному режимі, коли $U_{CB} < U_{3B}$, і нелінійному режимі, тобто в режимі насичення, коли $U_{CB} > U_{3B}$, то нам потрібно розглянути ці два режими роботи. Основну роль на зміну параметрів польового транзистора відіграють опір каналу і крутість, тому в першу чергу будемо розглядати їх залежність від дії тиску. В лінійному режимі опір каналу описується виразом [11, 12]

$$R_{CB} = \frac{L}{Z \mu_n C_0 \left(U_{3B} - U_{nop} - \frac{1}{2} U_{CB} \right)}, \quad (6)$$

де U_{nop} – порогова напруга; L – довжина каналу польового транзистора; Z – ширина каналу; μ_n – рухливість електронів у каналі польового транзистора; U_{3B} – напруга затвор-витік польового транзистора; C_0 – ємність підзатворного діелектрика на одиницю площі; U_{CB} – напруга стік-витік.

При дії тиску зміна опору каналу в загальному вигляді описується виразом

$$\Delta R_{CB}(P) = \frac{\partial R_{CB}}{\partial L} \Delta L(P) + \frac{\partial R_{CB}}{\partial Z} \Delta Z(P) + \frac{\partial R_{CB}}{\partial \mu_n} \Delta \mu_n(P) + \frac{\partial R_{CB}}{\partial C_0} \Delta C_0(P) + \frac{\partial R_{CB}}{\partial U_{3B}} \Delta U_{3B}(P) + \frac{\partial R_{CB}}{\partial U_{nop}} \Delta U_{nop}(P) + \frac{\partial R_{CB}}{\partial U_{CB}} \Delta U_{CB}(P). \quad (7)$$

Складові виразу (7) мають вигляд

$$\frac{\partial R_{CB}}{\partial L} \Delta L(P) = \frac{1}{Z \mu_n C_0 \left[U_{3B} - U_{nop} - \frac{1}{2} U_{CB} \right]} \Delta L(P), \quad (8)$$

$$\frac{\partial R_{CB}}{\partial Z} \Delta Z(P) = - \frac{L}{Z^2 \mu_n C_0 \left[U_{3B} - U_{nop} - \frac{1}{2} U_{CB} \right]} \Delta Z(P), \quad (9)$$

$$\frac{\partial R_{CB}}{\partial \mu_n} \Delta \mu_n(P) = - \frac{L}{Z \mu_n^2 C_0 \left[U_{3B} - U_{nop} - \frac{1}{2} U_{CB} \right]} \Delta \mu_n(P), \quad (10)$$

$$\frac{\partial R_{CB}}{\partial C_0} \Delta C_0(P) = - \frac{L}{Z \mu_n C_0^2 \left[U_{3B} - U_{nop} - \frac{1}{2} U_{CB} \right]} \Delta C_0(P), \quad (11)$$

$$\frac{\partial R_{CB}}{\partial U_{3B}} \Delta U_{3B}(P) = - \frac{L}{Z \mu_n C_0 U_{3B}^2} \Delta U_{3B}(P), \quad (12)$$

$$\frac{\partial R_{CB}}{\partial U_{nop}} \Delta U_{nop}(P) = \frac{L}{Z \mu_n C_0 U_{nop}^2} \Delta U_{nop}(P), \quad (13)$$

$$\frac{\partial R_{CB}}{\partial U_{CB}} \Delta U_{CB}(P) = \frac{2L}{Z \mu_n C_0 U_{CB}^2} \Delta U_{CB}(P), \quad (14)$$

Крутість польового транзистора S в лінійному режимі описується формулою [11]

$$S = \frac{Z \mu_n C_0}{L} U_{CB}. \quad (15)$$

Приріст крутості від дії тиску описується виразом

$$\Delta S(P) = \frac{\partial S}{\partial Z} \Delta Z(P) + \frac{\partial S}{\partial \mu_n} \Delta \mu_n(P) + \frac{\partial S}{\partial C_0} \Delta C_0(P) + \frac{\partial S}{\partial L} \Delta L(P) + \frac{\partial S}{\partial U_{CB}} \Delta U_{CB}(P). \quad (16)$$

Складові виразу (3.76) описуються рівняннями

$$\frac{\partial S}{\partial Z} \Delta Z(P) = \frac{\mu_n C_0 U_{CB}}{L} \Delta Z(P), \quad (17)$$

$$\frac{\partial S}{\partial \mu_n} \Delta \mu_n(P) = \frac{Z C_0 U_{CB}}{L} \Delta \mu_n(P), \quad (18)$$

$$\frac{\partial S}{\partial C_0} \Delta C_0(P) = \frac{Z \mu_n U_{CB}}{L} \Delta C_0(P), \quad (19)$$

$$\frac{\partial S}{\partial U_{CB}} \Delta U_{CB}(P) = \frac{Z \mu_n C_0}{L} \Delta U_{CB}(P), \quad (20)$$

$$\frac{\partial S}{\partial L} \Delta L(P) = -\frac{Z\mu_n C_0 U_{CB}}{L^2} \Delta L(P), \quad (21)$$

Перейдемо до розгляду роботи польового транзистора в режимі насичення та дії тиску, коли $U_{CB} > U_{3B}$. В цьому випадку опір каналу має вигляд [12]

$$R_{CB} = \frac{2L}{Z\mu_n C_0 U_{CBH}}, \quad (22)$$

де U_{CBH} – напруга на електродах стік-витік в режимі насичення. Опір каналу при дії тиску описується виразом

$$\Delta R_{CBH}(P) = \frac{\partial R_{CBH}}{\partial L} \Delta L(P) + \frac{\partial R_{CBH}}{\partial Z} \Delta Z(P) + \frac{\partial R_{CBH}}{\partial \mu_n} \Delta \mu_n(P) + \frac{\partial R_{CBH}}{\partial C_0} \Delta C_0(P) + \frac{\partial R_{CBH}}{\partial U_{CB}} \Delta U_{CB}(P). \quad (23)$$

Складові виразу (23) описуються формулами

$$\frac{\partial R_{CBH}}{\partial L} \Delta L(P) = \frac{2}{Z\mu_n C_0 U_{CBH}} \Delta L(P), \quad (24)$$

$$\frac{\partial R_{CBH}}{\partial Z} \Delta Z(P) = -\frac{2L}{Z^2 \mu_n C_0 U_{CBH}} \Delta Z(P), \quad (25)$$

$$\frac{\partial R_{CBH}}{\partial \mu_n} \Delta \mu_n(P) = -\frac{2L}{Z\mu_n^2 C_0 U_{CBH}} \Delta \mu_n(P), \quad (26)$$

$$\frac{\partial R_{CBH}}{\partial C_0} \Delta C_0(P) = -\frac{2L}{Z\mu_n C_0^2 U_{CBH}} \Delta C_0(P), \quad (27)$$

$$\frac{\partial R_{CBH}}{\partial U_{CBH}} \Delta U_{CBH}(P) = -\frac{2L}{Z\mu_n C_0 U_{CBH}^2} \Delta U_{CBH}(P), \quad (28)$$

Крутість польового транзистора в режимі насичення має вигляд [12]

$$S = \frac{Z\mu_n C_0}{L} (U_{3B} - U_{nop}). \quad (29)$$

Приріст крутості при дії тиску визначається виразом

$$\Delta S(P) = \frac{\partial S}{\partial Z} \Delta Z(P) + \frac{\partial S}{\partial \mu_n} \Delta \mu_n(P) + \frac{\partial S}{\partial C_0} \Delta C_0(P) + \frac{\partial S}{\partial L} \Delta L(P) + \frac{\partial S}{\partial U_{3B}} \Delta U_{3B}(P) + \frac{\partial S}{\partial U_{nop}} \Delta U_{nop}(P). \quad (30)$$

Складові виразу (30) описуються формулами

$$\frac{\partial S}{\partial Z} \Delta Z(P) = \frac{\mu_n C_0}{L} (U_{3B} - U_{nop}) \Delta Z(P), \quad (31)$$

$$\frac{\partial S}{\partial \mu_n} \Delta \mu_n(P) = \frac{ZC_0 (U_{3B} - U_{nop})}{L} \Delta \mu_n(P), \quad (32)$$

$$\frac{\partial S}{\partial C_0} \Delta C_0(P) = \frac{Z\mu_n (U_{3B} - U_{nop})}{L} \Delta C_0(P), \quad (33)$$

$$\frac{\partial S}{\partial L} \Delta L(P) = -\frac{Z\mu_n C_0 (U_{3B} - U_{nop})}{L^2} \Delta L(P), \quad (34)$$

$$\frac{\partial S}{\partial U_{3B}} \Delta U_{3B}(P) = \frac{Z\mu_n C_0}{L} \Delta U_{3B}(P), \quad (35)$$

$$\frac{\partial S}{\partial U_{nop}} \Delta U_{nop}(P) = -\frac{Z\mu_n C_0}{L} \Delta U_{nop}(P), \quad (36)$$

Розглянемо зміну параметрів польового транзистора при врахуванні зміни рухливості носіїв заряду від напруженості електричного поля у каналі. Як показано у роботі [12], в області насичення ($U_{CB} > U_{3B}$) опір каналу описується виразом

$$R_{CBH} = \frac{\sqrt{3L}}{\mu_0 C_0 E_C Z U_{CBH}^{1/2}}, \quad (37)$$

де μ_0 – рухливість електронів без врахування електричного поля в каналі польового транзистора; E_C – напруженість дрейфового електричного поля, при якому приріст енергії електронів точно дорівнює $3/2kT$, при цьому напруженість електричного поля в каналі $E(x) > E_C$. Виходячи з виразу (37) визначимо зміну опору каналу польового транзистора від дії тиску

$$\Delta R_{CBH}(P) = \frac{\partial R_{CBH}}{\partial L} \Delta L(P) + \frac{\partial R_{CBH}}{\partial \mu_0} \Delta \mu_0(P) + \frac{\partial R_{CBH}}{\partial C_0} \Delta C_0(P) + \frac{\partial R_{CBH}}{\partial E_C} \Delta E_C(P) + \frac{\partial R_{CBH}}{\partial Z} \Delta Z(P) + \frac{\partial R_{CBH}}{\partial U_{CBH}} \Delta U_{CBH}(P). \quad (38)$$

Складові виразу (38) описуються рівняннями

$$\frac{\partial R_{CBH}}{\partial L} \Delta L(P) = \frac{1/2\sqrt{3}L^{1/2}}{\mu_0 C_0 E_C^{1/2} Z U_{CBH}^{1/2}} \Delta L(P), \quad (39)$$

$$\frac{\partial R_{CBH}}{\partial \mu_0} \Delta \mu_0(P) = -\frac{\sqrt{3}L}{\mu_0^2 C_0 E_C^{1/2} Z U_{CBH}^{1/2}} \Delta \mu_0(P), \quad (40)$$

$$\frac{\partial R_{CBH}}{\partial C_0} \Delta C_0(P) = -\frac{\sqrt{3}L}{C_0^2 \mu_0 E_C^{1/2} Z U_{CBH}^{1/2}} \Delta C_0(P), \quad (41)$$

$$\frac{\partial R_{CBH}}{\partial E_C} \Delta E_C(P) = -\frac{\sqrt{3}L}{2\mu_0 C_0 E_C^{3/2} Z U_{CBH}^{1/2}} \Delta E_C(P), \quad (42)$$

$$\frac{\partial R_{CBH}}{\partial Z} \Delta Z(P) = -\frac{\sqrt{3}L}{\mu_0 C_0 E_C^{1/2} Z^2 U_{CBH}^{1/2}} \Delta Z(P), \quad (43)$$

$$\frac{\partial R_{CBH}}{\partial U_{CBH}} \Delta U_{CBH}(P) = -\frac{\sqrt{3}L}{\mu_0 C_0 E_C^{1/2} Z U_{CBH}^{3/2}} \Delta U_{CBH}(P), \quad (44)$$

Кругість в режимі насичення при дії електричного поля в каналі, коли $E(x) > E_C$, описується формулою [12]

$$S_H = \frac{\sqrt{3}\mu_0 C_0 E_C^{1/2} Z U_{3BH}^{1/2}}{2L^{1/2}}. \quad (45)$$

Визначимо на основі виразу (45) зміну кругості польового транзистора від дії тиску

$$\Delta S_H(P) = \frac{\partial S_H}{\partial \mu_0} \Delta \mu_0(P) + \frac{\partial S_H}{\partial C_0} \Delta C_0(P) + \frac{\partial S_H}{\partial E_C} \Delta E_C(P) + \frac{\partial S_H}{\partial Z} \Delta Z(P) + \frac{\partial S_H}{\partial L} \Delta L(P) + \frac{\partial S_H}{\partial U_{3BH}} \Delta U_{3BH}(P). \quad (46)$$

Складові виразу (46) мають вигляд

$$\frac{\partial S_H}{\partial \mu_0} \Delta \mu_0(P) = \frac{\sqrt{3}C_0 E_C^{1/2} Z U_{3BH}^{1/2}}{2L^{1/2}} \Delta \mu_0(P), \quad (47)$$

$$\frac{\partial S_H}{\partial C_0} \Delta C_0(P) = \frac{\sqrt{3}\mu_0 E_C^{1/2} Z U_{3BH}^{1/2}}{2L^{1/2}} \Delta C_0(P), \quad (48)$$

$$\frac{\partial S_H}{\partial E_C} \Delta E_C(P) = \frac{\sqrt{3}\mu_0 C_0 Z U_{3BH}^{1/2}}{4E_C^{1/2} L^{1/2}} \Delta E_C(P), \quad (49)$$

$$\frac{\partial S_H}{\partial Z} \Delta Z(P) = \frac{\sqrt{3}\mu_0 C_0 E_C^{1/2} U_{3BH}^{1/2}}{2L^{1/2}} \Delta Z(P), \quad (50)$$

$$\frac{\partial S_H}{\partial L} \Delta L(P) = -\frac{\sqrt{3}\mu_0 C_0 E_C^{1/2} Z U_{3BH}^{1/2}}{4L^{3/2}} \Delta L(P), \quad (51)$$

$$\frac{\partial S_H}{\partial U_{3BH}} \Delta U_{3BH}(P) = \frac{\sqrt{3}\mu_0 C_0 E_C^{1/2}}{2L^{1/2} U_{3BH}^{1/2}} \Delta U_{3BH}(P), \quad (52)$$

Оскільки порогова напруга U_{nop} суттєво впливає на параметри польового транзистора, то необхідно визначити її залежність від дії тиску. З врахуванням існування зарядів в діелектричному шарі окислу і різниці робіт виходу електронів із металу і напівпровідника U_{nop} описується виразом [11]

$$U_{nop} = U_{FP} + 2\psi_p + \sqrt{2\varepsilon_s q N_a (2\psi_p + U_{PB})} / C_0, \quad (53)$$

де ψ_p – поверхневий потенціал у режимі сильної інверсії; U_{FP} – напруга зсуву плоских зон МДН-структури; N_a – концентрація домішкових акцепторних атомів у напівпровідниковій підкладці; ε_s – діелектрична стала напівпровідникової підкладки; U_{PB} – напруга зворотного зміщення підкладки; C_0 – ємність підзатворного діелектрика на одиницю площі. Залежність порогової напруги польового транзистора від дії тиску має вигляд

$$\Delta U_{nop}(P) = \frac{\partial U_{nop}(P)}{\partial U_{FP}} \Delta U_{FP}(P) + \frac{\partial U_{nop}(P)}{\partial \psi_p} \Delta \psi_p(P) + \frac{\partial U_{nop}(P)}{\partial \varepsilon_s} \Delta \varepsilon_s(P) + \frac{\partial U_{nop}(P)}{\partial N_a} \Delta N_a(P) + \frac{\partial U_{nop}(P)}{\partial C_0} \Delta C_0(P). \quad (54)$$

Складові виразу (54) описуються рівняннями

$$\frac{\partial U_{nop}(P)}{\partial U_{FP}} \Delta U_{FP}(P) = \Delta U_{FP}(P), \quad (55)$$

$$\frac{\partial U_{nop}(P)}{\partial \psi_p} \Delta \psi_p(P) = \left[2 + \frac{(2\varepsilon_s q N_a)^{1/2}}{2C_0 (2\psi_p + U_{PB})^{1/2}} \right] \Delta \psi_p(P), \quad (56)$$

$$\frac{\partial U_{nop}(P)}{\partial \varepsilon_s} \Delta \varepsilon_s(P) = \frac{[2qN_a(2\Psi_p + U_{пв})]^{1/2}}{2\varepsilon_s^{1/2}C_0} \Delta \varepsilon_s(P), \quad (57)$$

$$\frac{\partial U_{nop}(P)}{\partial N_a} \Delta N_a(P) = \frac{[2q\varepsilon_s(2\Psi_p + U_{пв})]^{1/2}}{2N_a^{1/2}C_0} \Delta N_a(P), \quad (58)$$

$$\frac{\partial U_{nop}(P)}{\partial C_0} \Delta C_0(P) = -\frac{[2\varepsilon_s q N_a(2\Psi_p + U_{пв})]^{1/2}}{C_0^2} \Delta C_0(P), \quad (59)$$

Визначимо залежність напруги відсічки U_{CBH} , при якій наступає режим насичення, тобто $U_{CB} > U_{CBH}$, коли діє тиск на польовий транзистор. В цьому випадку напруга відсічки має вигляд [12]

$$U_{CBH} = U_{3B} - 2\Psi_p + \varepsilon_s q N_a / C_0^2 \left(\sqrt{1 + \frac{2U_{3B}C_0^2}{\varepsilon_s q N_a}} \right). \quad (60)$$

Загальний вираз залежності напруги відсічки U_{CBH} від дії тиску описується формулою

$$\Delta U_{CBH}(P) = \frac{\partial U_{CBH}(P)}{\partial U_{3B}} \Delta U_{3B}(P) + \frac{\partial U_{CBH}(P)}{\partial \Psi_p} \Delta \Psi_p(P) + \frac{\partial U_{CBH}(P)}{\partial \varepsilon_s} \Delta \varepsilon_s(P) + \frac{\partial U_{CBH}(P)}{\partial N_a} \Delta N_a(P) + \frac{\partial U_{CBH}(P)}{\partial C_0} \Delta C_0(P). \quad (61)$$

Складові формули (61) описуються виразами

$$\frac{\partial U_{CBH}(P)}{\partial U_{3B}} \Delta U_{3B}(P) = \Delta U_{3B}(P), \quad (62)$$

$$\frac{\partial U_{CBH}(P)}{\partial \Psi_p} \Delta \Psi_p(P) = -2\Delta \Psi_p(P), \quad (63)$$

$$\frac{\partial U_{CBH}(P)}{\partial \varepsilon_s} \Delta \varepsilon_s(P) = \left\{ \left[1 - \sqrt{1 + \frac{2U_{3B}C_0^2}{\varepsilon_s q N_a}} \right] \frac{qN_a}{C_0^2} - \frac{1}{2} \frac{\varepsilon_s q N_a}{C_0^2} \left(1 + \frac{2U_{3B}C_0^2}{\varepsilon_s q N_a} \right)^{-1/2} \times \left(\frac{2U_{3B}C_0^2}{\varepsilon_s q N_a} \right) \right\} \Delta \varepsilon_s(P), \quad (64)$$

$$\frac{\partial U_{CBH}(P)}{\partial N_a} \Delta N_a(P) = \left\{ \left[1 - \sqrt{1 + \frac{2U_{3B}C_0^2}{\varepsilon_s q N_a}} \right] \frac{q\varepsilon_s}{C_0^2} - \frac{1}{2} \frac{\varepsilon_s q N_a}{C_0^2} \left(1 + \frac{2U_{3B}C_0^2}{\varepsilon_s q N_a} \right)^{-1/2} \times \left(\frac{2U_{3B}C_0^2}{\varepsilon_s q N_a} \right) \right\} \Delta N_a(P), \quad (65)$$

$$\frac{\partial U_{CBH}(P)}{\partial C_0} \Delta C_0(P) = \left\{ - \left[1 - \sqrt{1 + \frac{2U_{3B}C_0^2}{\varepsilon_s q N_a}} \right] \frac{2q\varepsilon_s N_a}{C_0^3} + \frac{\varepsilon_s q N_a}{C_0^2} \left(1 + \frac{2U_{3B}C_0^2}{\varepsilon_s q N_a} \right)^{-1/2} \times \left(\frac{4U_{3B}C_0}{\varepsilon_s q N_a} \right) \right\} \Delta C_0(P). \quad (66)$$

Перейдемо до розгляду залежності від дії тиску наступних елементів еквівалентної схеми польового транзистора з ізольованим затвором (рис. 1). Опір R_{3B} являє собою опір витoku ємності C_{3B} , яка визначається ємністю підзатворного діелектрика на ділянці затвор-витік. У загальному вигляді опір R_{3B} визначається законом Ома

$$R_{3B} = \frac{U_{3B}}{I_{3B}}, \quad (67)$$

де I_{3B} – струм витoku діелектрика на ділянці затвор-витік польового транзистора; U_{3B} – напруга затвор-витік. Залежність опору R_{3B} від тиску описується формулою

$$\Delta R_{3B}(P) = \frac{\partial R_{3B}}{\partial U_{3B}} \Delta U_{3B}(P) + \frac{\partial R_{3B}}{\partial I_{3B}} \Delta I_{3B}(P). \quad (68)$$

Складові виразу (68) мають вигляд

$$\frac{\partial R_{3B}}{\partial U_{3B}} \Delta U_{3B}(P) = \frac{1}{I_{3B}} \Delta U_{3B}(P). \quad (69)$$

$$\frac{\partial R_{3B}}{\partial I_{3B}} \Delta I_{3B}(P) = -\frac{U_{3B}}{I_{3B}^2} \Delta I_{3B}(P). \quad (70)$$

Визначимо залежність ємності C_{3C} від дії тиску. Її величина визначається товщиною підзатворного діелектрика на відстані від витoku до стоку і описується виразом [11]

$$C_{3C} = A \frac{\varepsilon_i \varepsilon_0}{d_i}, \quad (71)$$

де ε_i – діелектрична стала підзатворного діелектрика; A – площа омичних електродів підзатворного діелектрика; d_i – товщина підзатворного діелектрика польового транзистора. Загальна формула приросту ємності C_{3C} польового транзистора від дії тиску має вигляд

$$\Delta C_{3C}(P) = \frac{\partial C_{3C}}{\partial A} \Delta A(P) + \frac{\partial C_{3C}}{\partial \varepsilon_i} \Delta \varepsilon_i(P) + \frac{\partial C_{3C}}{\partial \varepsilon_0} \Delta \varepsilon_0(P) + \frac{\partial C_{3C}}{\partial d_i} \Delta d_i(P). \quad (72)$$

Складові виразу (72) описуються рівняннями

$$\frac{\partial C_{3C}}{\partial A} \Delta A(P) = \frac{\varepsilon_i \varepsilon_0}{d_i} \Delta A(P), \quad (73)$$

$$\frac{\partial C_{3C}}{\partial \varepsilon_i} \Delta \varepsilon_i(P) = A \frac{\varepsilon_0}{d_i} \Delta \varepsilon_i(P), \quad (74)$$

$$\frac{\partial C_{3C}}{\partial \varepsilon_0} \Delta \varepsilon_0(P) = A \frac{\varepsilon_i}{d_i} \Delta \varepsilon_0(P), \quad (75)$$

$$\frac{\partial C_{3C}}{\partial d_i} \Delta d_i(P) = -A \frac{\varepsilon_i \varepsilon_0}{d_i^2} \Delta d_i(P), \quad (76)$$

Залежність ємності C_{3B} польового транзистора від дії тиску визначається виразами (72–76), в яких замість площі A необхідно підставити площу A_1 , яка відповідає площі омичних електродів підзатворного діелектрика затвор-витік. Ємність C_{CB} складається з ємності підзатворного діелектрика стік-витік і ємності зворотно зміщеного р-п переходу стік-підкладка, які підключено паралельно. Залежність частини ємності C_{CB} , яка залежить від підзатворного діелектрика стік-витік, також визначається при дії тиску за формулами (72–76) з врахуванням величини її площі A_2 . Ємність стокового р-п переходу в закритому режимі описується зарядною ємністю, яка залежить від дії тиску.

Визначивши деформаційні прирости елементів еквівалентної схеми польового транзистора з індукованим каналом, можна розрахувати і експериментально перевірити залежності активної і реактивної складових вихідного опору від тиску, тобто дослідити тензореактивний ефект. На рис. 3 представлено теоретичні та експериментальні залежності активної складової повного вихідного опору польового тензотранзистора від тиску, а на рис. 4 представлено теоретичні та експериментальні залежності реактивної складової від тиску. Розрахунки активної та реактивної складових повного опору МДН-тензотранзистора від дії тиску проводилися за допомогою пакету прикладних програм "Matlab 9.3" [13], необхідні значення параметрів нелінійної еквівалентної схеми для теоретичних розрахунків були отримані з робіт [14–17].

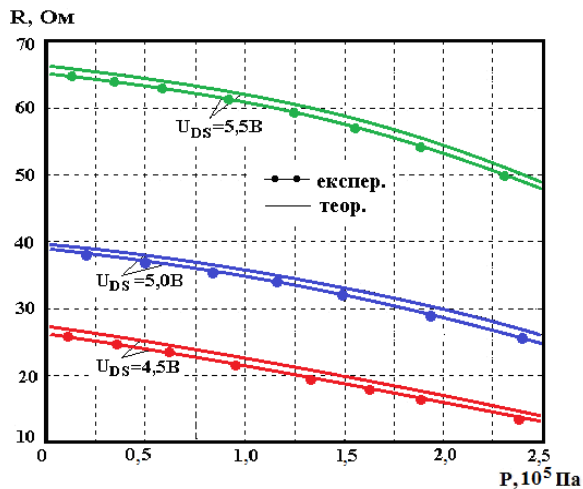


Рис. 3. Теоретичні та експериментальні залежності активної складової повного опору МДН-тензотранзистора від тиску

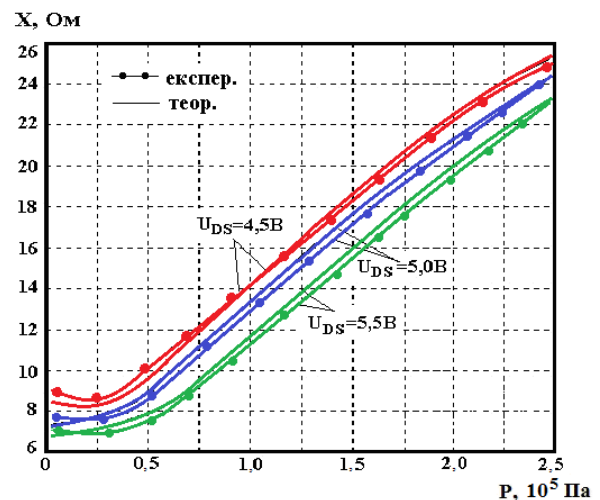


Рис. 4. Теоретичні та експериментальні залежності реактивної складової повного опору МДН-тензотранзистора від тиску

Як видно з графіків представлених на рис. 3 і рис. 4, зміна активної складової повного опору МДН-тензотранзистора від дії тиску складає $8,86 \text{ Ом}/10^5 \text{ Па}$, а реактивної складової $8,52 \text{ Ом}/10^5 \text{ Па}$ в діапазоні тисків від $0,5 \cdot 10^5 \text{ Па}$ до $2,5 \cdot 10^5 \text{ Па}$, що показує досить значну зміну і доводить можливість їхнього використання в первинних перетворювачах тиску з частотним вихідним сигналом.

Висновки

Розроблено математичну модель тензореактивного ефекту в польових транзисторах, які відрізняються від існуючих тим, що в них враховано вплив тиску на активну і реактивну складові повного опору, які визначають залежність частоти генерації радіовимірювальних частотних перетворювачів від дії тиску. Теоретичні та експериментальні дослідження тензочутливих польових транзисторів показали, що активна складова повного опору польового транзистора змінюється на $8,86 \text{ Ом}/10^5 \text{ Па}$, а реактивна складова змінюється на $8,52 \text{ Ом}/10^5 \text{ Па}$ в діапазоні тисків від $0,5 \cdot 10^5 \text{ Па}$ до $2,5 \cdot 10^5 \text{ Па}$, що є достатньо суттєвим для використання польових транзисторів як первинних тензочутливих елементів в радіовимірювальних частотних перетворювачах тиску. В результаті математичного моделювання отримано аналітичні вирази, які можна використати для інженерного розрахунку функції перетворення, рівняння чутливості радіовимірювальних частотних перетворювачів тиску на

Література

1. Готра З. Ю. Мікроелектронні сенсори фізичних величин : в 3 т. Т. 2 / Готра З. Ю. – Львів : Ліга-Прес, 2003. – 367 с.
2. Schaumburg H. Sensoren. Stuttgart: Teubner, 1992. 517 p.
3. Джексон Р. Г. Новейшие датчики / Джексон Р. Г. – Москва : Техносфера, 2007. – 384 с.
4. Шарапов В. М. Датчики : справочное пособие / Шарапов В. М., Полищук Е. С. – Москва : Техносфера, 2012. – 624 с.
5. Осадчук В. С. Реактивные свойства транзисторов и транзисторных схем / Осадчук В. С., Осадчук А. В. – Винница : «Универсум-Винница», 1999. – 275 с.
6. Богуш М. В. Проектирование пьезоэлектрических датчиков на основе пространственных электротермоупругих моделей / Богуш М. В. – Москва : Техносфера, 2014. – 324 с.
7. Осадчук В.С. Мікроелектронний перетворювач тиску з частотним виходом на основі тунельно-резонансного діода / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, Я.О. Осадчук // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 1 (221). – С. 97–101.
8. Khutorenko, S., Osadchuk, O., Osadchuk, I., Vasilchuk, D., Semenets, D., and Lukin, V. (2017) Mathematical model of piezoelectric oscillating system with electrodes of variable nonlinear and constant linear air gap, Telecommunications and Radio Engineering, 76(18), P. 1639–1648.
9. Alexander V. Osadchuk; Vladimir S. Osadchuk; Iaroslav A. Osadchuk; Olena O. Seletska; Piotr Kisała; Karlygash Nurseitova. Theory of photoreactive effect in bipolar and MOSFET transistors. Proceedings Volume 11176, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2019; 111761I. URL: <https://doi.org/10.1117/12.2538264>
10. Осадчук О.В. Деформаційні ефекти у напівпровідникових структурах / О.В. Осадчук, Я.О. Осадчук // Вісник Хмельницького національного університету. – 2014. – № 2 (211). – С. 146–150.
11. Викулин И.М. Физика полупроводниковых приборов / Викулин И.М., Стафеев В.И. – Москва : Радио и связь, 1990. – 264 с.
12. Sze S. M., Kwok K. Ng. Physics of Semiconductor Devices. Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. 2007. 763 p.
13. Дьяконов В. П. MATLAB. Полный самоучитель / Дьяконов В. П. – М. : ДМК Пресс, 2012. – 768 с.
14. User's Guide includes PSpice A/D, PSpice A/D Basics, and PSpice. Cadence Design Systems, Inc. All rights reserved, 2016. 898 p.
15. Разевиг В.Д. Применение программ P-CAD и Pspice для схемотехнического моделирования на ПЭВМ. Выпуск 2. Модели компонент аналоговых устройств / В.Д. Разевиг. – М. : Радио и связь, 1992. – 64 с.
16. Тугов Н.М. Полупроводниковые приборы / Тугов Н.М., Глебов Б.А., Чарыков Н.А. – Москва : Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
17. Антипенский Р.В. Схемотехническое проектирование и моделирование радиоэлектронных устройств / Антипенский Р.В., Фадин А.Г. – Москва : Техносфера, 2007. – 128 с.

References

1. Gothra Z.Y. Microelectronic sensors of physical quantities. In 3 volumes. Lviv: League-Press, 2003. Vol.2. 367 p.
2. Schaumburg H. Sensoren. Stuttgart.: Teubner, 1992. 517 p.
3. Jackson R.G. Newest Sensors. Moscow: Technosphere, 2007. 384 p.
4. Sharapov V. M., Polishchuk E. S. Sensors: Reference manual. Moscow: Technosphere, 2012. 624 p.
5. Osadchuk V. S., Osadchuk A. V. Reactive properties of transistors and transistor circuits. Vinnitsa: Universum-Vinnitsa, 1999. 275 p.
6. Bogush M.V. Design of piezoelectric sensors based on spatial electro-thermoelastic models. Moscow: Technosphere, 2014. 324 p.
7. Osadchuk V.S., Osadchuk O.V., Osadchuk I.A. Microelectronic pressure transducer with frequency output based on tunneling resonance diode // Herald of Khmelnytskyi National University. Engineering Sciences, 2015. №1, 2015 (221), P. 97-101.
8. Khutorenko, S., Osadchuk, O., Osadchuk, I., Vasilchuk, D., Semenets, D., and Lukin, V., (2017) Mathematical model of piezoelectric oscillating system with electrodes of variable nonlinear and constant linear air gap, Telecommunications and Radio Engineering, 76(18), P. 1639-1648.
9. Alexander V. Osadchuk; Vladimir S. Osadchuk; Iaroslav A. Osadchuk; Olena O. Seletska; Piotr Kisała; Karlygash Nurseitova. Theory of photoreactive effect in bipolar and MOSFET transistors. Proceedings Volume 11176, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2019; 111761I (2019) URL: <https://doi.org/10.1117/12.2538264>
10. Osadchuk O.V., Osadchuk I.A. Deformation effects in semiconductor structures. Herald of Khmelnytskyi National University, №2 (211), 2014. P.146-150.
11. Vikulin I.M., Stafeev V.I. Physics of semiconductor devices. Moscow: Radio and Communications, 1990. 264 p.
12. Sze S. M., Kwok K. Ng. Physics of Semiconductor Devices. Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. 2007. 763 p.
13. Dyakonov V.P. MATLAB. Complete tutorial. M.: DMK Press, 2012. 768 p.
14. User's Guide includes PSpice A/D, PSpice A/D Basics, and PSpice. Cadence Design Systems, Inc. All rights reserved, 2016. 898 p.
15. Razevig V.D. Application of P-CAD and Pspice programs for PC circuit simulation. Issue 2. Models of component analog devices / V.D. Razevig. M.: Radio and Communications, 1992. 64 p.
16. Tugov N.M., Glebov B.A., Charykov N.A. Semiconductor devices. Moscow: Energoatomizdat, 1990. 576 p.
17. Antipensky R.V., Fadin A.G. Circuit Design and Modeling of Radio-Electronic Devices. Moscow: Technosphere, 2007. 128 p.

МЕТОД ДІЯЛЬНОСТІ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АГЕНТА НА ОСНОВІ ОНТОЛОГІЧНОГО ПІДХОДУ ДЛЯ ПАРСИНГУ ПРИРОДОМОВНИХ СПЕЦИФІКАЦІЙ ВИМОГ ДО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Метою даного дослідження є автоматизація семантичного парсингу природомовної специфікації, зокрема, автоматизованого пошуку атрибутів, необхідних для визначення нефункційних характеристик-складових якості ПЗ шляхом розроблення інтелектуального агента на основі онтологічного підходу для парсингу природомовних специфікацій вимог до ПЗ на предмет пошуку атрибутів для визначення нефункційних характеристик-складових якості ПЗ.

Ключові слова: інтелектуальний агент на основі онтологічного підходу, специфікація вимог до програмного забезпечення (ПЗ), парсинг природомовних специфікацій вимог до ПЗ, нефункційні характеристики-складові якості ПЗ.

O.O. PAVLOVA, M.A. BODNAR, YE.H. HNATCHUK

Khmelnytskyi National University

METHOD OF FUNCTIONING AND REALIZATION OF ONTOLOGY-BASED INTELLIGENT AGENT FOR PARSING THE NATURAL-LANGUAGE SOFTWARE REQUIREMENTS SPECIFICATIONS

The paper is devoted to development of ontology-based intelligent agent for parsing the natural-language software requirements specifications. The paper develops a method of functioning, structure and realization of ontology-based intelligent agent for parsing the natural-language software requirements specifications. The simplicity of the method of functioning the intelligent agent provides high-speed parsing of natural-language specifications. The developed intelligent agent makes it possible to perform the analysis of natural-language specifications to determine the presence or absence of attributes needed to determine the non-functional characteristics-components of software quality. As a result of such parsing, the proposed intelligent agent determines the number and percentage of missing attributes, displays which attributes are missing for a particular subcharacteristics of non-functional characteristics, and also forms a real ontology for non-functional characteristics. The results of the operation of the intelligent agent are then used to assess the sufficiency of information (attributes) to determine the non-functional characteristics-components of software quality, and can also be used as recommendations for developers of specifications (requirements' engineers) with the purpose of providing the maximum quantity of attributes, which are necessary to determine the non-functional characteristics, in the specifications of software requirements.

Keywords: ontology-based intelligent agent, software requirements specification, parsing the natural-language software requirements specifications, non-functional characteristics-components of software quality.

Вступ

У сучасному світі розробка програмного забезпечення (ПЗ) – одна із найдорожчих індустрій. На сьогодні в світі витрачається більше 250 млрд USD щорічно на розроблення приблизно 175 тис. програмних проєктів, при цьому значна кількість (в середньому до 70%) програмних проєктів є неуспішними (в т. ч. 50% – проблемні проєкти, 20% – провальні проєкти) [1]. Тому, однією із основних вимог користувачів до сучасного ПЗ є його висока якість (якість ПЗ – це його здатність задовольнити заявлені і передбачувані потреби при використанні за певних умов [2, 3]). Суттєва кількість помилок (10–23% [4], до 56% [5]) вноситься у ПЗ на етапі формування вимог до ПЗ, причому вартість виправлення дефектів програмного забезпечення зростає експоненційно з кожним наступним етапом життєвого циклу програмного забезпечення [5]. Близько 50% дефектів вимог є результатом незрозумілих чи неоднозначних вимог; інші 50% – це результат незавершеності або недостатності специфікацій (неповні, недостатні або пропущені вимоги) [5]. Враховуючи цей факт, важливою задачею є саме визначення достатності інформації у специфікації вимог, зокрема, наскільки повно у специфікації відображена інформація щодо функцій та обмежень майбутнього ПЗ.

У [6] розроблено теоретичні засади інформаційної технології оцінювання достатності інформації щодо якості у специфікаціях вимог до ПЗ, але обмеженням такого рішення є його теоретична орієнтованість – і пошук інформації у специфікації, і оцінювання її достатності проводиться вручну. У [7] розроблено інтелектуальний агент на основі онтологічного підходу для оцінювання початкових етапів життєвого циклу ПЗ, призначений для аналізу специфікацій вимог до ПЗ на предмет достатності їх інформації щодо нефункційних характеристик-складових якості ПЗ (функційна придатність, ефективність, надійність, сумісність, зручність використання, можливість переносу, супроводжуваність, захищеність – відповідно до ISO 25010:2011). Але недоліком такого рішення є те, що на сьогодні вибір інформації щодо нефункційних характеристик зі специфікації вимог до реального ПЗ реалізується вручну, хоча необхідним є автоматизований семантичний розбір природомовної специфікації на предмет пошуку атрибутів, необхідних для визначення нефункційних характеристик-складових якості ПЗ.

На сьогодні відомі різні підходи до семантичного аналізу специфікацій. У [8] запропоновано методику, що забезпечує автоматичну допомогу розробникам шляхом трансформації природомовних вимог за допомогою UML-діаграм. Стаття [9] присвячена вирішенню проблеми перетворення бізнес-специфікацій, написаних природною мовою, у формальні моделі, придатні для використання при розробці інформаційних

систем. Методологія, запропонована у [10], є ефективною для мінімізації неоднозначності вимог. В роботі [11] запропоновано підхід до автоматичного видобування семантичної інформації зі специфікацій вимог до ПЗ шляхом поєднання методів маркування семантичної ролі та моделювання знань предметної галузі, який є ефективним і надійним для моделювання мінливості та спільності функційних вимог, але не підходить для роботи з нефункційними вимогами. У [12] розроблено метод для налаштування і створення комбінованого пар-се́ра (аналізатора) для обробки та аналізу природомовних специфікацій, який дозволяє побудувати ефективний синтаксичний аналізатор для аналізу природомовних специфікацій вимог до промислового ПЗ. У [13] представлено онтологічний підхід до автоматизованої перевірки та вимірювання вимог до ПЗ, який використовується для виявлення невідповідностей, непослідовності та недоліків вимог до ПЗ. Автори [14] представляють прототип семантичної системи, що використовується для надання допомоги інженерам з вимог щодо видобування вимог з використанням напівформального представлення. У дослідженні [15] запропоновано структуру для інтеграції різнорідних вимог за допомогою онтологій, яка фокусується на мінімізації впливу неоднорідності вимог на якість ПЗ.

Отже, на сьогодні не вирішеною і актуальною є проблема аналізу специфікацій вимог до ПЗ на предмет відповідності нефункційних вимог потребам замовника (зокрема, достатності їх інформації) з метою підвищення успішності програмних проєктів, розроблених за специфікаціями. Для вирішення такої проблеми слід розв'язати задачу автоматизації семантичного парсингу природомовної специфікації, зокрема, автоматизованого пошуку атрибутів, необхідних для визначення нефункційних характеристик-складових якості ПЗ. Як показав проведений аналіз, всі розглянуті методи семантичного аналізу специфікацій вимог до ПЗ не забезпечують перевірки відповідності нефункційних вимог специфікації потребам замовника (валідації), тому не спрямовані на підвищення успішності розробленого за специфікацією ПЗ. Невирішеність цієї задачі обумовлює необхідність розроблення інтелектуального агента на основі онтологічного підходу для парсингу природомовних специфікацій вимог до ПЗ на предмет пошуку атрибутів для визначення нефункційних характеристик-складових якості ПЗ, що і буде *метою даного дослідження*.

Метод діяльності та структура інтелектуального агента на основі онтологічного підходу для парсингу природомовних специфікацій вимог до програмного забезпечення

Інтелектуальний агент для парсингу природомовних специфікацій розробляється на основі онтологічного підходу. В якості відомих знань інтелектуальний агент використовує базу онтологію предметної галузі «Інженерія програмного забезпечення» (частина «Якість ПЗ»), розроблену у [16]. Інтелектуальний агент на основі онтологічного підходу для парсингу природомовних специфікацій приймає на вхід природомовну специфікацію вимог до ПЗ та проводить автоматичний аналіз вимог на предмет пошуку атрибутів, необхідних для визначення нефункційних характеристик-складових якості ПЗ.

Метод діяльності інтелектуального агента на основі онтологічного підходу для парсингу природомовних специфікацій вимог до програмного забезпечення складається з наступних етапів:

1) пошук кожного атрибута з базової онтології специфікації вимог (така онтологія розроблена у [16] та міститься у базі знань агента) у специфікації вимог до реального ПЗ (вважаємо, що специфікація формалізована та відповідає вимогам стандарту ISO 29148:2018);

2) якщо <атрибут_{*i*}> знайдено у специфікації вимог, то <атрибут_{*i*}> заноситься у множину наявних атрибутів, $i=1..138$ (оскільки, згідно зі стандартом ISO 25023:2016, є 138 різних атрибутів, від яких залежать нефункційні характеристики-складові якості ПЗ);

3) якщо <атрибут_{*i*}> не знайдено у специфікації вимог, то <атрибут_{*i*}> заноситься у множину відсутніх атрибутів, $i=1..138$;

4) з базової онтології для нефункційних характеристик-складових якості ПЗ, розробленої у [16], видаляються всі атрибути з множини відсутніх атрибутів;

5) відбувається перевірка, чи всі атрибути з множини наявних атрибутів залишилися у онтології після її модифікації на попередньому кроці;

6) відбувається збереження внесених змін – створення реальної онтології для нефункційних характеристик-складових якості ПЗ.

Результатом роботи розробленого інтелектуального агента є реальна онтологія для нефункційних характеристик-складових якості ПЗ, яка є вхідними даними для інтелектуального агента на основі онтологічного підходу для оцінювання початкових етапів життєвого циклу ПЗ, розробленого у [7]. Як додаткові результати функціонування агента для подальшої роботи можуть бути використані також множини наявних та відсутніх атрибутів у реальній специфікації вимог до ПЗ.

Структурна схема інтелектуального агента на основі онтологічного підходу для парсингу природомовних специфікацій вимог до програмного забезпечення представлена на рис. 1.

Реалізація інтелектуального агента на основі онтологічного підходу для парсингу природомовних специфікацій вимог до програмного забезпечення

Інтелектуальний агент для парсингу природомовних специфікацій реалізований мовою PHP в формі частини вільно поширюваного програмного забезпечення, доступного за посиланням – <https://olp-project.herokuapp.com>.

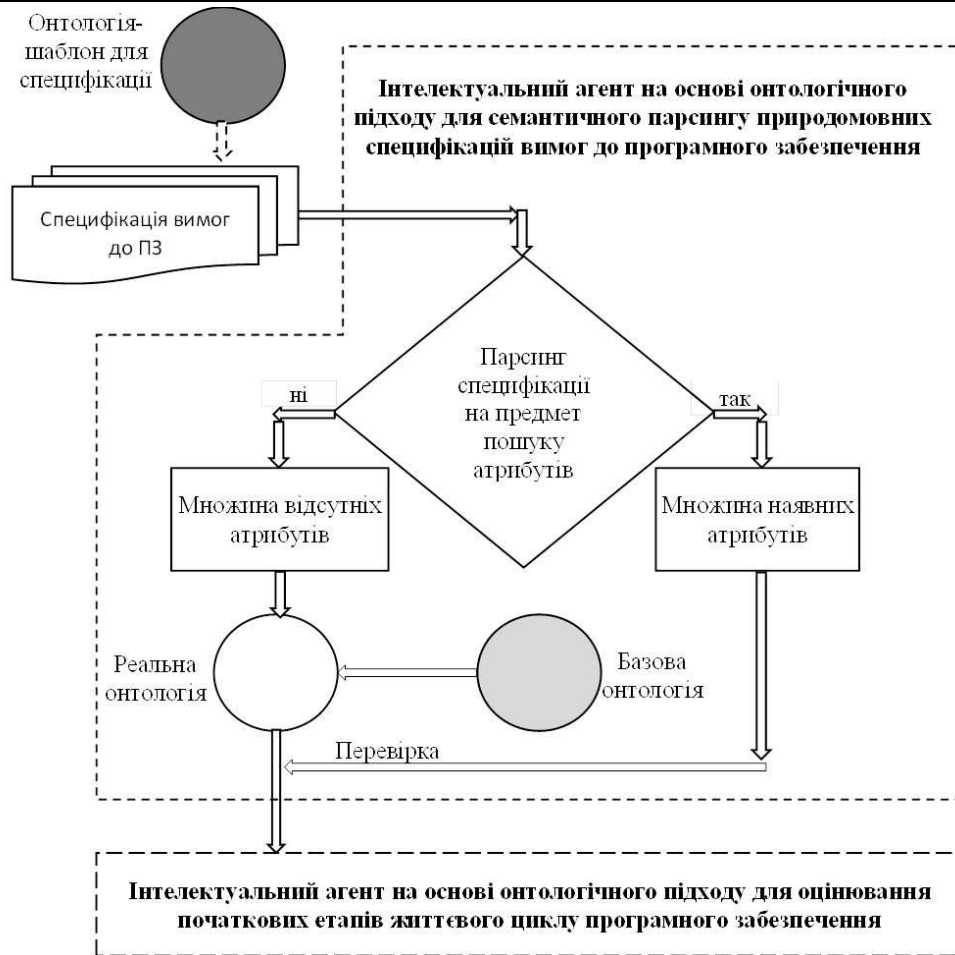


Рис. 1. Структура інтелектуального агента на основі онтологічного підходу для парсингу природомовних специфікацій вимог до програмного забезпечення

На вхід розробленого інтелектуального агента користувач повинен подати природомовну специфікацію вимог до ПЗ в pdf-форматі. Інтелектуальний агент проводить парсинг специфікації. Результатами роботи агента є: кількість відсутніх атрибутів (рис. 2), візуалізація відсутніх атрибутів з розподілом за підхарактеристиками нефункційних характеристик-складових якості, для визначення яких вони необхідні (рис. 3), а також реальна онтологія для нефункційних характеристик-складових якості в owl-форматі. На рис. 2 – рис. 3 представлено результати роботи інтелектуального агента на основі онтологічного підходу на прикладі парсингу природомовної специфікації вимог до програмної системи для підвищення безпеки програмного забезпечення комп'ютерних систем, розробленої колективом науковців Хмельницького національного університету в рамках ДБТ ІБ-2019.

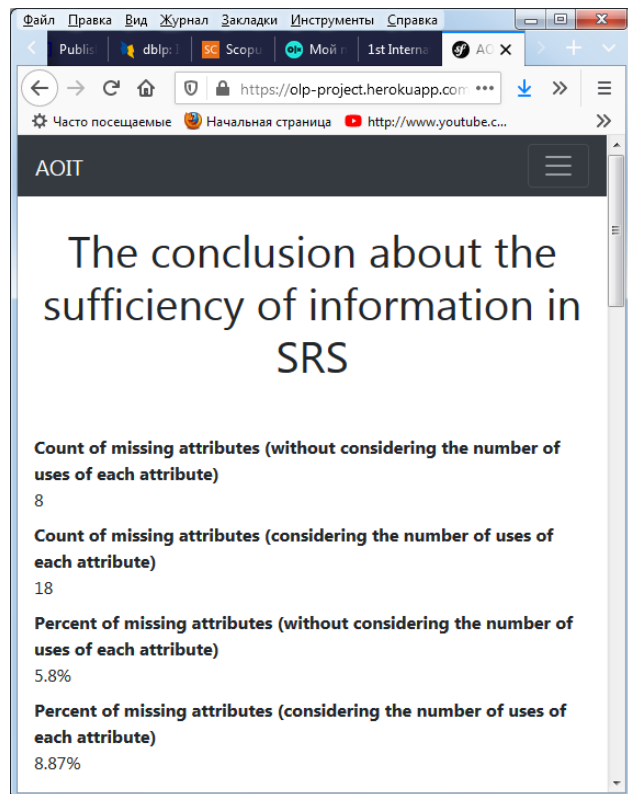


Рис. 2. Результати діяльності інтелектуального агента на основі онтологічного підходу на прикладі парсингу природомовної специфікації вимог до програмної системи для підвищення безпеки програмного забезпечення комп'ютерних систем: кількість та відсоток відсутніх атрибутів

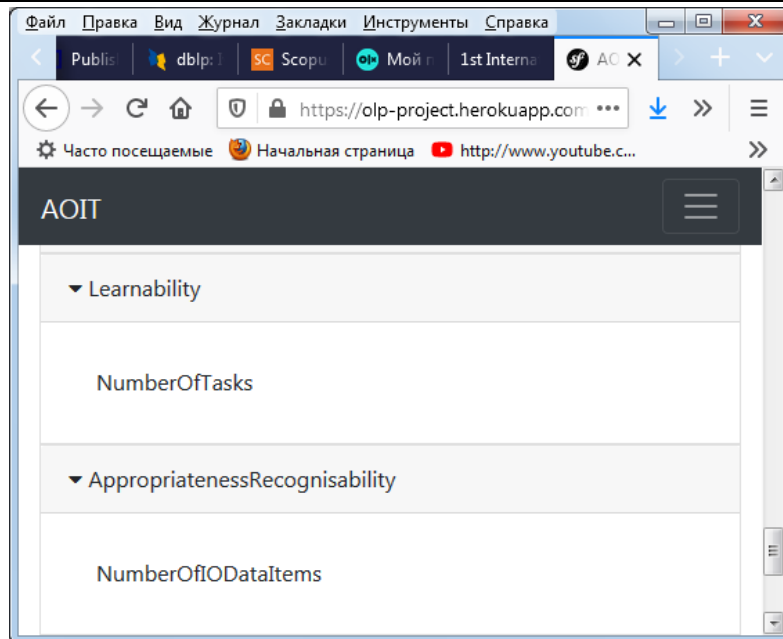


Рис. 3. Результати діяльності інтелектуального агента на основі онтологічного підходу на прикладі парсингу природомовної специфікації вимог до програмної системи для підвищення безпеки програмного забезпечення комп'ютерних систем: відсутні атрибути для підхарактеристик: розпізнавання доцільності та можливість вивчення характеристики, зручність використання

Висновки

Для автоматизації семантичного розбору природомовної специфікації з метою перевірки відповідності її нефункційних вимог потребам замовника необхідно виконати її формалізацію, наприклад, з використанням онтологій. Для такої формалізації було запропоновано використати раніше розроблені онтологію для специфікацій вимог до ПЗ та онтологію для нефункційних характеристик-складових якості ПЗ, які стали основою (відомими фактами) інтелектуального агента на основі онтологічного підходу для парсингу природомовних специфікацій вимог до програмного забезпечення на предмет пошуку атрибутів, необхідних для визначення нефункційних характеристик-складових якості ПЗ.

У статті розроблено метод діяльності, структуру та реалізовано інтелектуальний агент на основі онтологічного підходу для парсингу природомовних специфікацій вимог до програмного забезпечення. Простота методу діяльності інтелектуального агента забезпечує високу швидкість парсингу природомовних специфікацій. Розроблений інтелектуальний агент дає можливість виконувати розбір природомовних специфікацій на предмет встановлення наявності чи відсутності атрибутів, необхідних для визначення нефункційних характеристик-складових якості ПЗ. В результаті такого парсингу пропонується інтелектуальний агент визначає кількість та відсоток відсутніх атрибутів, відображає, яких атрибутів не вистачає для тієї чи іншої підхарактеристики нефункційної характеристики, а також формує реальну онтологію для нефункційних характеристик. Результати функціонування інтелектуального агента далі використовуються для оцінювання достатності інформації (атрибутів) для визначення нефункційних характеристик-складових якості, а також можуть бути використані як рекомендації для розробників специфікацій (інженерів з вимог) з метою забезпечення наявності у специфікаціях вимог до ПЗ якомога більшої кількості атрибутів, необхідних для визначення нефункційних характеристик-складових якості ПЗ.

References

1. Shane H. Standish Group 2015 Chaos Report – Q&A with Jennifer Lynch [Electronic resource] / H. Shane, S. Wojewoda. – Access mode: <http://www.infoq.com/articles/standish-chaos-2015>
2. ISO/IEC 25010:2011. Systems and software engineering. Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE). System and software quality models. [Introduced 01.03.2011]. – Geneva (Switzerland), 2011. – 34 p. (International standard).
3. ISO/IEC TR 19759:2015. Software Engineering. Guide to the software engineering body of knowledge (SWEBOOK). [Introduced 01.10.2015]. – Geneva (Switzerland), 2015. – 336 p. (International standard).
4. McConnell S. Code complete / S. McConnell. – Redmond: Microsoft Press, 2013. – 896 p.
5. Leveraging Natural Language Processing in Requirements Analysis: How to eliminate over half of all design errors before they occur [Electronic resource] – Access mode: <http://qracorp.com/wp-content/uploads/2017/03/Leveraging-NLP-in-Requirements-Analysis.pdf>
6. Hovorushchenko T. Information technology of evaluating the sufficiency of information on quality in the software requirements specifications / T. Hovorushchenko, O. Pomorova. – CEUR-WS. – 2018. – Vol. 2104. – P. 555–570.
7. Hovorushchenko T. Method of Activity of Ontology-Based Intelligent Agent for Evaluating the Initial

Stages of the Software Lifecycle / T. Hovorushchenko, O. Pavlova. – Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2019. – Vol. 836. – P. 169–178.

8. Gulia S. An Efficient Automated Design to Generate UML Diagram From Natural Language Specifications / S. Gulia, T. Choudhury. – The 6-th International Conference on Cloud System and Big Data Engineering: Proceedings (Noida, January 14-15, 2016). – Noida (India), 2016. – P. 641–648.

9. Formalising natural language specifications using a cognitive linguistic/configuration based approach. Information Systems / M. Selway, G. Grossman, W. Mayer, M. Stumptner M. – 2015. – Vol. 54. – P. 191–208.

10. Ali S. W. Process to Enhance the Quality of Software Requirement Specification Document / S.W. Alim Q. A. Ahmed, I. Shafi. – The International Conference on Engineering and Emerging Technologies: Proceedings (Lahore, February 22-23, 2018). – Lahore (Pakistan), 2018. – P. 113–118.

11. Wang Y. Semantic Information Extraction for Software Requirements using Semantic Role Labeling / Y. Wang. – The IEEE International Conference on Progress in Informatics and Computing: Proceedings (Nanjing, December 18-20, 2015). – Nanjing (China), 2015. – P. 332–337.

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

13. Siegemund K. Contributions to Ontology-Driven Requirements Engineering: dissertation / K. Siegemund. – Dresden, 2014. – 249 p.

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

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

16. Hovorushchenko T. Models and methods of evaluation of information sufficiency for determining the software complexity and quality based on the metric analysis results / T. Hovorushchenko. – Central European Researchers Journal. – 2016. – Vol. 2. – P. 42–53.

Рецензія/Peer review : 15.05.2020 р.

Надрукована/Printed : 16.6.2020 р.

Рецензент: д.т.н., проф. О.С. Савенко

А.М. ПЕЛЕЩИШИН, Г.О. БАНДРОВСЬКИЙ
Національний університет «Львівська політехніка»

ІНФОРМАЦІЙНИЙ ВПЛИВ У СОЦІАЛЬНОМУ СЕРЕДОВИЩІ ІНТЕРНЕТУ: АНАЛІЗ АКТИВНОСТІ КОРИСТУВАЧІВ ТА ЇХ РЕАКЦІЙ НА ПУБЛІКАЦІЇ

В статті представлено моделювання інформаційного впливу в соціальному середовищі Інтернету, а саме зацікавленості актуальних тем для користувачів на основі аналізу активності користувачів та їх реакції на публікації. Проведено аналіз інформаційного впливу в соціальному середовищі Інтернету. Досліджено активність користувачів як респондентів та визначено вагомі фактори аналізу реакції на публікації, на основі яких побудовано математичну модель для визначення закономірностей та передбачення впливу на думку в соціальному середовищі мережі Інтернет.

Ключові слова: інформаційний вплив, перколяція, теорія ймовірності, статистичний аналіз.

A.M. PELESHCHYSHYN, H.O. BANDROVSKYI
Lviv Polytechnic National University

INFORMATION INFLUENCE IN THE INTERNET SOCIAL ENVIRONMENT: ANALYSIS OF USERS' ACTIVITY AND THEIR RESPONSE TO PUBLICATIONS

The article presents the modelling of information influence in the social environment of the Internet, namely, the interest of relevant topics for users as readers based on the analysis of users' activity and their reaction to publications. The analysis of information influence in the social environment of the Internet is carried out. Users' interaction is considered as a non-linear dynamic system. The activity of users as respondents is investigated and important factors of the analysis of reactions to publications are defined. On this basis, a mathematical model is built to determine the patterns and predict the impact of opinion in the social environment of the Internet. The phenomenon of percolation applied to disseminate information among social network users is taken as the basis of the model. The percolation threshold is taken as an average value for a certain number of the most popular publications for the selected period of time depending on density of publications as a whole. The chosen mathematical problem is considered on the example of the analysis of popularity of topics of publications within the limits of publications of one author on the personal page in a social network. The given mathematical model makes it possible to apparently analyze the reaction of users as readers and to investigate the informational influence of the content published by the author. For further use of this mathematical model it is important to complicate and calibrate it in accordance with a more complex structure of the social network and analysis of the text of respondents' comments on published content. In practical terms, the results can be used in interdisciplinary research, including mathematical modelling, to predict the information impact in the social environment of the Internet.

Keywords: information influence, percolation, probability theory, statistical analysis.

Вступ

В сучасному світі соціальне середовище Інтернету та отримана звідти інформація відіграє невід'ємну роль в житті людей. В XXI столітті окрім таких джерел інформації як радіо, телебачення, газети, книги тощо до ключових джерел інформації додається всевітня система сполучених комп'ютерних мереж. Відповідно, актуалізується дослідження впливу інформації на сприйняття людиною, скерування її на прийняття конкретних рішень та вплив на формування її точки зору стосовно будь-якої проблеми.

Проблема аналізу інформаційного впливу є багатоаспектною. Важливою складовою є вивчення реакції користувачів на інформацію з метою визначення наявності чи відсутності її впливу.

Для дослідження поширення інформації в мережі та аналізу її впливу, на сьогодні є актуальними дослідження в таких розділах математики та інформатики, як математична статистика, теорія ймовірності, теорія динамічних систем та штучний інтелект.

Важливим аспектом аналізу інформаційного впливу в соціальному середовищі є розуміння джерел впливу як математичних формалізованих одиниць. За вихідний момент приймемо таку одиницю соціальної мережі, як публікацію за одинарне джерело інформаційного впливу на користувачів.

Аналіз останніх досліджень

З метою структурування, групування та аналізу публікацій у формальному вигляді спираємось на розв'язання таких задач, як задача кластеризації або задача класифікації, які в даному випадку передбачають також обробку природної мови (НЛП). Максимізація розповсюдження впливу в соціальних мережах досліджена в багатьох роботах [1, 4, 5], зокрема можна відмітити такі роботи в сфері аналізу контенту тексту, як контенту, який є фактором поширення інформації, «Добування даних в соціальних мережах для онлайн маркетингу» [3], «Новий підхід до добування даних з тексту на основі НММ-SVM для класифікації веб-новин» [8], «Класифікація тексту у Twitter для покращення фільтрації інформації» [9]. Математичні моделі поширення інформаційного впливу представлені в роботі «Соціальні мережі: моделі впливу, контролю та конфронтації інформації» А. Чхартішвілі, Д. Губанова та Д. Новікова [7], а також у дослідженнях українських учених [5, 6].

Мета роботи

Мета роботи полягає в побудові гнучкої моделі для аналізу інформаційного впливу на користувачів на основі моделі перколяції, з допомогою якої можливо оцінити досягнення порогу поширення інформаційного впливу серед користувачів, враховуючи їх зворотну реакцію.

Постановка математичної задачі

Розглянемо взаємодію користувачів в соціальному середовищі Інтернету як динамічну систему. Зміни настроїв користувачів в контексті соціальних структур можна описати за допомогою переходів між станами вузлів системи. Множину усіх станів системи позначимо через X . Стан системи, який досліджуємо в момент часу t , можна позначити як x_i ($x_i \in X$). Введемо інтервал часу τ_0 , за який можлива зміна стану x_i . В даному випадку $t = h\tau_0$, де h – номер кроку переходу між станами, $h = 0, 1, 2, 3, \dots, N$. Порядковий стан x_i на кроці h , після переходу на кроці $h+1$ може за рахунок випадкових факторів збільшуватись на деяку величину ε , або зменшуватись на величину ξ , і ставати рівними $x_i + \varepsilon$, або $x_i - \xi$. В нашому випадку ε та ξ будуть сталими величинами для будь-якого кроку h і можуть залежати від інформації.

Введемо поняття ймовірності знаходження системи в певному стані. Нехай, після деякого числа кроків h про систему можна сказати, що:

- $P(x - \varepsilon, h)$ – ймовірність того, що вона перебуває в стані $(x - \varepsilon)$;
- $P(x, h)$ – ймовірність того, що вона перебуває в стані x ;
- $P(x + \xi, h)$ – ймовірність того, що вона перебуває в стані $(x + \xi)$.

Після кожного кроку, стан x_i (далі індекс i можна опускати) може змінюватися на величину ε або ξ . Ймовірність того, що на наступному кроці $(h + 1)$ система буде в стані x позначимо як $P(x, h + 1)$ та запишемо наступним чином:

$$P(x, h + 1) = P(x - \varepsilon, h) + P(x + \xi, h) - P(x, h) \tag{1}$$

Схему можливих переходів між станами даної системи показано на рис. 1.

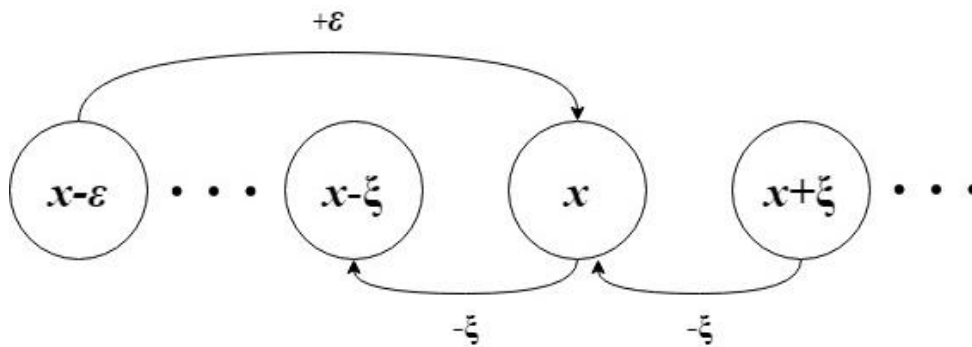


Рис. 1. Схема можливих переходів між станами системи на $h+1$ кроці.

Ймовірність переходу в стан x на кроці h , $P(x, h + 1)$ визначається сумою ймовірностей переходів в цей стан із станів $(x - \varepsilon) - P(x - \varepsilon, h)$ та $(x + \xi) - P(x + \xi, h)$, в яких була система на кроці h без ймовірності переходу ($P(x, h)$) системи із стану x в будь-який стан на $h+1$ кроці.

Треба враховувати на кожному кроці попередні стани системи. Для цього визначимо ймовірності $P(x-\varepsilon, h)$, $P(x + \xi, h)$ і $P(x, h)$ через стан на $h-1$ кроці.

$$P(x-\varepsilon, h) = P(x-2\varepsilon, h-1) + P(x-\varepsilon+\xi, h-1) - P(x-\varepsilon, h-1) \tag{2}$$

$$P(x+\xi, h) = P(x+\xi-\varepsilon, h-1) + P(x+2\xi, h-1) - P(x+\xi, h-1) \tag{3}$$

$$P(x, h) = P(x-\varepsilon, h-1) + P(x+\xi, h-1) - P(x, h-1) \tag{4}$$

Підставимо (2), (3) і (4) в рівняння (1) отримаємо:

$$P(x, h+1) = \{P(x-2\varepsilon, h-1) + P(x-\varepsilon+\xi, h-1) - P(x-\varepsilon, h-1)\} + \{P(x+\xi-\varepsilon, h-1) + P(x+2\xi, h-1) - P(x+\xi, h-1)\} - P(x-\varepsilon, h-1) - P(x+\xi, h-1) + P(x, h-1) \tag{5}$$

або

$$P(x, h+2) = \{P(x-2\varepsilon, h) + P(x-\varepsilon+\xi, h) - P(x-\varepsilon, h)\} + \{P(x+\xi-\varepsilon, h) + P(x+2\xi, h) - P(x+\xi, h)\} - P(x-\varepsilon, h) - P(x+\xi, h) + P(x, h) \tag{6}$$

Оскільки $t = h\tau_0$, де t – конкретна одиниця яка відображає момент часу, h – номер кроку, τ_0 – довжина одного кроку, перейдемо від h до t , тобто розвинемо в ряд Тейлора дану функцію від двох змінних. Обмежимося другими частковими похідними:

$$\frac{dP(x, t)}{dt} = a \frac{d^2 P(x, t)}{dx^2} - b \frac{dP(x, t)}{dx} - c \frac{d^2 P(x, t)}{dt^2} \tag{7}$$

де

$$a = \frac{\varepsilon^2 - \varepsilon\xi + \xi^2}{\tau_0} \tag{8}$$

$$b = \frac{\varepsilon - \xi}{\tau_0} \tag{9}$$

$$c = \tau_0 \tag{10}$$

Припустимо, що функція $P(x,t)$ неперервна, тоді можна перейти від ймовірності $P(x,t)$ (рівняння (7)) до густини ймовірності. Відповідно, запишемо густину ймовірності стану x в момент часу t — $\rho(x,t)$:

$$\frac{d\rho(x,t)}{dt} = a \frac{d^2\rho(x,t)}{dx^2} - b \frac{d\rho(x,t)}{dx} - c \frac{d^2\rho(x,t)}{dt^2} \tag{11}$$

Підставивши у рівняння 7 рівняння 11, отримаємо:

$$\frac{d\rho(x,t)}{dt} = a \frac{d^2\rho(x,t)}{dx^2} - b \frac{d\rho(x,t)}{dx} - c \frac{d^2\rho(x,t)}{dt^2} \tag{12}$$

Величина опозиціонерів має бути на відрізку від 0 до величини порогу перколяції для даної системи (позначимо її через l).

Перша гранична умова береться: стан $x=0$ визначає відсутність негативно настроєних людей.

$$\rho(x,t)_{x=0} = 0 \tag{13}$$

Оскільки в момент часу $t=0$ стан системи може бути рівний x_0 , то початкову умову розглянемо:

$$\rho(x,t=0) = \delta(x-x_0) = \begin{cases} 1, & x = x_0 \\ 0, & x \neq x_0 \end{cases} \tag{14}$$

Друга гранична умова береться: $x=L$ (крайній випадок $L=1$):

$$\rho(x,t)_{x=L} = 0 \tag{15}$$

Так як перша гранична умова містить дельта функцію, то розв'язок для $\rho(x,t)$ розіб'ємо на дві області при $x > x_0$ і при $x \leq x_0$. Використовуючи методи операційного числення для густини ймовірності $\rho_1(x,t)$ і $\rho_2(x,t)$ знаходження стану системи в одному із значень на відрізку від 0 до L можна отримати наступну систему рівнянь:

При $x \geq x_0$:

$$\rho_1(x,t) = -\frac{2}{L} e^{-\frac{t}{2\tau_0}} e^{k(x-x_0)} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin\left(\frac{\pi n x_0}{L}\right) \sin\left(\frac{\pi n (L-x)}{L}\right)}{\cos(\pi n)} \operatorname{ch}\left(\frac{t}{\tau_0} \sqrt{\frac{k\varepsilon\xi}{2(\varepsilon-\xi)} - \frac{\pi^2 n^2 (\varepsilon-\xi)}{2kL^2}}\right) \tag{16}$$

При $x < x_0$:

$$\rho_2(x,t) = -\frac{2}{L} e^{-\frac{t}{2\tau_0}} e^{k(x-x_0)} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin\left(\frac{\pi n (L-x_0)}{L}\right) \sin\left(\frac{\pi n x}{L}\right)}{\cos(\pi n)} \operatorname{ch}\left(\frac{t}{\tau_0} \sqrt{\frac{k\varepsilon\xi}{2(\varepsilon-\xi)} - \frac{\pi^2 n^2 (\varepsilon-\xi)}{2kL^2}}\right) \tag{17}$$

де

$$k = \frac{(\varepsilon - \xi)}{2(\varepsilon^2 - \varepsilon\xi + \xi^2)} \tag{18}$$

Якщо обчислити інтеграл $P(l,t)$ то можна стверджувати, що функція буде давати ймовірність того, що стан системи до моменту часу t буде на відрізку від 0 до l , тобто поріг перколяції l не буде досягнутим або протилежно.

Програмна реалізація

Розглянемо дану математичну задачу на прикладі аналізу популярності тем публікацій в рамках публікацій одного автора на своїй особистій сторінці в соціальній мережі. Вважатимемо, що автор є популярним і в нього є сформована аудиторія. Для попередньої оцінки приймемо поріг перколяції як середнє значення з певної кількості (залежно від щільності публікацій в цілому) найпопулярніших публікацій за вибраний період часу.

Позначимо множину публікацій $Posts$, як множину усіх публікацій за певний період часу:

$$Posts = \{Post_1, \dots, Post_i\} \tag{19}$$

Для оцінки потенційного інформаційного впливу публікації візьмемо як приклад стандартний формат публікації, який широко використовується на сьогоднішній день, де публікація містить в собі такі сутності:

- Текст публікації (*Content*) – сам контент, реакцію на який вважатимемо інформаційним впливом.

- Реакції на публікацію (позначимо як R) – залежно від специфіки мережі може бути реалізовано в різних формах, найпопулярніша форма на сьогодні – реакція «сподобалось» (Like), проте в деяких соціальних мережах є більш комплексна реалізація з різними реакціями, які, окрім позитивного ставлення, можуть бути і негативним, наприклад «обурення». В даній роботі розглянемо аналогічну структуру до соціальної мережі Twitter, де є лише реакція «сподобалось».

- Коментар (C від слова Comment) – коментар користувача до даної публікації.

- Поширення (S від слова Share) – поширення користувачем (читачем) даної публікації.

При розгляданні усіх публікацій основними ідентифікаторами інформаційного впливу вважатимемо обрані три характеристики: Реакції, Коментарі та Поширення. Запишемо одинарну сутність публікації з рівняння (19) як кортеж:

$$Post_i = Content_i, \{R_i\}_{i=1}, \{C_i\}_{i=1}, \{S_i\}_{i=1} \quad (20)$$

Важливо відмітити, що всі три ідентифікатори інформаційного впливу мають різну вагу, адже вони мають різний потенціал поширення серед користувачів. Умовно це можна пояснити тим, що коли користувач коментує чи поширює публікацію на своїй сторінці це може викликати більше інтеракцій з публікацією серед інших користувачів.

У відповідність кожному з ідентифікаторів інформаційного впливу публікації поставимо коефіцієнт, який буде репрезентувати вагомість даного ідентифікатора. Запишемо вагу інформаційний потенціал кожної публікації I_i враховуючи певний коефіцієнт k :

$$I_i = \left(\sum_{i=1}^{N_i^R} R_i k_R + \sum_{i=1}^{N_i^C} C_i k_C + \sum_{i=1}^{N_i^S} S_i k_S \right) \quad (21)$$

Для програмної реалізації було обрано такі бібліотеки мови програмування Python: `matplotlib` – для візуалізації обчислень, `request` – для створення запитів та збору інформації з конкретних джерел. На основі рівняння (17) та (21) можна обчислити потенціал інформаційного впливу публікацій в момент ітерації та на основі обчислень проаналізувати наявність переходу стану (наявність досягнення перколяції або ж недосягнення).

Для прикладу розглянемо дві публікації автора, дані будуть розглядатись як кортеж рівняння (20) і оскільки маємо лише дві публікації, то індекси відповідно будуть 1 та 2. Розглянемо стан на часовому періоді з появи публікації та кроком в один день. Статистичні дані зібрані наведемо таблиці 1.

Таблиця 1

	R_1	C_1	S_1	R_2	C_2	S_2
t_0	88	7	3	205	10	10
t_1	90	7	3	270	21	13
t_2	90	8	3	363	27	18

На основі даних наведених в таблиці 1, візуалізуємо обчислення та переходи стану (досягнення перколяції). На рисунку 2 та рисунку 3 зображені графіки обчислень рівняння (17) для обох публікацій:

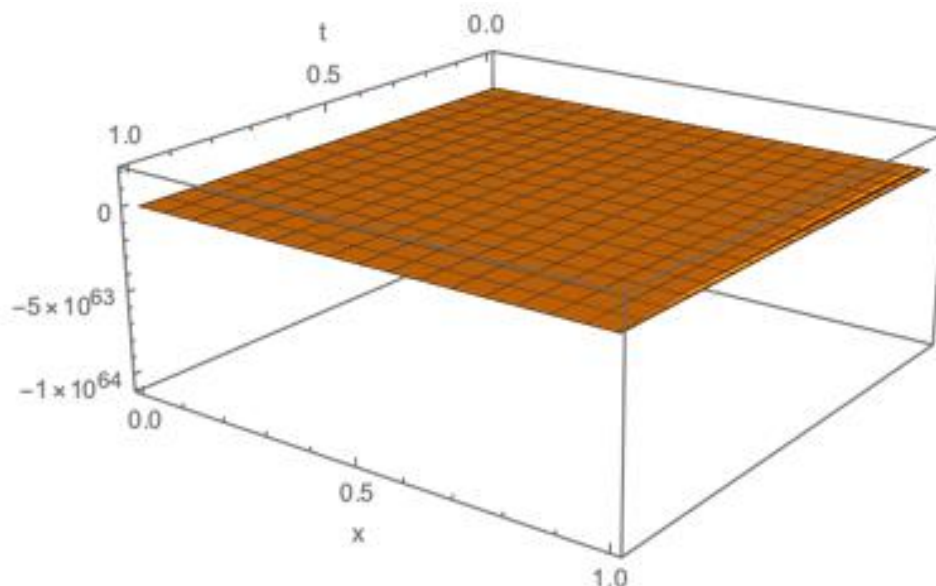


Рис. 2. Обчислені дані проходження перколяції для першої публікації

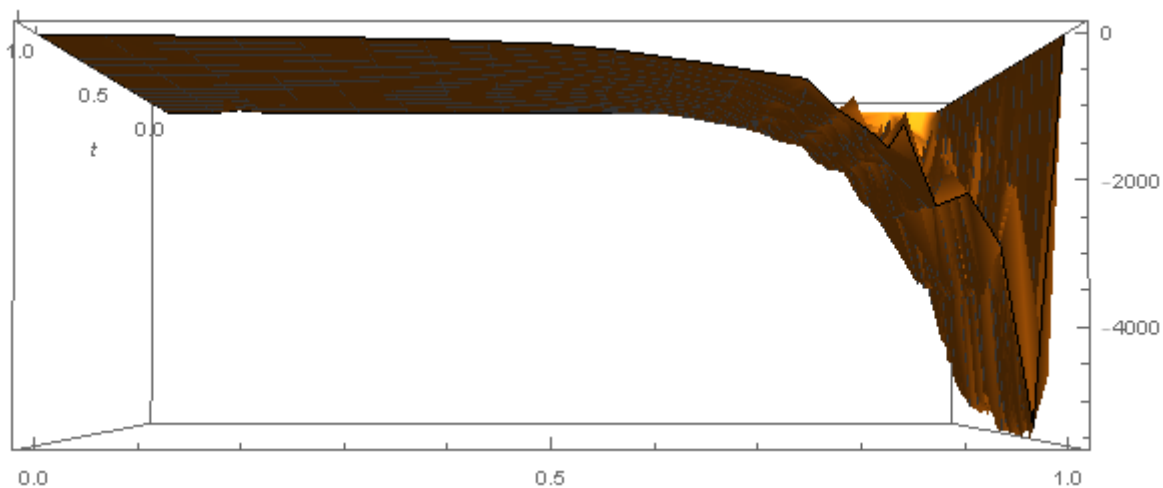


Рис. 3. Обчислені дані проходження перколяції для другої публікації

На основі отриманих результатів можемо зробити висновок, що для першої публікації поріг перколяції не був досягнутий, у випадку другої публікації на основі активності користувачів поріг перколяції був досягнутий. Це дає змогу потенційного з'ясування шляхом аналізу контенту зробити висновки стосовно зацікавленості користувачів.

Аналізуючи одержані результати, приходимо до таких **висновків**:

- Використовуючи дану математичну модель, можливо поверхнево проаналізувати реакцію користувачів як читачів та дослідити інформаційний вплив контенту опублікованим автором.

- Для подальшого використання даної математичної моделі важливим є ускладнення та калібрування відповідно до більш комплексної структури соціальної мережі та аналізу тексту коментарів респондентів на опублікований контент.

- Можливе використання штучних нейронних мереж, а саме навчання з підкріпленням для більш точного результату, адже кожна підзадача має певну специфіку і зумовлена складністю поставленої задачі (прогнозування, чи корекції напрямку та теми публікацій автора для збільшення зацікавленості читачів).

References

1. D. Kempe, J. Kleinberg and E. Tardos, "Maximizing the spread of influence through a social network", Proceedings of the Ninth ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, Washington: ACM Press, 2003, pp. 137–146.
2. W. Pedrycz, S.-M. Chen, Social Networks: A Framework of Computational Intelligence. Springer, 2013.
3. P. Domingos, "Mining social networks for viral marketing", University of Washington, 2018. Available at: <https://homes.cs.washington.edu/~pedrod/papers/iis04.pdf>
4. W. Chen, Ch. Wang and Ya. Wang, "Scalable influence maximization for prevalent viral marketing in large-scale social networks", Microsoft Research Technical Report, 10. Available at: https://www.microsoft.com/en-us/research/wp-content/uploads/2016/02/msr-tr-2010-2_v2.pdf
5. R.V. Huminskiy, A.M. Peleshchyshyn, Z. Holub, "Suggestions for informational influence on a virtual community", International Journal of Computer Science and Business Informatics, 2015, p. 47–65.
6. Peleshchyshyn, V. Vus, O. Markovets, and S. Albota, "Identifying specific roles of users of social networks and their influence methods", Proceedings of 2018 IEEE 13th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), Lviv, 2018, vol. 2, pp. 39–42.
7. A.G. Chkhartishvili, D.A. Gubanov, and D.A. Novikov, Social Networks: Models of Information Influence, Control and Confrontation. Springer, 2018.
8. G. Krishnalal, S. Rengarajan, S. Babuand, K.G.Srinivasagan, "A new text mining approach based on HMM-SVM for web news classification", International Journal of Computer Applications (0975 - 8887), 2010, Volume 1, No. 19, pp. 103–109.
9. Sriram, D. Fuhry and E. Demir, "Short text classification in Twitter to improve information filtering", SIGIR'10 Proceedings of the 33rd International Conference on Research and Development in Informational Retrieval, Geneva, 2010, pp. 841–842.
10. E.A. Stanley, "Social networks and mathematical modeling", CONNECTIONS, Vol. 27(1), 2006, pp. 43–49. Available at: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.125.6966&rep=rep1&type=pdf>

Рецензія/Peer review : 27.5.2020 р.

Надрукована/Printed : 16.6.2020 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВІТРОПРОНИКНОСТІ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ЛУБ'ЯНИХ ВОЛОКОН

В статті досліджено показники повітропроникності платтяно-костюмних тканин, різних за волокнистим складом. Проаналізовано їх вплив на гігієнічні властивості швейного одягу. Встановлено, що кількість пилу, яка затримується платтяно-костюмними текстильними матеріалами без погіршення їх гігієнічних властивостей, залежить від пористості тканини, а також від товщини матеріалу. Виявлено, що повітропроникність залежить також від структури текстильного матеріалу, яка визначається наявністю наскрізних пор та їх площею.

Ключові слова: повітропроникність, поверхнева пористість, поверхнєве заповнення, загальна пористість.

L.V. PELYK, O.V. OSTAPCHUK

Lviv University of Trade and Economics, Edelvika PJSC

RESEARCH OF BREATHABILITY OF TEXTILE MATERIALS WITH USE OF BABY FIBERS

The article investigates the air permeability indices of dress fabrics of different fiber composition. Their influence on the hygienic properties of garment is analyzed. The breathability of textile materials maintains the thermal balance of the body with the environment and helps to remove carbon dioxide from the clothing layer. It depends on the parameters of the structure of the textile materials, their method of weaving, the type of fibrous composition, the number and size of pores and the nature of the fabric processing. It is established that the amount of dust, which is retained by textile garments without deterioration of their hygienic properties, depends on the porosity of the fabric and the number and size of the through pores, as well as on the thickness of the material. The air passes through the pores of the textile material, so its structural permeability is affected by its structural characteristics (filament thickness, density, type of weave), which determine the porosity of the structure and the number and dimensions of the through pores. It is established that the higher the surface porosity, the smaller the surface filling, the greater the breathability. Dress fabrics made of thin, highly twisted threads have a larger cross-sectional pore area and a correspondingly higher breathability compared to thick thread materials. It is found that with increasing volume of material and its thickness, the air permeability decreases as the size of the through pores decreases. During the passage of air through the pores of the textile material, some of the energy is spent on the friction of the air against the fabric, and part on overcoming the inertial forces of the environment, which is reflected in the speed of the passage of air through the material. Therefore, the permeability is influenced not only by the porosity of the material, the number of through pores in its structure, but also the size of the through pores. The larger the pores, the less energy is spent on overcoming the friction of the air against the material, the higher the air flow rate.

Keywords: breathability, superficial porosity, superficial filling, general porosity.

Вступ

Швейний одяг повинен захищати людину від шкідливих впливів зовнішнього середовища, в т. ч. атмосферних впливів, створювати комфортні умови для життєдіяльності, бути нешкідливими (вид волокна і вид оздоблення не повинні виділяти шкідливих домішок) і створювати максимальні зручності при носінні. Створення комфорту під час експлуатації швейних виробів залежить від здатності текстильних матеріалів регулювати підодяговий клімат – газовий склад, вологість і температуру, знімати електростатичні заряди та ін. Основними вимогами, які ставляться до платтяно-костюмних текстильних матеріалів, є висока зносостійкість і формостійкість, високі гігієнічні властивості, в т.ч. повітропроникність.

Повітропроникність текстильних матеріалів забезпечує підтримку теплового балансу організму з навколишнім середовищем і сприяє видаленню вуглекислого газу з одягового прошарку. Вона залежить від параметрів будови текстильних матеріалів, їх способу переплетення, виду волокнистого складу, кількості й розміру пор та характеру оброблення тканини. Низькою повітропроникністю характеризуються щільні текстильні матеріали, вкриті водовідштовхувальним обробленням, а також прогумована тканина, яка повністю виключає повітрообмін. Водночас такий швейний одяг добре захищає від вітру й дощу і повинен використовуватися для виготовлення курток (різновид анорак), плащів-макінтошів, спеціального одягу та ін.

Постановка завдання. Метою статті було дослідження повітропроникності платтяно-костюмних текстильних матеріалів різних за волокнистим складом.

Результати досліджень

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 льоно-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: льоно-бавовняні (вар. 4), льоно-поліестерово-бавовняні (вар. 1–3, 5, 6), бавовняно-конопляна (вар. 7), рамі-бавовняна (вар. 8) та конопляно-бавовняно-льоно-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). Повітропроникність досліджуваних платтяно-костюмних тканин визначалась за стандартною методикою. Результати дослідження повітропроникності платтяно-костюмних тканин наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Повітропроникність досліджуваних платтяно-костюмних тканин

Вар. зразка	Товщина, мм	Поверхнева густина, г/м ²	Об'ємна маса, мг/мм ³	Заповнення за масою, E _g , %	Загальна пористість, R _g , %	Коефіцієнт повітропроникності, дм ³ /м ² ·с
1	0,42	140	0,333	30,0	70,0	870
2	0,40	140	0,350	30,2	69,8	695
3	0,38	114	0,300	27,0	73,0	1185
4	0,34	140	0,412	47,9	52,1	575
5	0,42	150	0,357	35,5	64,5	1070
6	0,44	165	0,375	37,7	62,3	595
7	0,85	301	0,354	42,7	57,3	238
8	0,36	135	0,375	44,6	55,4	340
9	0,41	166	0,405	40,3	59,7	525

Аналізуючи отримані дані табл. 1, можна відмітити, що значення показника повітропроникності при стандартних умовах (p=5 мм.вод.ст.) для платтяно-костюмних тканин вар. 2–9 знаходилося у межах від 238 дм³/м²·с до 1185 дм³/м²·с), для бавовняно-конопляної вар. 7 воно складає 238 дм³/м²·с), рамі-бавовняної вар. 8 – 340 дм³/м²·с) та у конопляно-бавовняно-льоно-поліестерової вар. 9 – 525 дм³/м²·с), а у зразка-еталона – 870 дм³/м²·с). Досліджувані зразки платтяно-костюмних тканин відповідають вимогам ТУ У 13.2-20134458-002:2019 «Тканини побутові. Технічні умови», згідно з яким коефіцієнт повітропроникності побутових тканин повинен становити не менше 100 дм³/м²·с.

Залежно від призначення текстильних матеріалів лінійне заповнення може становити від 25 % до 150 %. Аналізуючи отримані дані таблиці 2 видно, що лінійне заповнення котоніновмісних тканин (вар. 1–3 та вар. 5) за основою знаходиться в межах 31,32 % – 33,76 %, лінійне заповнення за утком – 31,17 %, – 38,40 % і поверхнєве заповнення відповідно 54,41 % – 59,20 %. Ці показники лінійного і поверхневого заповнення відповідають призначенню тканин для пошиття блузкового, сорочкового та літнього платтяного асортименту. У досліджуваній конопляній тканині з вмістом котоніновмісної пряжі за основою вар. 9 лінійне заповнення становить 34,02 %, проте лінійне заповнення за утком – 58,54 % та поверхнєве заповнення тканини – 72,64 %. Призначення досліджуваного зразка вар.9 для пошиття тільки платтяного асортименту. Досліджувані тканини бавовняно-ляна вар. 4 та бавовняно-конопляна вар. 7 характеризуються лінійним заповненням за основою 46,98 % та 45,76 %, лінійним заповненням за утком 42,56 % та 55,84 %, поверхнєве заповнення відповідно 69,55 % та 76,05 %, отже такі тканини призначені для пошиття платтяного та платтяно-костюмного асортименту.

Кількість пилу, яка затримується платтяно-костюмними текстильними матеріалами без погіршення їх гігієнічних властивостей, залежить від пористості тканини та кількості і величини наскрізних пор, а також від товщини матеріалу.

Таблиця 2

Характеристика параметрів будови досліджуваних платтяно-костюмних тканин

Вар. зразка	Лінійне заповнення тканини за основою, E _o , %	Лінійне заповнення тканини за утком, E _y , %	Площа пори, S ₁ , мм ²	Кількість пор на 1 см ²	Розмір наскрізних пор, мм		Поверхнєве заповнення тканини, E _s , %	Поверхнєва пористість тканини, R _s , %
					основа	уток		
1	33,76	31,17	0,293	156,0	0,51	0,57	54,41	45,59
2	31,63	35,09	0,195	228,0	0,45	0,43	55,62	44,38
3	31,32	33,06	0,168	273,6	0,45	0,37	54,03	45,97
4	46,98	42,56	0,088	347,2	0,24	0,36	69,55	30,45
5	33,76	38,40	0,251	162,5	0,51	0,49	59,20	40,80
6	34,09	39,54	0,227	175,5	0,50	0,45	60,15	39,85
7	45,76	55,84	0,165	145,0	0,50	0,33	76,05	23,95
8	42,04	39,67	0,087	404,0	0,35	0,30	65,03	34,97
9	34,02	58,54	0,102	267,2	0,50	0,17	72,64	27,36

Встановлено, що чим більша поверхнєва пористість, тобто чим менше поверхнєве заповнення, тим більша повітропроникність (рис. 1). Так, найвищим показником повітропроникності характеризується поліестеро-бавовняно-ляна тканина вар. 3 – 1185 дм³/м²·с) при найбільшій поверхнєвій пористості 45,97 % і при найменшому поверхнєвому заповненні – 54,03 %. Найменший показник коефіцієнта повітропроникності має бавовняно-конопляна тканина вар. 7 – 238 дм³/м²·с) з найменшим показником поверхнєвої пористості 23,95% та найбільшим поверхнєвим заповненням 76,05 %. При однаковій поверхнєвій пористості повітропроникність тканин із тонких ниток із дрібними порами менша, ніж у тканин

з товстими нитками із великими порами. У досліджуваних зразках вар.1 (29,4текс×2) та вар. 3 (18,5текс×2) поверхнева пористість становить 45,59% і 45,97% відповідно, а розмір наскрізних пор у вар.3 менший (за основою – 0,45 мм, за утком – 0,37 мм), ніж у вар.1(за основою – 0,51 мм, за утком – 0,57 мм). Тому показник повітропроникності у вар. 3 вищий і становить $1185 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$.

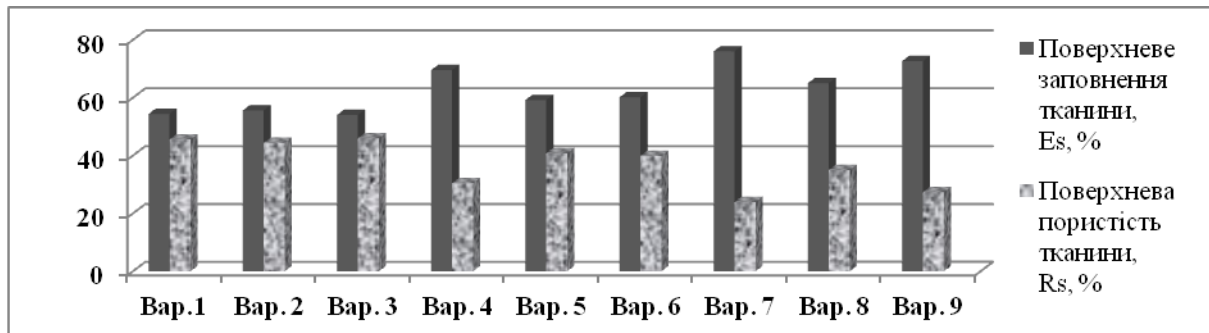


Рис. 1. Залежність поверхневої пористості від поверхневого заповнення тканини

Повітря проходить через пори текстильного матеріалу, тому на його повітропроникність впливають структурні характеристики (товщина ниток, щільність, вид переплетення), які визначають пористість структури та кількість і розміри наскрізних пор. Платтяно-костюмні тканини із тонких сильно скручених ниток мають більшу площу наскрізної пори і відповідно вищу повітропроникність порівняно із матеріалами із товстих ниток. Так, у вар. 3 лінійна густина поліефірної пряжі за основою становить 18,5текс×2 і за утком – 29,4текс×2 із площею однієї пори – $0,168 \text{ мм}^2$. Досліджуваний зразок вар. 7 характеризується лінійною густиною поліефірної пряжі за основою і за утком – 57,4текс×2 із площею однієї пори – $0,165 \text{ мм}^2$. Тому повітропроникність вар. 3 є вищою і становить $1185 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, ніж у вар. 7 – $238 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$.

Повітропроникність залежить також від структури текстильного матеріалу, яка визначається наявністю наскрізних пор та їх площею. Кількість, форма і розміри пор впливають на опір, який чинить текстильний матеріал потоку запиленого повітря. Аналіз отриманих даних показав, що вплив на повітропроникність має площа пори. Чим більша площа пори, тим менша кількість наскрізних пор на 1 см^2 , тим більша повітропроникність. Найбільша площа однієї пори знаходиться у вар.5 і становить $0,251 \text{ мм}^2$ при найменшій їх кількості – 162,5 на 1 см^2 при високій повітропроникності – $1070 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. Найменша площа однієї пори знаходиться у вар.8 і становить $0,087 \text{ мм}^2$ при найбільшій їх кількості – 404 на 1 см^2 при низькій повітропроникності – $340 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$.

Досліджувана лляна тканина вар. 5 характеризується високим коефіцієнтом повітропроникності і становить $1070 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ з поверхневою пористістю 40,80% у порівнянні з показниками поліестеро-бавовняно-лляної тканини вар. 1, у якої коефіцієнт повітропроникності становить $870 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ та поверхнева пористість 45,59%. Площа пори лляної тканини вар. 5 становить $0,251 \text{ мм}^2$, в порівнянні з площею пори поліестеро-бавовняно-лляної тканини вар. 1 – $0,293 \text{ мм}^2$, а розмір наскрізних пор однаковий для досліджуваних зразків за основою і становить 0,51 мм, а за утком – 0,49 мм та 0,57 мм відповідно. Досліджуваний зразок вар. 5 відрізняється від зразка-еталона вар. 1 видом оздоблення: лляна тканини вар. 5 пройшла операцію відварювання, поліестеро-бавовняно-лляна тканина вар. 1 – операцію відбілювання. Під час операції відбілювання волокна бавовни та льону стали більш об'ємними та розпушеними, що стало причиною виникнення більшого опору потоку повітря і тому коефіцієнт повітропроникності зразка-еталона вар. 1 є нижчим і становить $870 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$.

При проходженні повітря через пори текстильного матеріалу частина енергії тратиться на тертя повітря об тканину, а частина – на подолання інерційних сил зовнішнього середовища, що відображається на швидкості проходження повітря через матеріал. Тому на показники повітропроникності впливає не тільки пористість матеріалу, кількість наскрізних пор у його структурі, але і розміри наскрізних пор. Чим більші пори, тим менше енергії тратиться на подолання тертя повітря об матеріал, тим вища швидкість проходження повітря.

Аналіз отриманих даних показав, що у досліджуваних зразках зі збільшенням розміру наскрізних пор збільшується повітропроникність. Так, найбільший розмір наскрізних пор знаходиться у платтяно-костюмній тканині вар. 5 і становить 0,51 мм за основою і 0,49 мм за утком при високій повітропроникності – $1070 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$.

Досліджувана тканина бавовняно-рамі вар. 8 характеризується коефіцієнтом повітропроникності $340 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ із поверхневою пористістю 34,97% у порівнянні із тканиною бавовняно-лляною вар. 4, у якої повітропроникність становить $570 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ із поверхневою пористістю 30,45%. Площа пори досліджуваних зразків становить $0,087 \text{ мм}^2$ та $0,088 \text{ мм}^2$ відповідно, а кількість пор на 1 см^2 у вар. 8 становить 404, а у вар. 4 – 347,2. Причиною меншого коефіцієнта повітропроникності у тканині бавовняно-рамі вар. 8 є застосування в основі крученої бавовняної пряжі 20текс×2, а у бавовняно-лляної тканини вар. 4 в основі закладена бавовняна пряжа однопниткова 29,4 текс. Число скручень однопниткової бавовняної пряжі 29,4 текс становить 680 скручень/м, цей показник вищий за число скручень двопниткової скрученої

бавовняної пряжі 20текс×2 – 520 скручень/м. Таким чином, за рахунок більшого числа скручення пряжі збільшуються розміри наскрізних пор та зростає коефіцієнт повітропроникності.

Найбільш ефективно можна варіювати повітропроникність зміною будови і оброблення текстильних матеріалів. Визначними для повітропроникності факторами будови тканин є щільність ниток основи і утку на 10 см, їх співвідношення між собою, характер переплетення ниток, лінійна щільність і величина скручування. Із збільшенням щільності повітропроникність матеріалу знижується. Найбільшою щільністю ниток основи і утку на 10 см із досліджуваних зразків характеризується бавовняно-рамі тканина вар. 8 (за основою – 320, за утком – 168) та вар. 2 (за основою – 202, за утком – 200) при низькій повітропроникності – 340 дм³/(м²·с).

Виявлено, що зі збільшенням об'ємної маси матеріалу і його товщини повітропроникність зменшується, так як зменшується розмір наскрізних пор. Так, об'ємна маса у досліджуваному зразку вар. 7 становить 0,354 мг/мм³, який характеризується найбільшою товщиною матеріалу 0,85 мм, і найнижчим коефіцієнтом повітропроникності – 238 дм³/(м²·с).

Аналізуючи отримані дані, можна зробити висновок, що зі збільшенням площі пори коефіцієнт повітропроникності збільшується. Так, досліджувана поліестеро-бавовняно-ляна тканина вар. 3 характеризується найбільшим показником коефіцієнта повітропроникності і становить 1185 дм³/(м²·с) при площі пори 0,165 мм². У даному випадку важливим чинником є об'ємна маса досліджуваного зразка вар. 3, яка має найменше значення серед досліджуваних зразків – 0,300 мг/мм³, найменше заповнення за масою – 27,0 % та найбільшу загальну пористість – 73,0 %. Тканина ляно-бавовняно-поліестерова вар. 6 характеризується високим показником площі пори, який становить 0,227 мм² та нижчим показником коефіцієнта повітропроникності – 595 м³/(м²·с), причиною тому є висока об'ємна маса зразка – 0,375 мг/мм³.

Висновки

Особливе значення повітропроникності має для текстильних полотен, з яких виготовляють швейний одяг, зокрема – для платтяно-костюмних тканин. Висока повітропроникність забезпечує створення повітряного прошарку під одягом і забезпечує необхідну вентиляцію, що в цілому зумовлює підвищення гігієнічних властивостей та комфортності одягу.

Досліджено, що на повітропроникність текстильних матеріалів впливають різні чинники, зокрема: щільність тканини, характер розподілу волокон у тканині, вид переплетення тканини, скрученість ниток, геометричні характеристики волокон та ін. Вплив сукупності таких чинників зумовлює загальну пористість матеріалу, кількість і розміри наскрізних пор. Встановлено, що найбільший розмір наскрізних пор знаходиться у платтяно-костюмній тканині вар. 5 і становить 0,51 мм за основою і 0,49 мм за утком при високій повітропроникності – 1070 дм³/(м²·с).

Проведені дослідження показали, що зі збільшенням числа шарів матеріалу знижується загальна повітропроникність пакету одягу, а чим менше поверхнєве заповнення, зростає повітропроникність. Встановлено, що найвищим показником повітропроникності характеризується поліестеро-бавовняно-ляна тканина вар. 3 – 1185 дм³/(м²·с) при найбільшій поверхневій пористості 45,97 % і при найменшому поверхневому заповненні – 54,03 %.

Література

1. Бучківська У. Б. Дослідження повітропроникності платтяно-костюмних тканин / У. Б. Бучківська, Л. В. Пелик // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2014. – № 1. – С. 216–218.
2. Пелик Л.В. Матеріалознавство та основи технологій виробництва товарів : [навчально-наочний посібник] / Л.В. Пелик, І.С. Полікарпов, Р.В. Кирильчук та ін. – Львів : Вид-во Львівської комерційної академії, 2015. – 108 с.
3. Кобищан А. Д. Дослідження впливу нових методів вибілювання та пом'якшення лляних тканин на їх повітропроникність / А. Д. Кобищан // Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі. – Полтава : ПУЕТ, 2016. – № 1(46). – С. 28–32.
4. Захаренко В.О. Матеріалознавство та основи технології виробництва товарів : навч. посіб. / В.О. Захаренко. – Харків : ХДУХТ, 2016. – 195 с.

References

1. Buchkivska V.B. Investigation of the breathability of dress fabrics / V.B. Buchkivska, L.V. Pelyk // Herald of Khmelnytskyi National University. Engineering sciences. – 2014. – № 1. – P. 216–218.
2. Pelyk L.V. Material science and fundamentals of commodity production technologies. Tutorial manual / L.V. Pelyk, I.S. Polikarpov, R.V. Kyrilchuk et al. – Lviv: Publisher of the Lviv Commercial Academy, 2015. – 108 p.
3. Kobyschan A.D. Investigation of the influence of new methods of bleaching and softening of linen fabrics on their breathability / A.D. Kobyschan // Scientific Bulletin of Poltava University of Economics and Trade. – Poltava: PUET, 2016. – No.1 (46). – P. 28–32.
4. Zakharenko V.O. Material Science and Fundamentals of Product Manufacturing Technology: Tutorial. tool. / V.O. Zakharenko. – Kharkiv: KhDUKT, 2016. – 195 p.

Рецензія/Peer review : 16.4.2020 р.

Надрукована/Printed : 16.6.2020 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВИМОГ ДО ВЗУТТЯ ДЛЯ ЛЮДЕЙ ПОХИЛОГО ВІКУ

Експертне опитування фахівців та споживачів показало, що при розробленні раціонального взуття для людей похилого віку необхідно звертати увагу не тільки на конструкцію взуття та спосіб його кріплення на нозі, а й на якість матеріалів, які мають забезпечувати комфортне відчуття під час експлуатації даного взуття. Якість матеріалу для верху взуття характеризується як нормативними показниками фізико-механічних властивостей, так і показниками пластичності та формостійкості, які характеризують здатність матеріалів верху взуття формуватися, приформовуватися та зберігати отриману форму під час експлуатації. Враховуючи вікові зміни стопи, взуття для людей похилого віку повинно забезпечувати тепловий комфорт, що уможливорюється за рахунок використання матеріалів з покращеними теплофізичними та гігієнічними властивостями. Забезпечити функціонально-експлуатаційні вимоги до взуття для людей похилого віку можна шляхом обґрунтованого використання у рідинних процесах виробництва натуральних шкір сучасних ефективних жирувальних, синтетичних та полімерних матеріалів. Встановлено, що шкіра для верху взуття з козлини з використанням нових жирувальних та синтетичних матеріалів у рідинному оздобленні, яке передбачає проведення нейтралізації в присутності Politan BN у кількості 3,6 % (у перерахунку на сухий залишок), жирування сумішшю препаратів Sulphirool C та SMX-473 у співвідношенні 70:30 при загальній витраті жиру 5,0 % (у перерахунку на 100-відсотковий жир), додублювання-наповнення Retanal LMV 100 у кількості 4,5 % (у перерахунку на сухий залишок), має кращі показники фізико-механічних, гігієнічних та теплофізичних властивостей у порівнянні зі шкірою, виготовленою за відомою технологією. Це дозволяє рекомендувати використання одержаних за новою технологією хромових шкір для верху взуття з козлини для виготовлення повноцінного взуття для людей зазначеної вікової категорії.

Ключові слова: взуття для людей похилого віку, шкіра для верху взуття, пластичність, формостійкість, теплофізичні властивості.

N.V. PERVAIA, O.A. ANDREYEVA, P.M. GONDARCHUK

Kiev National University of Technology and Design

FUNCTIONAL AND OPERATIONAL REQUIREMENTS FOR SHOES FOR ELDERLY PEOPLE

Expert survey of experts and consumers showed that the development of a rational shoe for the elderly should pay attention not only to the design of footwear and a method of mounting on the leg, but also on the quality of materials, which should provide a comfortable feeling while using the shoes. The quality of the material for the upper of the shoe is characterized by both normative indicators of physical and mechanical properties, as well as indicators of plasticity and form resistance, characterizing the ability of the materials of the upper of the shoe to be molding, the shape stability and retain the obtained shape during operation. Considering age-related changes, shoes for the elderly should also provide thermal comfort, which is possible through the use of materials with improved thermal and hygienic properties. It is possible to provide functional and operational requirements for shoes for the elderly by the justified use of modern effective fatliquoring, synthetic and polymeric materials in liquid processes of natural leather production. It was found that the leather for the upper of the shoes is made of goatskin using new fatliquoring and synthetic materials in a liquid finish, which provides for neutralization in the presence of Politan BN in an amount of 3.6 % (in terms of solids), fatliquoring with a mixture of Sulphirool C and SMX-473 in a ratio of 70:30 with a total fat consumption of 5.0 % (in terms of 100% fat), retanning-filling Retanal LMV 100 in an amount of 4.5 % (in terms of dry residue), has the best physical mechanical, hygienic and thermophysical properties. This allows us to recommend the use of chrome leathers from goats obtained by the new technology for the upper of shoes for the manufacture of high-grade shoes for people of this age category.

Key words: shoes for the elderly, leather for the upper of shoes, plasticity, the shape stability, thermophysical properties.

За останні 50 років процес старіння нації у світовому масштабі розвивається із великою швидкістю. За даними Організації економічного співробітництва та розвитку (OECD) Україна має найнижчі показники тривалості життя у порівнянні із європейськими країнами і входить до 30 «найстаріших» країн світу. У 2007 році частка людей пенсійного віку досягла 23,9 % (понад 11 млн осіб), за рейтингом старіння (часткою населення старше 65 років) Україна займала 11 місце у світі, а у 2025 переміститься на 9-е місце. Згідно з національним демографічним прогнозом на період до 2025 року частка осіб віком від 60 років становитиме 25 %, а у 2030 році – понад 26 % [1].

Інтерес до вивчення проблем, пов'язаних зі стопами літніх людей, обумовлений поширенням патологічних змін стопи серед дорослого населення, що призводить до розвитку синдрому вікової стопи, який можна визначити як комплекс анатомо-функціональних порушень. Вікові зміни стоп розвиваються внаслідок порушення нервової системи та кровообігу нижніх кінцівок і можуть ускладнюватись атеросклерозом, ураженням артерій, вен та нервів при синдромі діабетичної стопи. Тому при розробленні конструкції взуття для літніх людей необхідно забезпечити його зручність при експлуатації з метою полегшення відчуття синдрому вікової стопи. Внутрішня форма взуття повинна не заважати природній формі стопи та її правильному функціонуванню, відповідати потребам організму людини без погіршення водного і теплового балансу.

До взуття, призначеного для людей похилого віку, повинні висуватися певні вимоги, обумовлені тим, що з віком людям стає важче рухатися, нахилитися, згинатися. Іноді порушується координація

внаслідок прийому медичних препаратів. Час від часу це може викликати проблеми з одяганням взуття. Тому не всі зміни біомеханічних показників руху стопи слід вважати її патологією.

На жаль, без комплексного підходу біологічної суті цієї проблеми та з'ясування причин вікових змін у стопі неможливо створити повноцінне взуття за рахунок наближення розмірів стопи до реальних. Призначення такого взуття полягає не тільки в полегшенні стану людини, а й у зручності експлуатації кожного дня [2]. Взуття має забезпечувати збереження природної форми стопи, її правильне функціонування, а також відповідний потребам організму людини похилого віку водний і тепловий баланс.

Оскільки з віком фізіологія людини набуває небажаних змін, які виявляються у погіршенні кровообігу і теплообміну, зменшенні секреції потових залоз, розроблення та підбір матеріалів для виготовлення взуття для людей похилого віку необхідно виконувати з урахуванням цих симптомів [2–4]. Крім того, не слід забувати, що понад 50 % уражень стоп у літніх людей спричиняється травмуванням через взуття [5]. Втрата м'язової маси і тонусу сухожиль з віком призводить до сплюснення склепіння стопи та зменшення її гнучкості, а структура старіючої шкіри пошкоджується і стає більш схильною до різних видів травм та інфекцій. Таким чином, взуття для даної вікової групи повинне бути зручним та комфортним і цього можна досягти не тільки розробленням раціональної внутрішньої форми та конструкції взуття [6, 7], а усвідомленим пошуком матеріалів, які б забезпечували функціонально-експлуатаційні вимоги до взуття для людей похилого віку.

Постановка завдання. Відомо, що одним з найбільш об'єктивних методів обґрунтованого підходу до вибору вагомих факторів, які потрібно враховувати при розробленні взуття, є метод експертного опитування [8]. У даній роботі при розробленні взуття для людей похилого віку провели опитування фахівців та споживачів для встановлення вагомих вимог до виробу з урахуванням його основних і допоміжних функцій, особливостей умов експлуатації [9]. За допомогою порівняного аналізу результатів експертного опитування визначили вагомі фактори, на які потрібно звернути увагу.

При порівнянні досліджуваних факторів виявлено (рис. 1), що за узгодженості думок фахівців та споживачів при кількості факторів $k = 8$ найбільш вагомими ($j_i > 0,125$) є такі чинники: X1 – матеріал верху; X3 – спосіб кріплення на носі; X7 – конструкція взуття. Отже, за результатами експертного опитування фахівців та споживачів встановлено, що при розробленні раціонального взуття для людей похилого віку необхідно враховувати не тільки конструкцію взуття та спосіб його кріплення на носі, а й якісні матеріали, які б забезпечували комфортне відчуття при експлуатації цього взуття.

Якість матеріалу для верху взуття характеризується не тільки нормативними показниками фізико-механічних властивостей [10], а й показниками пластичності та формостійкості, які характеризують здатність матеріалів верху взуття формуватися, приформовуватися та зберігати отриману форму під час експлуатації [11].

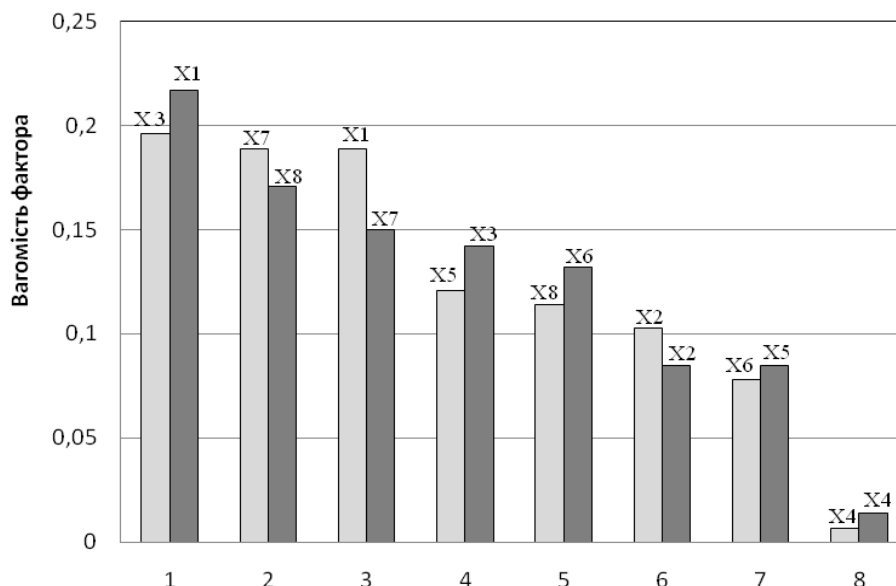


Рис. 1. Результати експертного оцінювання факторів, які необхідно враховувати під час розроблення взуття для людей похилого віку: X1 – матеріал верху взуття; X2 – кольорова гама взуття; X3 – спосіб кріплення взуття на носі; X4 – оригінальність моделі; X5 – матеріал підшви; X6 – конструкція підшви; X7 – конструкція взуття (світло-сірий колір – експерти-фахівці, темно-сірий – експерти-споживачі); X8 – висота каблук

Пластичність матеріалу Π розраховується відношенням залишкової деформації $l_{\text{зал}}$ до загальної деформації $l_{\text{заг}}$, у відсотках:

$$\Pi = \frac{l_{\text{зал}}}{l_{\text{заг}}} \cdot 100 . \quad (1)$$

Формостійкість матеріалу Φ визначається за формулою:

$$\Phi = \left(\frac{r_k}{r_0}\right)^3 \cdot 100, \quad (2)$$

де r_0 та r_k – початковий та кінцевий радіуси відформованого зразка на півсфері пластиметричного пристрою, мм.

Враховуючи вікові зміни споживачів, взуття для людей похилого віку повинно забезпечувати тепловий комфорт, що можливо за рахунок використання матеріалів з покращеними теплофізичними та гігієнічними властивостями. Відповідні показники пластичності, формостійкості, гігієнічності та теплового опору матеріалу формують забезпечення функціонально-експлуатаційних вимог до зазначеного взуття.

Результати дослідження. Покращити показники функціонально-експлуатаційних вимог до взуття для людей похилого віку можна шляхом обґрунтованого використання у рідинних процесах виробництва натуральних шкір сучасних ефективних жирувальних, синтетичних та полімерних матеріалів.

У роботі оцінювали зразки хромової шкіри з сировини козлини, виготовлені за наступною схемою рідинного оздоблення: промивання – нейтралізація – промивання 1, 2 – фарбування – промивання – жирування – промивання – додублювання-наповнювання – промивання. При цьому дотримувались наступних параметрів: *нейтралізація*: рідинний коефіцієнт (РК) 1,0, температура 32–35 °С, тривалість 1,0–1,5 год, витрата Politan BN 3,6 % (у перерахунку на сухий залишок); закінчення процесу визначали за рН відпрацьованого розчину індикатором бромкрезол зелений; *жирування*: РК 1,0, температура 50–55 °С, тривалість 1,0 год; суміш препаратів Sulphirol C та СМХ-473 у співвідношенні 70:30 при загальній витраті жиру 5,0 % (у перерахунку на 100-відсотковий жир); *додублювання-наповнювання*: РК 1,0, температура 35–40 °С, тривалість 1,0 год, Retanal LMV 100 4,5 % (у перерахунку на сухий залишок).

Для співставлення використали зразки шкіри (контрольна група), обробленої у такій саме послідовності, але процес нейтралізації проводили в присутності 0,6 % карбонату та 1,5 % формиату натрію, процес жирування – з використанням лише композиції СМХ-473 (витрата 5,0 %), додублювання-наповнювання – в присутності танідів квебрахо (витрата 4,5 %).

Витрата всіх матеріалів розраховувалася від струганої маси з урахуванням активності (або сухого залишку) застосованих реагентів. Всі попередні й подальші процеси та операції виконувалися за відомою методикою виробництва хромової шкіри для верху взуття з козлини.

Відповідність зразків шкіри, виготовленої за різних умов рідинного оздоблення, функціонально-експлуатаційним вимогам до взуття для людей похилого віку виявляли після кондиціонування зразків з дотриманням стандарту [12] за комплексом фізико-механічних, теплофізичних та гігієнічних властивостей: пружно-пластичні та деформаційні властивості шкір визначали на розривній машині РТ-250М за методикою [13]; теплофізичні властивості – на приладі Alambeta фірми SENSORA (Чехія) [14]; паропроникність – за стандартом [15], пористість – за методикою [13].

Достовірність результатів експерименту оцінювали за допомогою математичної статистики на підставі аналізу середнього квадратичного відхилення σ , коефіцієнта варіації V і точності випробування δ , що відображає близькість результатів дослідження.

За результатами експериментальних досліджень (табл. 1) була оцінена здатність хромової шкіри для верху взуття з козлини, виготовленої за різних умов рідинного оздоблення, приймати задану форму під час формування взуття, зберігати її при експлуатації, приформуватися до стопи та забезпечувати тепловий комфорт. Встановлено покращення показників дослідних зразків у порівнянні з показниками контрольної групи: так, подовження під час напруження 10 МПа підвищується на 5 %, залишкове подовження при напруженні 10 МПа – на 3,7 %, пластичність – на 7,9 %, формостійкість – на 7 %, паропроникність – на 0,22 мг/см²·год, пористість – на 3,5 %, коефіцієнт теплового опору – на $3 \cdot 10^{-3}$ м²·К·Вт⁻¹, коефіцієнт теплопровідності – на $10 \cdot 10^{-3}$ Вт·м⁻¹·К⁻¹. Тобто хромовою шкірою для верху взуття з козлини, виготовленою за новою технологією рідинного оздоблення, здатна забезпечити функціонально-експлуатаційні вимоги до взуття для людей похилого віку.

Таблиця 1

Показники хромової шкіри для верху взуття з козлини

Показник	Група	
	дослід	контроль
Границя міцності під час розтягування, 10 МПа	1,93	1,80
Напруження під час появи тріщин лицьового шару, 10 МПа	1,80	1,60
Подовження при розриві, %	76,0	79,0
Подовження під час напруження 10 МПа, %	34,0	25,0
Залишкове подовження при напруженні 10 МПа, %	14,0	8,3
Пружна деформація, %	20,0	16,7
Пластичність, %	41,1	33,2
Формостійкість, %	93	86
Паропроникність, мг/см ² ·год.	2,11	1,89
Пористість, %	57,5	54,0
Коефіцієнт теплового опору, $R \cdot 10^{-3}$, м ² ·К·Вт ⁻¹	17	20
Коефіцієнт теплопровідності, $\lambda \cdot 10^{-3}$, Вт·м ⁻¹ ·К ⁻¹	50	60

Висновки. Досліджено можливість забезпечення функціонально-експлуатаційних вимог до взуття для людей похилого віку натуральних шкір, виготовлених за новою технологією рідинного оздоблення хромових шкір для верху взуття з козлини з використанням сучасних ефективних жирувальних, синтетичних та полімерних матеріалів. Нова технологія передбачає проведення нейтралізації в присутності Politan BN у кількості 3,6 % (у перерахунку на сухий залишок), жирування сумішшю препаратів Sulphirol C та CMX-473 у співвідношенні 70:30 при загальній витраті жиру 5,0 % (у перерахунку на 100-відсотковий жир), подвоєння-наповнювання Retanal LMV 100 у кількості 4,5 % (у перерахунку на сухий залишок),

Встановлено, що у порівнянні зі шкірою, виготовленою за відомою технологією, виготовлена за новою технологією шкіра має більш високі показники фізико-механічних, гігієнічних та теплофізичних властивостей, що забезпечує функціонально-експлуатаційні вимоги до взуття для людей похилого віку. Таким чином, результати дослідження дають підставу рекомендувати використання одержаних за новою технологією хромових шкір для верху взуття з козлини для виготовлення повноцінного взуття для людей даної вікової категорії.

Література

1. Огляд міжнародного досвіду визначення «похилого віку». Підвищення рівня правової обізнаності людей поважного віку щодо механізмів захисту своїх прав / Агентство США з міжнародного розвитку (USAID) в рамках Програми «Нове правосуддя» – 2018. – 10 с. – URL : https://www.prostir.ua/wp-content/uploads/2018/12/Огляд_міжнародного_досвіду.pdf (дата звернення 11.04.2020)
2. Грдзелідзе М.Г. Проблематика размерных стандартов с учётом возрастных факторов / М.Г. Грдзелідзе, М.М. Шаламберідзе // Технології та дизайн: електрон. фахове вид. – 2013. – № 2 (7). – URL : <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/1560> (дата звернення 11.04.2020)
3. Грдзелідзе М.Г. Проблематика патологии стопы / М.Г. Грдзелідзе, М.М. Шаламберідзе // Технології та дизайн : електрон. фахове вид. – 2013. – № 2 (7). – URL : <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/1559> (дата звернення 11.04.2020)
4. Дёмин А.В. Особенности постральной нестабильности и факторов риска падений у лиц пожилого и старческого возраста (литературный обзор) / А.В. Дёмин, Т.П. Мороз // Молодой ученый. – 2014. – № 3. – С. 164–175.
5. Пономарева И.П. Анатомо-физиологические особенности стопы и причины развития ее возрастных изменений / И.П. Пономарева, Е.М. Дьякова, К.А. Сотников, Д.В. Крылов, В.А. Ващенко // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 7 (часть 4). – С. 776–780.
6. Взуття для людей літнього віку. Технічні умови : ДСТУ 2062-92. – [Чинний від 1994-01-01]. – Київ : Держспоживстандарт України, 1994. – 19 с.
7. Взуття повсякденне. Загальні технічні умови : ДСТУ ГОСТ 26167:2009 (ГОСТ 26167:2009, IDT). – [Чинний від 2009-10-15]. – Київ : Держспоживстандарт України, 2009. – 6 с.
8. Рибальченко В.В. Матеріалознавство виробів легкої промисловості. Методи випробувань / В.В. Рибальченко, В.П. Коновал, Е.П. Дрегуляс. – Київ : КНУТД, 2010. – 394 с.
9. Первая Н.В. Розробка взуття для людей похилого віку з урахуванням етіологічних факторів / Н.В. Первая, М.Г. Іваницька // Вісник Хмельницького національного університету. – 2016. – № 6 (243). – С. 108–111.
10. Шкіра для верху взуття. Технічні умови : ДСТУ 2726-94 (ГОСТ 939-94). – [Чинний від 1996-01-01]. – Київ, 1996. – 19 с.
11. Буркин А.Н. Разработка критериев оценки формовочных свойств материалов / А.Н. Буркин, А.П. Дмитриев, О.А. Петрова-Буркина // Вестник БГЭУ – 2012. – № 6. – С. 76–82.
12. EN ISO 2419, 2006, Leather - Physical and mechanical tests - Sample preparation and conditioning, 2006.
13. Данилкович А.Г. Аналитический контроль в производстве кожи и меха : лабораторный практикум / А.Г. Данилкович, В.И. Чурсин. – Москва, 2016. – 176 с.
14. Первая Н.В. Аналіз методів та приладів для визначення теплофізичних властивостей матеріалів для взуття / Н.В. Первая // Вісник КНУТД. – 2017. – № 6 (114). – С. 96–106.
15. EN ISO 14268, 2004, Leather – Physical and mechanical tests – Determination of watervapor permeability, 2004.

References

1. Ohliad mizhnarodnoho dosvidu vyznachennia «pokhyloho viku». Pidvyshchennia rivnia pravovoi obiznanosti liudei povazhnogo viku shchodo mekhanizmv zakhystu svoikh prav / Ahenstvo SSHA z mizhnarodnoho rozvytku (USAID) v ramkakh Prohramy «Nove pravosuddia» – 2018. 10 s. – URL : https://www.prostir.ua/wp-content/uploads/2018/12/Ohliad_mizhnarodnoho_dosvidu.pdf (data zvernennia 11.04.2020)
2. Grdzeliidze M.G. Problematika razmernih standartov s uchyotom vozrastnykh faktorov / M.G. Grdzeliidze, M.M. Shalamberidze // Tehnologiyi ta dizajn: elektron. fahove vid. – 2013. – № 2 (7). – URL : <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/1560> (data zvernennya 11.04.2020)
3. Grdzeliidze M.G. Problematika patologii stopy / M.G. Grdzeliidze, M.M. Shalamberidze // Tehnologiyi ta dizajn : elektron. fahove vid. – 2013. – № 2 (7). – URL : <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/1559> (data zvernennya 11.04.2020)

4. Dyomin A.V. Osobennosti posturalnoj nestabilnosti i faktorov riska padenij u lic pozhilogo i starcheskogo vozrasta (literaturnyj obzor) / A.V. Dyomin, T.P. Moroz // Molodoy uchenyj. – 2014. – № 3. – S. 164–175.
5. Ponomareva I.P. Anatomico-fiziologicheskie osobennosti stopy i prichiny razvitiya ee vozrastnyh izmenenij / I.P. Ponomareva, E.M. Dyakova, K.A. Sotnikov, D.V. Krylov, V.A. Vashenko // Fundamentalnye issledovaniya. – 2014. – № 7 (chast 4). – S. 776–780.
6. Vzuttia dlia liudei litnogo viku. Tekhnichni umovy : DSTU 2062-92. – [Chynnyi vid 1994-01-01]. – Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 1994. 19 s.
7. Vzuttia povsiakdenne. Zahalni tekhnichni umovy : DSTU HOST 26167:2009 (HOST 26167:2009, IDT). – [Chynnyi vid 2009-10-15]. – Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2009. 6 s.
8. Rybalchenko V.V. Materialoznavstvo vyrobiv lehkoi promyslovosti. Metody vyprobuvan / V.V. Rybalchenko, V.P. Konoval, E.P. Drehulias. Kyiv : KNUTD, 2010 □ 394 s.
9. Pervaia N.V. Rozrobka vzuttia dlia liudei pokhyloho viku z urakhuvanniam etiologichnykh faktoriv / N.V. Pervaia, M.H. Ivanytska // Herald of Khmelnytskyi National University. 2016. № 6 (243). S. 108–111.
10. Shkira dlia verkhu vzuttia. Tekhnichni umovy : DSTU 2726-94 (HOST 939-94). – [Chynnyi vid 1996-01-01]. – Kyiv, 1996. 19 s.
11. Burkin A.N. Razrabotka kriteriev ocenki formovochnykh svoystv materialov / A.N. Burkin, A.P. Dmitriev, O.A. Petrova-Burkina // Vestnik BGEU □ 2012. № 6. S. 76–82.
12. EN ISO 2419, 2006, Leather - Physical and mechanical tests - Sample preparation and conditioning, 2006.
13. Danilkovich A.G. Analiticheskij kontrol v proizvodstve kozhi i meha : laboratornyj praktikum / A.G. Danilkovich, V.I. Chursin. Moskva, 2016. □ 176 s..
14. Pervaia N.V. Analiz metodiv ta pryladiv dlia vyznachennia teplofizychnykh vlastyvostei materialiv dlia vzuttia / N.V. Pervaia // Visnyk KNUTD. 2017. № 6 (114). S. 96–106.
15. EN ISO 14268, 2004, Leather – Physical and mechanical tests – Determination of watervapor permeability, 2004.

Рецензія/Peer review : 10.4.2020 р.

Надрукована/Printed : 16.6.2020 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

АНАЛІЗ РОЗПОДІЛУ ЙМОВІРНОСТЕЙ ПІКІВ У ВИПАДКОВОМУ ВІБРАЦІЙНОМУ СИГНАЛІ

Одним з найбільш інформативних параметрів, який може бути застосований для оцінки поточного технічного стану механічних систем, є вібрація. Вібродіагностика проводиться на працюючому обладнанні, без порушення виробничого циклу. Це важливо для систем, які працюють в безперервному режимі, де зупинка для проведення діагностики є технологічно і економічно невиправданою. Вібродіагностичні заходи значно знижують ймовірність виникнення аварійної ситуації на об'єктах, а їх ремонт проводиться тільки тоді і там, де це дійсно необхідно. В наш час вібродіагностика, особливо аналіз даних, здійснюється головним чином за рахунок застосування відповідного програмного забезпечення. Сучасне програмне забезпечення вимагає складної програмної реалізації певних методик і алгоритмів для проведення вібродіагностики, оскільки їх недосконалість вимагає участі оператора в аналізі діагностичної інформації. Під час вібраційної діагностики різні способи руйнування механічних систем можна розділити на дві широкі категорії. Першу категорію можна назвати відмовою першого проходу, оскільки відмова очікується в перший раз, коли напруга або зсув перевищує деякий критичний рівень. Виникнення відмови зазвичай пов'язане з виникненням великих напруг або зсувів в деталях та елементах механізмів, тому стохастичний аналіз відмови вимагає вивчення екстремальних значень процесу. Актуальні два різні типи екстремальних проявів. Крихке руйнування (розлом) і деформація (вигин) – два види руйнування, які можна віднести до цієї категорії. Іншою широкою категорією відмов є втома, за якої відмова відбувається через накопичення пошкоджень. Метою цієї статті є аналіз та моделювання розподілу ймовірностей піків вібраційного сигналу як критерію оцінки ймовірності відмови будь-якого типу, коли динамічний відгук системи є випадковим процесом.

Ключові слова: аналіз, розподіл ймовірностей піків, випадковий вібраційний сигнал, механічні системи, вібрація, вібродіагностика, обладнання, цикл, ремонт, програмне забезпечення, втома, відмова, пошкодження.

A. PEREDERKO

Odessa State Academy of Technical Regulation and Quality

PEAK PROBABILITIES DISTRIBUTION ANALYSIS IN THE RANDOM VIBRATION SIGNAL

One of the most informative parameters that can be used to assess the current technical condition of mechanical systems is vibration. Vibrodiagnostic is carried out on the working equipment, without disturbance of a production cycle. This is important for systems that operate in a continuous mode where the stop for diagnostics is technologically and economically unjustified. Vibrodiagnostic measures significantly reduce the likelihood of an emergency situation at the facilities, and their repair is carried out only when and where it is really necessary. Nowadays, vibrodiagnostic, especially data analysis, is carried out mainly through the use of appropriate software. Modern software requires complex software implementation of certain techniques and algorithms for vibrodiagnostic, as their imperfection requires the participation of the operator in the analysis of diagnostic information. In vibration diagnostics, various methods of destruction of mechanical systems can be divided into two broad categories. The first category can be called the failure of the first pass, because the failure is expected for the first time when the voltage or shift exceeds a critical level. The occurrence of failure is usually associated with the occurrence of large stresses or shifts in the parts and elements of the mechanisms, so stochastic analysis of failure requires the study of extreme values of the process. Two different types of extreme manifestations are relevant. Fragile fracture and deformation (bending) are two types of destruction that can be classified in this category. Another broad category of failures is fatigue, in which failure occurs due to the accumulation of damage. The purpose of this paper is to analyze and model the probability distribution of vibration signal peaks as a criterion for estimating the probability of failure of any type when the dynamic response of the system is a random process.

Keywords: analysis, probability distribution of peaks, random vibration signal, mechanical systems, vibration, vibration diagnostics, equipment, cycle, repair, software, fatigue, failure, damage.

В даний час вібродіагностика є найбільш ефективним і технологічним методом для визначення технічного стану різних механічних вузлів. У тому ж час цей метод є одним з найскладніших методів технічної діагностики, що обумовлено як кінематичною складністю об'єкту діагностування, так і складністю аналізу сигналів вібрації.

Термін «пік» (*peak*) використовується для позначення суто локальних екстремумів вібраційного сигналу в часі. Це точки на графіку сигналу де перша похідна за часом дорівнює нулю, а друга похідна негативна. Більш глобальний вид проблеми, яку ми розглянемо, включає в себе екстремальне значення деякого випадкового процесу $\{X(t)\}$ протягом фіксованого інтервалу часу $0 \leq t \leq T$ [1, 3].

Прогнозування відмови першого проходу пов'язано з виникненням великого глобального екстремуму, в той час як накопичення втомного пошкодження, як правило, апроксимуються залежно тільки від послідовності локальних екстремумів процесу напружень або деформацій.

При проведенні аналізу стохастичного процесу в часі природно зважати на характерну частоту виникнення певних подій. Мабуть, найбільш очевидним було б брати до уваги місцеві максимуми, які називають піками, або місцеві мінімуми, які ми називаємо впадинами. Не настільки очевидним, але часто кориснішим є дослідження виникнення перетину рівня $\mu X(t)$ за $X(t)$ в часі [2, 3].

Позначимо як $vX(u, t)$ очікувану швидкість виникнення події $X(t) = u$, де $X(t) > 0$, а $v-X(u, t)$ позначимо як очікувану швидкість події $X(t) = u$ при $X(t) < 0$. Зазвичай їх називають швидкістю перетину

вгору і швидкістю перетину вниз відповідно рівня $X=u$, як показано на рис. 1. Очікувана кількість перетинів протягом будь-якого часового інтервалу кінцевої довжини є інтегралом $vX + (u, t)$ за інтервал. Зокрема, для нестационарного процесу швидкість перетинів може бути більш чітко зрозуміла, якщо її пов'язувати з ймовірністю виникнення пересічення протягом невеликого збільшення часу.

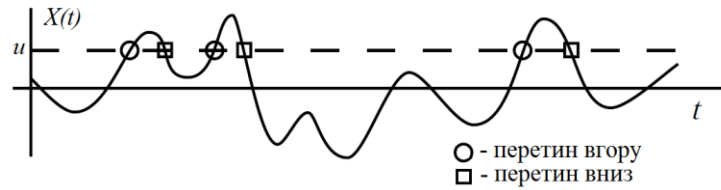


Рис. 1. Перетин рівня u випадковим сигналом $X(t)$

Таким чином, ми отримуємо розподіл ймовірностей з розгляду частоти виникнення. Спочатку ми визначаємо $\nu p [t; X(t) \leq u]$ як очікувану швидкість появи піків, що не перевищують рівень u . Далі для нескінченно малого тимчасового інтервалу t ми можемо сказати, що очікувана кількість входжень в цьому інтервалі збігається з ймовірністю одного входження в цьому інтервалі, оскільки ми можемо знехтувати ймовірністю двох або більше входжень. Таким чином, отримуємо:

$$\nu p [t; X(t) \leq u] \Delta t = P(\text{peak} \leq u, \text{ при } [t, t + \Delta t]), \quad (1)$$

так як

$$\nu p(t) \Delta t = P(\text{peak}, \text{ при } [t, t + \Delta t]), \quad (2)$$

в (2) $\nu p(t)$ – загальна очікувана частота появи піків, яка є межею при переході u до нескінченності $\nu p [t; X(t) \leq u]$. Крім того, можна записати, що

$$\begin{aligned} P(\text{peak} \leq u, \text{ при } [t, t + \Delta t]) &= \\ &= P(\text{peak}, \text{ при } [t, t + \Delta t]) P(\text{peak} \leq u | \text{peak}, \text{ при } [t, t + \Delta t]). \end{aligned}$$

Остаточний проміжок часу умовної ймовірності в цьому виразі є саме тим, що ми вважаємо кумулятивною функцією розподілу для піку в момент часу t :

$$F_{P(t)}(u) \equiv P(\text{peak} \leq u | \text{peak}, \text{ при } [t, t + \Delta t]).$$

З рівнянь (1) і (2) ми визначаємо дану кумулятивну функцію розподілу як:

$$F_{P(t)}(u) = \frac{\nu p [t; X(t) \leq u]}{\nu p(t)}. \quad (3)$$

Таким чином, ми бачимо, що визначення розподілу ймовірності піків залежить від знаходження швидкості появи піків нижче будь-якого рівня u . По-перше, відзначимо, що існує $U[-\dot{X}(t)]$ – процес, який має позитивний одиничний крок на кожному піку $X(t)$ і має негативний одиничний крок в кожній впадині $X(t)$. Таким чином, похідна $-\ddot{X}(t)\delta[-\dot{X}(t)]$ цього процесу має позитивні і негативні поодинокі дельта-функції Дірака на піках і впадинах відповідно. Помноживши на $U[-\ddot{X}(t)]$, ми можемо виключити негативні дельта-функції Дірака, щоб вважати тільки піки. Точно так само ми можемо помножити на $U[u - X(t)]$, щоб усунути всі піки вище рівня u . Таким чином, ми отримуємо швидкість появи піків, що не перевищують рівень u , так як

$$\nu p [t; X(t) \leq u] = E(-\ddot{X}(t)\delta[-\dot{X}(t)]U[-\ddot{X}(t)]U[u - X(t)]). \quad (4)$$

Підставимо (4) в рівняння (3) і отримуємо:

$$F_{P(t)}(u) = \frac{E(-\ddot{X}(t)\delta[-\dot{X}(t)]U[-\ddot{X}(t)]U[u - X(t)])}{E(-\ddot{X}(t)\delta[-\dot{X}(t)]U[-\ddot{X}(t)])},$$

яка може бути переписана з точки зору спільних функцій щільності ймовірності як

$$F_{P(t)}(u) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (-z)\delta(-v)U(-z)U(u-w)p_{X(t)\dot{X}(t)\ddot{X}(t)}(w, v, z)dw dv dz}{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (-z)\delta(-v)U(-z)p_{\dot{X}(t)\ddot{X}(t)}(v, z)dv dz},$$

або

$$F_{P(t)}(u) = \frac{\int_{-\infty}^0 \int_{-\infty}^u |z| p_{X(t)\dot{X}(t)\ddot{X}(t)}(w, 0, z)dw dz}{\int_{-\infty}^0 |z| p_{\dot{X}(t)\ddot{X}(t)}(0, z)dz}. \quad (5)$$

$Z(t) \equiv U[X(t) - u]$ – процес, який переходить вперед і назад між рівнем нуля та одиницею.

Вибір похідної по u тепер дає функцію щільності ймовірності для розподілу піків у вигляді

$$p_{P(t)}(u) = \frac{\int_{-\infty}^0 |z| p_{X(t)\dot{X}(t)\ddot{X}(t)}(u, 0, z) dz}{\int_{-\infty}^0 |z| p_{\dot{X}(t)\ddot{X}(t)}(0, z) dz} \quad (6)$$

Рівняння (5) та (6) описують розподіл ймовірностей будь-якого піка, який відбувається в околиці часу t . Імовірність того, що пік знаходиться в будь-якому заданому інтервалі, можна знайти безпосередньо з рівняння (5) або від інтегрування рівняння (6). Рівняння (6) також зручне для оцінки інших величин, таких як середнє значення:

$$\mu p(t) \equiv E[P(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} u p_{P(t)}(u) du,$$

та середньоквадратичне значення:

$$E[P^2(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} u^2 p_{P(t)}(u) du,$$

і дисперсія:

$$[\sigma P(t)] = E[P^2(t)] - [\mu P(t)]^2.$$

Припускаємо, що пік може мати місце при будь-якому значенні t , але в дійсності може бути чи не бути пік в околиці певного t . Отримуємо умовний розподіл ймовірностей і умовні моменти піку $P(t)$ в околиці t , враховуючи, що такий пік існує.

Виходячи з рівнянь (5) і (6) можна відзначити, що для знаходження розподілу ймовірності піку $P(t)$ необхідно знати спільний розподіл ймовірностей $X(t)$, $\dot{X}(t)$ і $\ddot{X}(t)$. Це і очікувалося, так як виникнення піку $P(t)$ на рівні u вимагає перетину подій $X(t) = u$, $\dot{X}(t) = 0$ і $\ddot{X}(t) < 0$. Однак необхідність в спільному розподілі ймовірностей трьох випадкових величин може зробити ці вирази трохи складнішими, ніж більшість з розглянутих раніше. Один окремий випадок, коли вирази відносно прості – це процес, в якому $\{X(t)\}$ є гаусовським і стаціонарним. Зокрема, треба відзначити, що $\dot{X}(t)$ не залежить від пари $[X(t), \ddot{X}(t)]$. Таким чином, єдиними параметрами в спільному розподілі трьох гауссовських випадкових величин є три стандартних відхилення і коефіцієнт кореляції між $X(t)$ і $\ddot{X}(t)$. Однак цей коефіцієнт кореляції є в точності негативним параметром смуги пропускання α_2 . Таким чином, ми бачимо, що α_2 , на додаток до інших його інтерпретацій, є параметром, який керує розподілом піків $\{X(t)\}$.

Розглянемо розподіл піків для стаціонарного гаусовського процесу. Знайдемо кумулятивну функцію розподілу і ймовірність функції щільності для піків стаціонарного гаусовського процесу $\{X(t)\}$ в випадковому вібраційному сигналі (рис. 2) в середовищі MathCAD [8, 9].

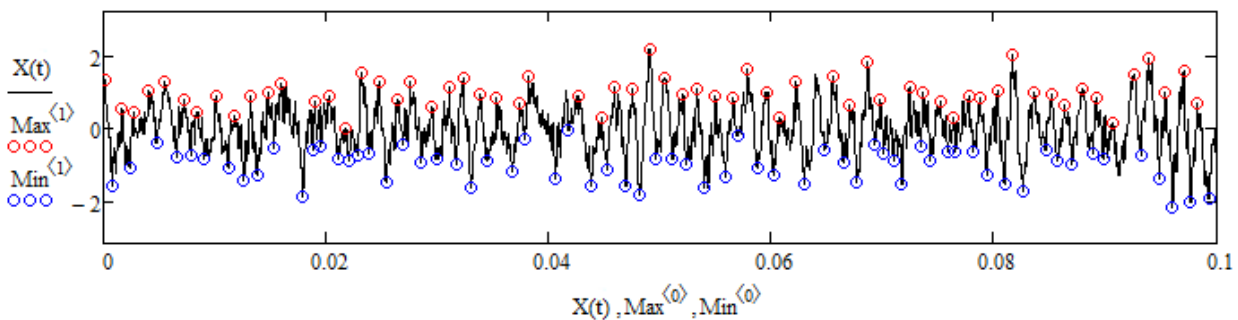


Рис. 2. Модель випадкового вібраційного сигналу $X(t)$ з піками Max і Min

Так як $\dot{X}(t)$ не залежить від $[X(t), \ddot{X}(t)]$, то ми можемо виокремити $p_{\dot{X}(t)}(0)$ як з чисельника, так і з знаменника рівняння (6) і отримаємо:

$$p_P(u) = \frac{\int_{-\infty}^0 |z| p_{X\ddot{X}}(u, z) dz}{\int_{-\infty}^0 |z| p_{\ddot{X}}(z) dz} = \frac{(2\pi)^{1/2}}{\sigma_{\ddot{X}}} \int_{-\infty}^0 |z| p_{X\ddot{X}}(u, z) dz.$$

Використовуючи функцію умовної щільності ймовірності, це можна переписати як:

$$p_P(u) = \frac{(2\pi)^{1/2}}{\sigma_{\ddot{X}}} p_X(u) \int_{-\infty}^0 |z| p_{\ddot{X}}(z|X=u) dz.$$

Умовний розподіл ймовірностей також нормальний (гаусовський), тому ми можемо записати його так:

$$p_{\ddot{X}}[z|X=u] = \frac{1}{(2\pi)^{1/2} \sigma'} \exp\left(-\frac{1}{2} \left[\frac{z - \mu'}{\sigma'}\right]^2\right),$$

в якому умовне середнє μ' відхилення $\ddot{X}(t)$:

$$\mu' \equiv E[\ddot{X}(t)|X(t)=u] = \rho_{X(t)\ddot{X}(t)} \left(\frac{\sigma_{\ddot{X}}}{\sigma_X} \right) (u - \mu_X) = -\alpha_2 \frac{\sigma_{\ddot{X}}}{\sigma_X} (u - \mu_X),$$

а також стандартне σ' відхилення $\ddot{X}(t)$:

$$\sigma' = \sigma_{\ddot{X}} \left(1 - \rho_{X(t)\ddot{X}(t)}^2 \right)^{1/2} = \sigma_{\ddot{X}} (1 - \alpha_2^2)^{1/2}.$$

Підстановка цієї гаусової форми дає вираз:

$$p_p(u) = \frac{-1}{\sigma_{\ddot{X}} \sigma'} p_X(u) \int_{-\infty}^0 z \exp\left(-\frac{1}{2} \left[\frac{z - \mu'}{\sigma'} \right]^2\right) dz,$$

який може бути написаний як:

$$p_p(u) = p_X(u) \left(\frac{\sigma'}{\sigma_{\ddot{X}}} \exp\left[-\frac{\mu'^2}{\sigma'^2}\right] - (2\pi)^{1/2} \frac{\mu'}{\sigma_{\ddot{X}}} \Phi\left[-\frac{\mu'}{\sigma'}\right] \right),$$

або

$$p_p(u) = p_X(u) \left((1 - \alpha_2^2)^{1/2} \exp\left[-\frac{\alpha_2^2 (u - \mu_X)^2}{2(1 - \alpha_2^2) \sigma_X^2}\right] + (2\pi)^{1/2} \frac{\alpha_2 (u - \mu_X)}{\sigma_X} \Phi\left[\frac{\alpha_2 (u - \mu_X)}{(1 - \alpha_2^2)^{1/2} \sigma_X}\right] \right).$$

А заміна гаусовської форми на $p_X(u)$ дає функцію щільності ймовірності у вигляді:

$$p_p(u) = \frac{(1 - \alpha_2^2)^{1/2}}{(2\pi)^{1/2} \sigma_X} \exp\left[-\frac{\alpha_2^2 (u - \mu_X)^2}{2(1 - \alpha_2^2) \sigma_X^2}\right] + \frac{\alpha_2 (u - \mu_X)}{\sigma_X^2} \exp\left[-\frac{(u - \mu_X)^2}{2\sigma_X^2}\right] \Phi\left[\frac{\alpha_2 (u - \mu_X)}{(1 - \alpha_2^2)^{1/2} \sigma_X}\right]. \quad (7)$$

Відповідна кумулятивна функція розподілу $F_p(u)$ може бути записана в більш простій формі:

$$F_p(u) = \Phi\left[\frac{u - \mu_X}{(1 - \alpha_2^2)^{1/2} \sigma_X}\right] - \alpha_2 \exp\left[-\frac{(u - \mu_X)^2}{2\sigma_X^2}\right] \Phi\left[\frac{\alpha_2 (u - \mu_X)}{(1 - \alpha_2^2)^{1/2} \sigma_X}\right]. \quad (8)$$

Граничні форми цього розподілу для $\alpha_2 = 1$ і $\alpha_2 = 0$ дають результати, що стосуються розподілу піків. Для вузькосмугового сигналу, коли α_2 наближається до одиниці, ми бачимо, що деякі аргументи в $p_p(u)$ і $F_p(u)$ прагнуть до нескінченності. Для функції $\Phi(\cdot)$ ми повинні належним чином враховувати знак нескінченного аргументу, оскільки $\Phi(\infty) = 1$ і $\Phi(-\infty) = 0$. Таким чином, ми отримуємо абсолютно інші результати для $u > \mu_X$, ніж ми могли отримати для $u < \mu_X$. Для $\alpha_2 = 1$ отримуємо:

$$p_p(u) = \frac{(u - \mu_X)}{\sigma_X^2} \exp\left[-\frac{(u - \mu_X)^2}{2\sigma_X^2}\right] U(u - \mu_X), \quad (9)$$

а також

$$F_p(u) = \left(1 - \exp\left[-\frac{(u - \mu_X)^2}{2\sigma_X^2}\right] \right) U(u - \mu_X). \quad (10)$$

В окремому випадку, коли $\mu_X = 0$, це як раз розподіл Релея, яким описується гаусовський процес. Коли $\mu_X \neq 0$, ми бачимо, що розподіл піків має ту ж форму, що і розподіл амплітуди Релея, але воно зсувається, щоб зробити μ_X найменшим можливим значенням піку. Узгодження розподілу піків і розподілу амплітуд граничного вузькосмугового процесу узгоджується з попередніми спостереженнями про те, що вузькосмуговий процес можна розглядати як гармонійну функцію з повільно змінюваною амплітудою і фазою. Оскільки вузькосмугова амплітуда змінюється повільно, ми можемо сказати, що кожен пік вузькосмугового процесу дорівнює амплітуді процесу в цей момент часу, тому дві величини мають однаковий розподіл ймовірностей.

Для протилежної екстремальної ситуації з $\alpha_2 = 0$ розподіл ймовірностей піків стає просто гаусовським розподілом $X(t)$:

$$p_p(u) = \frac{1}{(2\pi)^{1/2} \sigma_X} \exp\left[-\frac{(u - \mu_X)^2}{2\sigma_X^2}\right], \quad F_p(u) = \Phi\left[\frac{u - \mu_X}{\sigma_X}\right]$$

Зокрема, це відповідає факту, що α_2 є таким самим показником, як коефіцієнт нерівномірності для Гаусового процесу. Таким чином, якщо $\alpha_2 = 0$ і процес має кінцеві швидкості перетину, то швидкість появи піків є нескінченною. Однак якщо швидкість виникнення піків нескінченна, тоді можливо, що всюди по ходу процесу можуть бути піки, від яких слід очікувати, що розподіл піків має бути таким же, як розподіл $X(t)$. Графіки на рис. 3 показують функцію щільності ймовірності $p_p(u)$ для піків при кількох значеннях α_2 в діапазоні 0...1.

На рис. 3 наведено отримані в MathCAD розподіли ймовірностей піків для моделі випадкового вібраційного сигналу (рис. 2). Розподіл для піків Min нанесений пунктирною лінією, а для піків Max нанесений суцільною лінією.

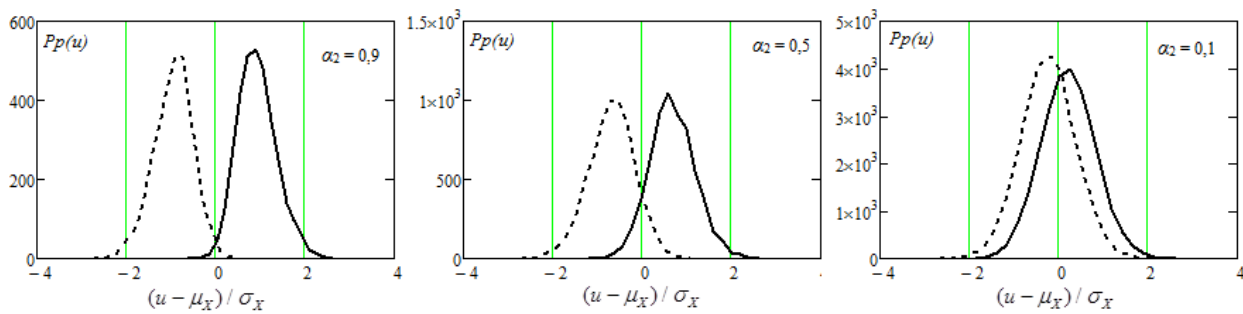


Рис. 3. Розподіл ймовірності піків сигналу $X(t)$ в залежності від значень α_2

В наш час йде активне випробування нетрадиційних підходів та методів в частині обробки і аналізу вихідної інформації при вібродіагностиці. Основними критеріями застосування нових методів є: ефективність, оптимальне співвідношення ціна – якість, технологічність, можливість роботи в реальному масштабі часу. В цьому руслі, з метою підвищення достовірності та глибини діагностування намітилася тенденція використання одночасно декількох методів при обробці та аналізі результатів вимірювань вібраційного сигналу. Так, діагностування «класичних» дефектів, сигнал яких описується однією-трьма гармоніками, все ж краще проводити за допомогою звичайного спектрального аналізу вібраційних сигналів. Однак якщо в отриманому спектрі вібраційного сигналу присутні близько десятка гармонік, і навіть більше, то до аналізу такого сигналу потрібно залучати додаткові ресурси. Тому, опираючись на отримані результати, можна сказати, що аналіз розподілу ймовірностей піків вібраційного сигналу можна використовувати як допоміжний критерій при оцінці ймовірності відмови будь-якого типу, коли динамічний відгук системи є випадковим процесом. Необхідно також пам'ятати, що цей критерій працює в умовах діагностики та прогнозування на відмову через втомленість систем з існуючими дефектами, а не з дефектами, що тільки зароджуються.

Література

1. Cyril Harris, Piersol Allan. Shock and Vibration Handbook. McGraw-Hill Professional, 2001. 1450 p.
2. Гольдин А.С. Вибрация роторных машин / А.С. Гольдин. – М. : Машиностроение, 1999. – 344 с.
3. Вибрация в технике : справочник : в 6 томах. – М. : Машиностроение, 1981.
4. Руссов В.А. Диагностика дефектов вращающегося оборудования по вибрационным сигналам / В.А. Руссов. – Пермь, 2012. – 252 с.
5. Костюков В. Н. Основы виброакустической диагностики и мониторинга машин / В. Н. Костюков, А. П. Науменко. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2011.
6. Федер Е. Фракталы / Е. Федер ; пер. с англ. – М. : Мир, 1991.
7. Щедрин В.И. Применение теории фракталов для обнаружения дефектов роторных узлов подвижного состава железнодорожного транспорта / В. И. Щедрин // Тез. докл. науч.-техн. конф. – Самара, 2005.
8. Антипенский Р. Разработка моделей первичных сигналов в программной среде MathCAD / Р. Антипенский // Компоненты и технологии. – 2007. – № 3. – ISSN 2079-6811.
9. Решение инженерных задач в пакете MathCAD / [Ю.Е. Воскобойников и др. ; под ред. Ю.Е. Воскобойникова]. – Новосибирск : НГАСУ(Сибстрин), 2013. – 120 с.

References

1. Cyril Harris, Piersol Allan. Shock and Vibration Handbook. McGraw-Hill Professional, 2001. 1450 p.
2. Goldin A.S. Vibratsiya rotornykh mashin / A.S. Goldin. – M. : Mashinostroenie, 1999. – 344 s.
3. Vibratsiya v tehnikе : spravochnik : v 6 tomah. – M. : Mashinostroenie, 1981.
4. Russov V.A. Diagnostika defektov vrashayushegosya oborudovaniya po vibratsionnym signalam / V.A. Rusov. – Perm, 2012. – 252 s.
5. Kostyukov V. N. Osnovy vibroakusticheskoy diagnostiki i monitoringa mashin / V. N. Kostyukov, A. P. Naumenko. – Omsk : Izd-vo OmGTU, 2011.
6. Feder E. Fraktaly / E. Feder ; per. s angl. – M. : Mir, 1991.
7. Shedrin V.I. Primenenie teorii fraktalov dlya obnaruzheniya defektov rotornykh uzlov podvizhnogo sostava zheleznodorozhno-go transporta / V. I. Shedrin // Tez. dokl. nauch.-tehn. konf. – Samara, 2005.
8. Antipenskiy R. Razrabotka modelej pervichnykh signalov v programnoy srede MathCAD / R. Antipenskiy // Komponenty i tehnologii. – 2007. – № 3. – ISSN 2079-6811.
9. Reshenie inzhenernykh zadach v pakete MathCAD / [Yu.E. Voskobojnikov i dr. ; pod red. Yu.E. Voskobojnikova]. – Novosibirsk : NGASU(Sibstrin), 2013. – 120 s.

Рецензія/Peer review : 26.5.2020 р.

Надрукована/Printed : 16.6.2020 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

О.М. СИНЮК, О.А. КРАВЧУК, О.М. ЯШИНА, А.Ю. КРАВЧУК

Хмельницький національний університет

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЗАПОВНЕННЯ ПОРОЖНИНИ ПРЕС-ФОРМИ РОЗПЛАВОМ ПОЛІМЕРНОГО МАТЕРІАЛУ З НАПОВНЮВАЧЕМ

В статті розроблено математичну модель руху суміші полімерного матеріалу з армуючими частинками у процесі заповнення порожнини прес-форми, яка, на відміну від наявних, дозволяє спостерігати за формуванням структури полімерного виробу із включеннями, що дає можливість конструювати і проектувати оснастку для лиття під тиском виробів легкої промисловості з підвищеними експлуатаційними властивостями.

Ключові слова: полімерний матеріал, технологічний процес.

O. M. SYNYUK, O. A. KRAVCHUK, O. M. YASHYNA, A. Y. KRAVCHUK

Khmelnitskyi National University

MODELLING OF THE PRESS FORM FILLING OF MOLD WITH POLYMER MATERIAL WITH FILLER

Today, recycled polymer waste can be used in most light industry processes, including injection molding, compression molding, extrusion and calendaring. The most acceptable technological processes are those having a wide range of technological parameters, that is, those that do not require narrow specification. Therefore, it is desirable to use recycled polymeric material in the manufacture of new light industry products which are obtained by injection molding or extrusion. Other methods of forming polymeric products of light industry can be applied only in cases where the secondary polymer has properties close to the original. The most promising technology for producing polymer products using a significant proportion of recycled polymeric waste today is injection molding of polymer products with the introduction of secondary polymers as a binder. Understanding the processes that occur when forming the structure of a material with a filler, will allow you to design and design injection molding to obtain polymer products of light industry with high performance properties. In order to do this, the filling of the mold cavity with polymeric material with the inclusion of recycled waste particles should be modeled first. The article develops a mathematical model of the motion of a mixture of polymeric material with reinforcing particles in the process of filling the mold cavity, which, unlike the available ones, allows to observe the formation of the structure of the polymeric product with inclusions, which makes it possible to design and design injection molding for obtaining light industry products with high performance.

Keywords: polymer material, technological process.

Вступ

Сьогодні перероблені полімерні відходи можна використовувати в більшості технологічних процесів легкої промисловості, включаючи лиття під тиском, компресійне пресування, екструзію та каландрування. Найбільш прийнятними технологічним процесами є ті, що мають широкий діапазон технологічних параметрів, тобто такі, у яких не потрібне влучання у вузькі рамки специфікацій. Тому вторинно перероблений полімерний матеріал бажано використовувати під час виробництва нових товарів легкої промисловості, які отримують литтям під тиском або екструзією. Інші способи формування полімерних виробів легкої промисловості можна застосовувати тільки в тих випадках, коли вторинний полімер має властивості, близькі до оригінального [1]. Найбільш перспективною на сьогодні технологією отримання полімерних виробів із використанням значної частки перероблених полімерних відходів є лиття під тиском полімерних виробів при введенні в них вторинних полімерів як з'єднувального матеріалу.

Полімерні вироби, що армуються подрібненим полімерним матеріалом, мають підвищені фізико-механічні характеристики [2], тому що основні напруження від впливу зовнішніх навантажень сприймаються саме полімерним наповнювачем і найбільша жорсткість та міцність виробу забезпечуються вздовж напрямку орієнтації частинок наповнювача.

Розраховане та спроектоване обладнання для переробки полімерних відходів дозволяє отримувати частинки, які можна використовувати як наповнювач під час виробництва нових полімерних виробів легкої промисловості, тим більше, що частинки перероблених полімерних відходів володіють анізотропією фізико-механічних властивостей, тобто мають властивості, подібні до армувальних волокон.

Для виробництва полімерних виробів легкої промисловості (деталей низу взуття, корпусів валіз та інших виробів) із використанням перероблених полімерних відходів необхідно розробити ливарне обладнання, яке дозволить використовувати перероблений полімер як наповнювач або сполучний елемент.

Для армованих виробів можна визначити домінуючий фактор, що впливає на експлуатаційні властивості виробів, – це орієнтація частинок наповнювача. Всі інші параметри, такі як зміна тиску і температури, і навіть кристалізація, мають другорядне значення. Таким чином, відомі принципи конструювання прес-форм для лиття під тиском для мінімізації дефектів мають обмежену значимість, у той же час на передній план виходять зовсім інші залежності.

Оскільки під час заповнення прес-форми полімерним матеріалом частинки наповнювача будуть мати певну орієнтацію, то властивості матеріалу, що переробляється, будуть мати анізотропний характер. У результаті використання наповнювачів з'являється локально різний розподіл жорсткості і усадки, що залежить від орієнтації частинок наповнювача за площею поверхні і товщиною стінок виробу.

Розуміння процесів, що відбуваються під час формування структури матеріалу із наповнювачем,

дозволить конструювати і проектувати оснастку для лиття під тиском полімерних виробів легкої промисловості з підвищеними експлуатаційними властивостями [3]. Для цього, передусім, слід змодельовати заповнення порожнини прес-форми полімерним матеріалом із включенням частинок перероблених відходів.

Виклад основного матеріалу

Математична модель руху розплаву полімеру в порожнині прес-форми. Течія в'язкої рідини підпорядковується закону Ньютона про лінійний зв'язок між тензорами напружень і тензорами швидкостей, який з необхідною для нашої задачі точністю описується рівняннями Нав'є-Стокса [4, 5]:

$$\frac{\partial \bar{V}}{\partial t} + (\bar{V} \cdot \nabla) \bar{V} = \bar{F} - \frac{1}{\rho} \text{grad } P + \nu \cdot \nabla^2 \bar{V} \tag{1}$$

де \bar{V} – вектор швидкості в окремій точці полімерного середовища, м/с; \bar{F} – головний вектор об'ємних сил, Н; ν – кінематична в'язкість полімеру, м²/с; P – тиск в окремій точці розплаву полімеру, Па; ρ – густина полімерного середовища, кг/м³.

Тиск P визначається з урахуванням припущення про те, що в будь-якій точці ньютонівської в'язкої рідини тиск дорівнює середньому арифметичному трьох нормальних напружень, що прикладені до взаємно перпендикулярних площадок у певній точці середовища, взятій зі зворотнім знаком:

$$-(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)/3 = P, \tag{2}$$

де $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ – нормальні напруження, що прикладені до взаємно перпендикулярних площадок у певній точці середовища.

Оскільки в роботі розглянуто стаціонарне поле густини, тобто $\partial \rho / \partial t = 0$, то рівняння неперервності [6, 7] приймає вигляд:

$$\text{div}(\rho \cdot \bar{V}) = 0. \tag{3}$$

Припущення щодо стаціонарності поля густини базується на тому, що полімерне середовище майже не стискається, тобто міжмолекулярні відстані не змінюються. Якщо рух полімерного середовища в прес-формі здійснюється з порівняно невеликою швидкістю, то можна припустити, що густина постійна в кожній точці розплаву полімеру, а це дозволяє отримати рівняння нестисливості для в'язкого середовища:

$$\text{div}(\bar{V}) = 0. \tag{4}$$

Запишемо рівняння руху (1) для розплаву полімеру в декартових координатах (в проєкціях x та y):

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} &= F_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \cdot \nabla^2 u, \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} &= F_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \cdot \nabla^2 v, \end{aligned} \tag{5}$$

де u, v – проєкції вектора швидкості на осях x і y ; F_x, F_y – проєкції головного вектора об'ємних сил на осях x і y ; t – час; ν – кінематична в'язкість розплаву полімеру, що дорівнює відношенню динамічної в'язкості μ до постійної густини ρ .

Запишемо умову нестисливості розплаву полімеру в декартових координатах (в проєкціях X та Y):

$$\partial u / \partial x + \partial v / \partial y = 0. \tag{6}$$

Проєкції головного вектора об'ємних сил можна визначити за другим законом Ньютона:

$$F_x = \rho \cdot S \cdot h \cdot \frac{\partial v_x}{\partial t}, \quad F_y = \rho \cdot S \cdot h \cdot \frac{\partial v_y}{\partial t}, \tag{7}$$

де S – площа вздовж осевого перерізу порожнини прес-форми для лиття полімерних виробів легкої промисловості, м²; h – висота прес-форми, м².

Через те, що на цьому етапі розглядається плоска задача, тобто рух розплаву полімеру відбувається в площині осевого перерізу порожнини прес-форми, висота h та, відповідно, проєкції головного вектора об'ємних сил F_x, F_y дорівнюють нулю. З урахуванням цього та умови нестисливості (6), система рівнянь руху розплаву полімеру в порожнині прес-форми (5) запишеться таким чином:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} &= -\frac{\partial p}{\partial x} + \nu \cdot \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right], \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} &= -\frac{\partial p}{\partial y} + \nu \cdot \left[\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right], \end{aligned} \tag{8}$$

де p – відношення тиску P до постійної густини ρ (надалі просто "тиск").

Для визначення тиску скористаємося рівнянням Пуассона:

$$\nabla^2 p = \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} = -\frac{\partial D}{\partial t} - u \frac{\partial D}{\partial x} - v \frac{\partial D}{\partial y} + \nu \cdot \nabla^2 D, \tag{9}$$

де D – дивергенція вектора швидкості, яка визначається таким співвідношенням:

$$D = \partial u / \partial x + \partial v / \partial y. \quad (10)$$

Отже, система рівнянь (8) та рівняння (9) є основними для визначення полів швидкості та тиску. Якщо врахувати припущення, що потік в'язкої рідини є нестисливим, тобто врахувати умову (6), то рівняння (9) перетвориться на рівняння Лапласа для тиску: p

$$\nabla^2 p = 0. \quad (11)$$

Додамо до них граничні умови на осі симетрії, на границі входження в канал, на твердих поверхнях порожнини прес-форми, на вільній поверхні полімерного розплаву (рис. 1).

1. Граничні умови на осі симетрії. Відповідно до [4, 7], будемо вважати, що на осі симетрії радіальна швидкість v і тангенціальне напруження τ дорівнюють нулю.

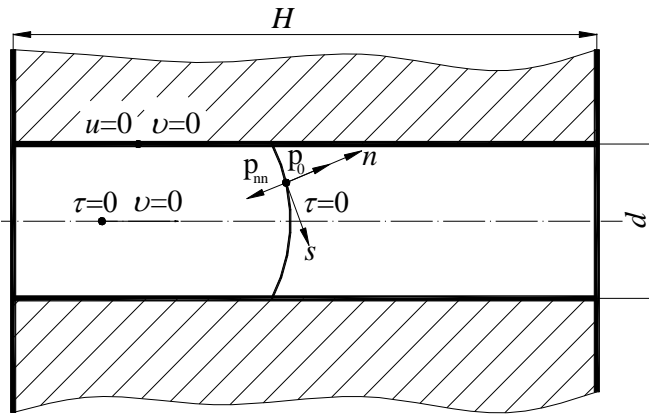


Рис. 1. Граничні умови для моделі заповнення порожнини прес-форми полімерним розплавом

На вільній поверхні, де передбачається, що полімерний розплав витікає з області, що розглядається, ставляться так звані “м’які” граничні умови, або умови “зносу”. Тут передбачається рівність нулю нормальних похідних тиску і компонент швидкості:

$$\partial p_n / \partial x = 0, \quad \partial u / \partial x = 0, \quad \partial v / \partial x = 0 \quad (12)$$

У цій роботі розглядаються порівняно повільні рухи в’язких рідин, а відповідно до теорії в’язкого середовища [4] і враховуючи повільний рух щільного розплаву полімеру, рівняння (8) можна записати таким чином:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \nu \cdot \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right] - \frac{\partial u}{\partial t}, \quad (13)$$

$$\frac{\partial p}{\partial y} = \nu \cdot \left[\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right] - \frac{\partial v}{\partial t}.$$

Якщо використати гіпотезу квазістаціонарності [7], тобто весь процес руху полімерного розплаву розбити на кінцеву кількість стаціонарних задач, то систему рівнянь (13) можна представити таким чином:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \nu \cdot \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right], \quad (14)$$

$$\frac{\partial p}{\partial y} = \nu \cdot \left[\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right].$$

Розв’язувати рівняння (11) та систему рівнянь (14) із заданими граничними умовами будемо за допомогою скінченно-різницевого методу маркерів і комірок [8].

Метод маркерів і комірок являє собою числовий підхід до розрахунку динаміки неусталених течій в’язкого нестисливого середовища. У ньому використовується скінченно-різницева схема для розв’язання рівняння нерозривності та рівнянь руху суцільного середовища [4, 7]. Цим методом можна розраховувати задачі руху в’язкого полімерного розплаву, при цьому положення полімерного матеріалу відзначається маркерами. Такі маркери переміщуються разом із матеріалом по ейлеревій розрахунковій сітці.

У методі маркерів і комірок усі диференціальні рівняння та граничні умови записуються у скінченних різницях на сітці фіксованих комірок, що покриває область течії полімерного розплаву. Час також розбивається на скінченне число інтервалів. В об’єм полімеру та на його поверхню наноситься система маркерів, що безпосередньо зв’язані з полімерним матеріалом. Ці маркери можуть переміщуватися по ейлеревій сітці з локальною швидкістю полімеру, показуючи його положення у певний момент часу

відповідно до рівняння Лагранжа:

$$dx/dt = u, \quad dy/dt = v. \quad (15)$$

У такий спосіб маркери вводяться тільки для візуалізації плинну розплаву полімеру. Вони показують, які комірки містять полімерний матеріал (заповнені комірки), які не містять (порожні комірки). Їхня основна задача – візуалізація потоку полімерного розплаву. Типова комірка представлена на рис. 2.

Для протікання розплаву полімеру через цю комірку повинна виконуватися умова нестисливості, тобто відстань між маркерами, що знаходяться в межах елементарної комірки, не повинна змінюватися в процесі течії.

У кожній комірці визначаються три незалежні змінні u , v та p і кожна з них центрується в окремих точках сітки. Тиск p та дивергенція D задаються в центрі i, j кожної комірки.

Горизонтальна складова швидкості $u_{i+1/2, j}$ визначається тільки на вертикальних границях комірок $(x_{i+1/2}, y_j)$ і, аналогічно, вертикальна складова швидкості $v_{i, j+1/2}$ визначається тільки на горизонтальних границях комірок $(x_i, y_{j+1/2})$. Надалі, щоб уникнути напівцілих індексів, швидкості $u_{i+1/2, j}$ і $v_{i, j+1/2}$ будемо позначати $u_{i, j}$ і $v_{i, j}$, тобто віднесемо індексацію швидкостей до центра, пам'ятаючи, що вони центровані на серединах сторін комірки.

Як зазначалося раніше, граничні умови біля твердих стінок містять нормальні похідні тиску. Для їх задоволення необхідно ввести фіктивні комірки, які розташовані за межами фізичної твердої границі [5].

По ейлеревій сітці розподіляються маркери, що рухаються з локальними швидкостями. У результаті конфігурація в'язкої рідини визначається розподілом маркерів по ейлеревій сітці, яка складається з чотирьох типів комірок [7]:

- граничні комірки, в яких виконуються умови біля твердих стінок, границь втікання, осі симетрії;
- повні комірки, які містять маркери та оточені іншими повними комірками;
- порожні комірки, які не містять маркерів;
- поверхневі комірки, які містять маркери, але межують із порожніми комірками.

Використовуючи [4, 6], запишемо диференціальні рівняння руху (14), що описують плин розплаву полімеру, у скінченно-різницевої формі, замінюючи диференціальні операторів їх різницевиими аналогами:

$$\frac{p_{i,j} - p_{i+1,j}}{h} + v \cdot \left[\frac{u_{i+1,j} - 2 \cdot u_{i,j} + u_{i-1,j}}{h^2} + \frac{u_{i,j+1} - 2 \cdot u_{i,j} + u_{i,j-1}}{h^2} \right] = 0, \quad (16)$$

$$\frac{p_{i,j} - p_{i,j+1}}{h} + v \cdot \left[\frac{v_{i+1,j} - 2 \cdot v_{i,j} + v_{i-1,j}}{h^2} + \frac{v_{i,j+1} - 2 \cdot v_{i,j} + v_{i,j-1}}{h^2} \right] = 0. \quad (17)$$

Скінченно-різницевий аналог рівняння нерозривності (6) запишемо у вигляді:

$$D_{i,j} = \frac{1}{h} \cdot (u_{i,j} - u_{i-1,j} + v_{i,j} - v_{i,j-1}) = 0. \quad (18)$$

Поле тиску відповідно до рівняння (11) в різницевої формі запишеться так:

$$\frac{p_{i+1,j} - 2 \cdot p_{i,j} + p_{i-1,j}}{h^2} + \frac{p_{i,j+1} - 2 \cdot p_{i,j} + p_{i,j-1}}{h^2} = 0. \quad (19)$$

Аналогічно у формі скінчених різниць запишемо граничні умови для комірок біля твердих стінок, на границі втікання, на осі симетрії та на вільній поверхні, що межує з повітрям [5].

Наведені вище вирази утворюють повну систему лінійних алгебраїчних рівнянь для визначення всіх невідомих у різних типах комірок – граничних, повних та поверхневих. Для розв'язання згаданих систем рівнянь доцільно використовувати ітераційні методи, що враховують спеціальний вигляд таких систем і є зручними для реалізації на ЕОМ [4].

В роботі використано ітераційний метод Лібмана [7], з проведенням послідовних релаксацій:

$$x^k = x^{k-1} + \omega \cdot (\mathbf{f} - \mathbf{A} \cdot x^{k-1}), \quad (20)$$

де ω – релаксаційний параметр, який приймає значення від 0 до 2. При $\omega > 1$ процес називають

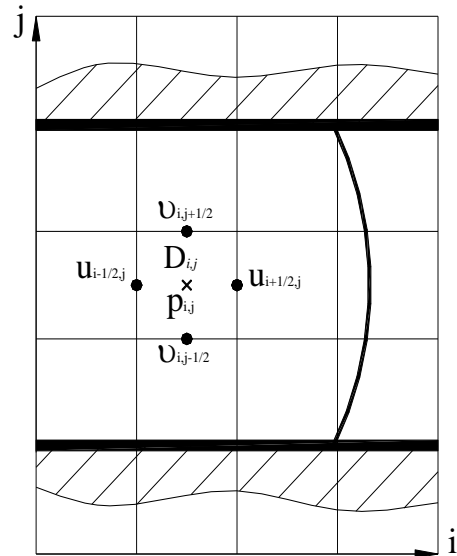


Рис. 2. Розрахункова схема

“верхньою” релаксацією, при $\omega < 1$ процес називають “нижньою” релаксацією.

Результати спостережень за процесами, що відбуваються під час формування структури матеріалу із наповнювачем, дають можливість конструювати і проектувати оснастку для лиття під тиском полімерних виробів легкої промисловості з підвищеними експлуатаційними властивостями.

Моделювання заповнення порожнини прес-форми розплавом полімеру із включеннями. Під час впорскування розплаву полімеру через впускний ливник у порожнину прес-форми, він починає розподілятися в радіальному напрямку [7]. Оскільки периметр фронту течії збільшується, то розплав піддається еластичному розширенню під прямим кутом до напрямку течії. У той час як порожнина прес-форми заповнюється розплавом, у напрямку її ширини встановлюється профіль потоку (рис. 3). Найбільша швидкість розплаву полімеру в середині потоку, а по краях вона зменшується аж до нуля через адгезію з холодними стінками прес-форми. Внаслідок цього розплав піддається зусиллям зсуву, які й створюють опір течії і тим самим тиск лиття.

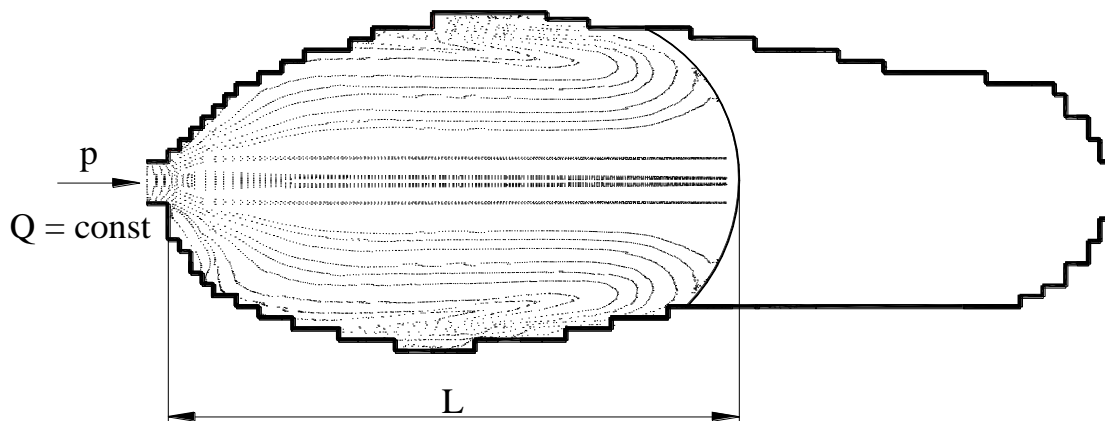


Рис. 3. Моделювання заповнення розплавом полімеру порожнини прес-форми для лиття підшав

Зсув матеріалу, проте, не є однорідним відносно товщини стінки. Більше того, поблизу стінки існує яскраво виражений зсувний шар, у той час як у центрі розплав тече швидше і майже не схильний до зсуву. Частина розплаву, яка дуже швидко тече вперед у середньому шарі, врешті-решт, направляється “фонтаноподібним” фронтом течії у безпосередню близькість до стінки прес-форми і тим самим підпадає під вплив напружень зсуву. Початкова орієнтація частинок наповнювача не впливає на їх кінцеву орієнтацію.

Таким чином, орієнтація включень формується у результаті розширення потоку розплаву полімеру, “фонтаноподібної” течії фронту розплаву та під впливом напружень зсуву (рис. 4).

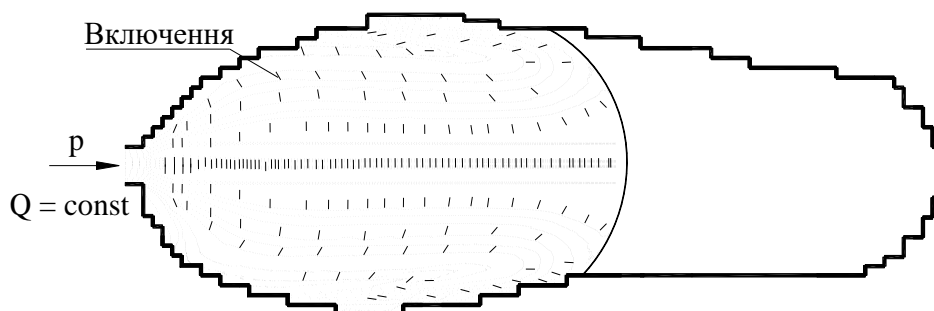


Рис. 4. Моделювання заповнення порожнини прес-форми розплавом полімеру із наповнювачем

Як видно з рис. 4, у порожнині прес-форми процеси формування орієнтації частинок наповнювача накладаються один на одного. Розплав разом із включеннями, потрапляючи через впускний ливник у порожнину, отримує спочатку яскраво виражену поперечну орієнтацію, потім він разом із потоком у центрі порожнини переміщується в напрямку фронту розплаву, не відчуваючи при цьому практично ніякої зміни орієнтації, тобто включення, як і раніше, орієнтовані поперек напрямку потоку [9]. На фронті розплаву розплав із включеннями перенаправляється до стінок прес-форми і внаслідок цього потрапляє у зсувний потік, який переорієнтовує включення. Таким чином, внаслідок обох процесів у полімерному виробі виникають два шари, в кожному з яких основний напрямок частинок повернутий на 90° відносно іншого шару.

Механічні властивості виробу будуть залежати від товщини цих шарів і від відповідного кута орієнтації включень. У тих місцях, де переважають периферійні шари, орієнтація включень спрямована вздовж течії, а ближче до центру потоку розплаву кут орієнтації включень збільшується до 90° . Таким

чином, біля стінок прес-форми формується такий шар полімеру, в якому частинки наповнювача орієнтовані вздовж течії розплаву полімеру, що перешкоджає утворенню усадки в напрямку течії.

Висновки

Розроблено математичну модель руху суміші полімерного матеріалу з армуючими частинками у процесі заповнення порожнини прес-форми, яка, на відміну від наявних, дозволяє спостерігати за формуванням структури полімерного виробу із включеннями, що дає можливість конструювати і проектувати оснастку для лиття під тиском виробів легкої промисловості з підвищеними експлуатаційними властивостями.

Література

1. Мантя Ф. Ла. Вторичная переработка пластмасс / Франческо ла Мантя ; [под. ред. Г.Е. Зайкова ; пер. с англ.]. – СПб : Профессия, 2006. – 400 с.
2. Карван С.А. Розробка захисного форменого одягу для військовослужбовців / С.А. Карван, С.Л. Горященко, О.М. Синюк // Тези доповідей V міжнародної науково-практичної конференції “Проблеми координації військово-технічної та оборонно-промислової політики в Україні. Перспективи розвитку озброєння та військової техніки” (11-12 жовтня 2017). – Київ, 2017. – С. 145–147.
3. Злотенко Б. М. Научные основы проектирования технологического процесса литья изделий лёгкой промышленности с прогнозируемыми свойствами : дис. ... доктора техн. наук : 05.19.06 / Злотенко Борис Николаевич. – К., 2003. – 405 с.
4. Synyuk O. Improvement of Footwear Moulding Machines for the Production of the Advanced Reliability Items / O. Synyuk, M. Skyba // The eleventh world congress in Mechanism and Machine Science (1–4 April 2004). – Tianjin (China) : Editor Tian Huang School of Mechanical Engineering Tianjin University, 2004. – V. 5. – P. 2212–2216.
5. Виробництво литих деталей та виробів з полімерних матеріалів у взуттєвій та шкіргалантерейній промисловості : монографія / [О.П. Бурмістенков, Б.М. Злотенко, В.П. Коновал, І.В. Панасюк, М.Є. Скиба, О.М. Синюк]. – Хмельницький : РВЦ ХНУ, 2007. – 255 с.
6. Kulik T. Modeling a process of filling the mold during injection molding of polymeric parts / T. Kulik, O. Synyuk, B. Zlotenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – № 5/1 (89). – P. 70–77.
7. Skyba M. Improvement of press-forms for polymeric items moulding / M. Skyba, O. Synyuk // Archives of foundry. Polish Academy of Sciences branch Katowice foundry commission, Katowice (Poland), 2004. – V. 4. – № 12. – P. 235–248.
8. Brazel Christopher S. Fundamental principles of polymeric materials / Christopher S. Brazel, Stephen L. Rosen. – New Jersey : John Wiley & Sons, 2012. – 407 p.
9. Синюк О.М. Моделювання процесу заповнення розплавом полімеру порожнини прес-форми з армуючими елементами / О.М. Синюк // Вісник Хмельницького національного університету. – 2017. – № 1 (245). – С. 251–257.

References

1. Francesco La Mantle Recycling of plastics / ed. G.E. Zaykova. – St. Petersburg : Profession, 2006. – 400 p.
2. Karvan S.A. Development of protective uniforms for servicemen / S.A. Karvan, S.L. Goryashchenko, O.M. Synyuk // Abstracts of the 5th international scientific-practical conference “Problems of coordination of military-technical and defense-industrial policy in Ukraine. Prospects for the development of weapons and military equipment” (October 11-12, 2017). – Kyiv, 2017. – P. 145–147.
3. Zlotenko B.M. Scientific bases of designing of technological process of casting of light industry products with predicted properties: dissertation of Doctor of Engineering Sciences: 05.19.06 / Zlotenko Borys Mykolaiovych. – K., 2003. – 405 p.
4. Synyuk O. Improvement of Footwear Molding Machines for the Production of Advanced Reliability Items / O. Synyuk, M. Skyba // The Eleventh World Congress in Mechanism and Machine Science (1–4 April 2004). – Tianjin (China): Editor, Tian Huang School of Mechanical Engineering, Tianjin University, 2004. – V. 5. – P. 2212–2216.
5. Burmistenkov O.P. Production of molded parts and articles made of polymeric materials in the shoe and leather goods industry: monograph / O.P. Burmistenkov, B.M. Zlotenko, V.P. Konoval, I.V. Panasyuk, M.E. Skyba, O.M. Synyuk. – Khmelnytskyi: RVC KhNU, 2007. – 255 p.
6. Kulik T. Modelling a molding process during injection molding of polymeric parts / T. Kulik, O. Synyuk, B. Zlotenko // Eastern European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – No. 5/1 (89). P. 70–77.
7. Skyba M. Improvement of press molds for polymeric molding items / M. Skyba, O. Synyuk // Archives of foundry. Katowice Foundry Commission, Katowice (Poland), 2004. – V. 4. – № 12. – P. 235–248.
8. Christopher S. Brazel Fundamental Principles of Polymeric Materials / Christopher S. Brazel, Stephen L. Rosen. – New Jersey: John Wiley & Sons, 2012. – 407 p.
9. Synyuk O.M. Simulation of the melt filling process of a mold cavity with reinforcing elements / O.M. Synyuk // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2017. – Issue 1 (245). – P. 251–257.

Рецензія/Peer review : 6.4.2020 р. Надрукована/Printed : 17.6.2020 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

КЛАСИФІКАЦІЯ МОДЕЛЕЙ ЗАГРОЗ В КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ

В даній статті розглянуто загрози комп'ютерним даним у комп'ютерних системах та проведено класифікацію зазначених загроз через їх характеристики. Взаємозв'язки між класами загроз та характеристиками становлять математичну модель задачі класифікації комп'ютерних загроз системою захисту комп'ютерних даних, наведену в даній статті. Аналіз побудованої моделі дозволяє зробити висновки, що задача класифікації комп'ютерних загроз належить до важко формалізованих задач та потребує для свого розв'язання не традиційних математичних методів, а методів інтелектуального аналізу, одним з яких можуть бути динамічні дерева рішень.

Ключові слова: комп'ютерні загрози, математична модель, захист інформації, комп'ютерні системи.

VERA YURIIVNA TITOVA, YURI PAVLOVYCH KLOTS, SERHII OLEHOVYCH SAVCHUK

Khmelnyskyi National University

CLASSIFICATION OF THREAT MODELS IN COMPUTER SYSTEMS

The article proposes an approach to the classification of threats in modern computer systems, which consists in determining the classes of potential threats and the set of characteristics that define these classes. The study found that the same characteristic in different circumstances, in particular in combination with other characteristics, may determine the different class of threats. Moreover, it should be borne in mind that at one point in time there may be both one and several classes of threats, and the characteristics may change in the decision-making process. And with their change, one threat class can move to another or correlate with it. The relationships between threat classes and their characteristics constitute a mathematical model of the threat classification problem by the computer data protection system. From the analysis of the mathematical model of computer threats classification it is possible to draw conclusions that the following features are inherent to this problem: there are a large number of possible solutions, which requires a significant amount of time to solve the problem by a complete search of all available options. In addition, the input data can change in the process of solving the problem, and when changing at least one value, you need to go through all the available options first; input data is difficult to represent in the form of numerical data, and therefore the solution of the problem cannot be reduced to numerical calculations. Thus, the task of classifying threats to computer data is a difficult task. It is impractical to use traditional mathematical methods to solve it. Therefore, based on the features of the above problem to solve it, it is advisable to use methods of intellectual analysis, in particular dynamic decision trees.

Keywords: computer threats, mathematical model, information protection, computer systems.

Вступ. Однією з ключових сучасних проблем забезпечення комп'ютерної безпеки є необхідність ефективної протидії комп'ютерним загрозам. Причому треба враховувати, що загрози можуть бути як випадковими, так і навмисними. І найбільшу небезпеку становлять саме навмисні загрози. Крім того, обробка комп'ютерних даних здійснюється за допомогою різних складових комп'ютерної архітектури: апаратної, програмної, комплексної [1–4]. А тому актуальним завданням систем захисту комп'ютерних даних є захист усіх складових комп'ютерної архітектури від загроз як навмисних, так і випадкових.

Характеристика предметної області. На сьогоднішній день існує багато методів захисту комп'ютерних даних від загроз у комп'ютерних системах. Серед них можна виділити наступні [1–4]:

- методи виявлення аномалій – це методи знаходження та ідентифікації елементів, подій або спостережень, що не відповідають очікуваній поведінці (патернам) або іншим елементам набору даних;
- сигнатурні та евристичні методи виявлення шкідливого програмного забезпечення, засновані на порівнянні вмісту підозрілих програм та файлів з відомими зразками шкідливих програм;
- методи контролю доступу. Контроль доступу може здійснюватися по відношенню до користувача та по відношенню до даних. Найбільш розповсюджений контроль доступу користувача – це процедура реєстрації, при якій користувачеві необхідно ввести свій ідентифікатор та пароль. Система ж дозволить увійти лише тоді, коли його ідентифікатор співпаде з відомим системі і коли користувач знає пароль, пов'язаний з цим ідентифікатором. Контроль доступу, орієнтований на дані, полягає в тому, що кожному користувачеві може відповідати профіль, в якому вказуються дозволені операції і режими доступу до файлів.

Кожній групі методів притаманні як переваги, так і недоліки. Зокрема методи виявлення аномалій вимагають використання машинного навчання або засобів штучного інтелекту, що ускладнює їх програмно-апаратну реалізацію. Сигнатурні та евристичні методи можуть розпізнати атаку тільки у випадку, коли вона вже відома, тобто мала місце раніше. Методи контролю доступу потребують використання додаткових криптографічних протоколів, щоб унеможливити злам паролю та ідентифікатору, а також можуть створювати складнощі за необхідності спільного доступу до тих чи інших даних різним користувачам.

Використання зазначених методів в комплексі дозволило б нівелювати недоліки однієї групи через переваги інших та підвищити ефективність захисту комп'ютерних даних в цілому. Проте використання гібридної системи, в якій були б задіяні усі перелічені групи методів, могло б привести до падіння продуктивності комп'ютерної системи через високу потребу у ресурсах. А тому, більш доцільним вважається створення системи захисту, в якій та чи інша група методів буде задіюватися ситуаційно, залежно від типу виявленої загрози.

Постановка задачі. Отже, для того, щоб прийняти рішення про задіювання того чи іншого методу, система захисту комп'ютерних даних має містити підсистему, яка буде розв'язувати задачу класифікації комп'ютерних загроз. І саме реалізації зазначеної класифікації присвячено дану статтю.

Модель класифікації комп'ютерних загроз. Серед усієї множини загроз можна виділити наступні групи [5, 6]:

- загрози, що спрямовані на дані у пам'яті;
- загрози, пов'язані з коректністю вхідних даних;
- загрози, пов'язані з нестійкістю комп'ютерної системи;
- загрози, пов'язані з рівнем привілеїв та доступу;
- загрози, пов'язані з відмовою обслуговування, зокрема у роботі мережі;
- загрози, пов'язані з атаками на систему;
- загрози, пов'язані з апаратними складовими.

Математично, це можна записати наступним правилом:

$$Y_i = \langle Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_7 \rangle,$$

де Y_1 – клас загроз, що спрямовані на дані у пам'яті; Y_2 – клас загроз, пов'язаних з коректністю вхідних даних; Y_3 – клас загроз, пов'язаних з нестійкістю комп'ютерної системи; Y_4 – клас загроз, пов'язаних з рівнем привілеїв та доступу; Y_5 – клас загроз, пов'язаних з відмовою обслуговування; Y_6 – клас загроз, пов'язаних з атаками на систему; Y_7 – клас загроз, пов'язаних з апаратними складовими; Y_i – клас поточної загрози.

Характеристики зазначених загроз можна представити у вигляді множини:

$$A = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_{19}\},$$

де a_1 – переповнення буфера в зв'язку з неправильною роботою з даними; a_2 – висячий покажчик (посилання на об'єкт, що був видалений); a_3 – помилка форматного рядка; a_4 – маніпулювання метасимволами командної оболонки; a_5 – проникнення в запити; a_6 – відкритий доступ до системних областей; a_7 – маніпуляція з користувацькими скриптами; a_8 – гонки файлів у багатозадачних системах; a_9 – ескаляція привілеїв; a_{10} – атака за допомогою символічних посилань; a_{11} – DOS-атака (проста або розподілена); a_{12} – підміна довіреного об'єкту мережі; a_{13} – нав'язування помилкового маршруту; a_{14} – аналіз мережного трафіку; a_{15} – сканування; a_{16} – неправильне конфігурування апаратних засобів; a_{17} – несанкціоноване використання закладок розробників; a_{18} – апаратне прослуховування середовища передачі даних; a_{19} – фізичний доступ до носіїв інформації.

При цьому, одна й та сама характеристика в різних обставинах, зокрема в комбінації з іншими характеристиками, може визначати собою різний клас загроз. Взаємозв'язки між характеристиками та класами загроз наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Взаємозв'язок характеристик загроз з класами загроз

	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}	a_{16}	a_{17}	a_{18}	a_{19}
Y_1	+	+														+	+	+	
Y_2			+	+	+	+	+			+								+	
Y_3			+	+			+	+									+		
Y_4						+		+	+	+							+		
Y_5	+	+	+					+	+		+	+	+			+			+
Y_6				+	+	+	+			+	+	+	+	+	+		+	+	+
Y_7																+	+	+	+

Причому треба враховувати, що в один момент часу можуть мати місце як один, так і кілька класів загроз, а характеристики можуть змінюватися в процесі прийняття рішення. І з їх зміною один клас загрози може перейти в інший або корелювати з ним.

На основі проведеної класифікації можна побудувати математичну модель класифікації загроз системою захисту комп'ютерних даних (1).

З аналізу побудованої моделі класифікації комп'ютерних загроз можна зробити висновки, що даній задачі притаманні наступні особливості:

- наявна велика кількість можливих рішень, що потребує певних затрат часу для розв'язку задачі шляхом повного перебору усіх наявних варіантів. Крім того, вхідні дані можуть змінюватись у процесі розв'язку задачі, а при зміні хоча б одного значення необхідно перебирати усі наявні варіанти спочатку;
- вхідні дані важко представити у вигляді числових даних, а тому розв'язок задачі не може бути зведений до числових розрахунків.

Отже, задача класифікації загроз комп'ютерним даним належить до важко формалізованих задач [7]. Застосування для її розв'язку традиційних математичних методів є недоцільним. Тому, виходячи з особливостей вищевказаної задачі для її вирішення доцільно використати методи інтелектуального аналізу, зокрема динамічні дерева рішень.

$$Y_i = \left\{ \begin{array}{l}
 Y_1, \text{ якщо } A' = \{a_1, a_2, a_{16}, a_{17}, a_{18}\} \\
 Y_2, \text{ якщо } A' = \{a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_{10}, a_{18}\} \\
 Y_3, \text{ якщо } A' = \{a_3, a_4, a_7, a_8, a_{17}\} \\
 Y_4, \text{ якщо } A' = \{a_6, a_8, a_9, a_{10}, a_{17}\} \\
 Y_5, \text{ якщо } A' = \{a_1, a_2, a_3, a_8, a_9, a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{16}, a_{19}\} \\
 Y_6, \text{ якщо } A' = \{a_4, a_5, a_6, a_7, a_{10}, a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{14}, a_{15}, a_{17}, a_{18}, a_{19}\} \\
 Y_7, \text{ якщо } A' = \{a_{16}, a_{17}, a_{18}, a_{19}\} \\
 Y_1 \cup Y_2, \text{ якщо } A' = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_{10}, a_{16}, a_{17}, a_{18}\} \\
 Y_1 \cup Y_3, \text{ якщо } A' = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_7, a_8, a_{16}, a_{17}, a_{18}\} \\
 Y_1 \cup Y_4, \text{ якщо } A' = \{a_1, a_2, a_6, a_8, a_9, a_{10}, a_{16}, a_{17}, a_{18}\} \\
 Y_1 \cup Y_5, \text{ якщо } A' = \{a_1, a_2, a_3, a_8, a_9, a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{16}, a_{17}, a_{18}, a_{19}\} \\
 Y_1 \cup Y_6, \text{ якщо } A' = \{a_1, a_2, a_4, a_5, a_6, a_7, a_{10}, a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{14}, a_{15}, a_{16}, a_{17}, a_{18}, a_{19}\} \\
 Y_1 \cup Y_7, \text{ якщо } A' = \{a_1, a_2, a_{16}, a_{17}, a_{18}, a_{19}\} \\
 Y_2 \cup Y_3, \text{ якщо } A' = \{a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, a_{10}, a_{17}, a_{18}\} \\
 Y_2 \cup Y_4, \text{ якщо } A' = \{a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, a_9, a_{10}, a_{17}, a_{18}\} \\
 Y_2 \cup Y_5, \text{ якщо } A' = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, a_9, a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{16}, a_{18}, a_{19}\} \\
 Y_2 \cup Y_6, \text{ якщо } A' = \{a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_{10}, a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{14}, a_{15}, a_{17}, a_{18}, a_{19}\} \\
 Y_2 \cup Y_7, \text{ якщо } A' = \{a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_{10}, a_{16}, a_{17}, a_{18}, a_{19}\} \\
 Y_3 \cup Y_4, \text{ якщо } A' = \{a_3, a_4, a_6, a_7, a_8, a_9, a_{10}, a_{17}\} \\
 Y_3 \cup Y_5, \text{ якщо } A' = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_7, a_8, a_9, a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{16}, a_{17}, a_{19}\} \\
 Y_3 \cup Y_6, \text{ якщо } A' = \{a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, a_{10}, a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{14}, a_{15}, a_{17}, a_{18}, a_{19}\} \\
 Y_3 \cup Y_7, \text{ якщо } A' = \{a_3, a_4, a_7, a_8, a_{16}, a_{17}, a_{18}, a_{19}\} \\
 Y_4 \cup Y_5, \text{ якщо } A' = \{a_1, a_2, a_3, a_6, a_8, a_9, a_{10}, a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{16}, a_{17}, a_{19}\} \\
 Y_4 \cup Y_6, \text{ якщо } A' = \{a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, a_9, a_{10}, a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{14}, a_{15}, a_{17}, a_{18}, a_{19}\} \\
 Y_4 \cup Y_7, \text{ якщо } A' = \{a_6, a_8, a_9, a_{10}, a_{16}, a_{17}, a_{18}, a_{19}\} \\
 Y_5 \cup Y_6, \text{ якщо } A' = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, a_9, a_{10}, a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{14}, a_{15}, a_{17}, a_{18}, a_{19}\} \\
 Y_5 \cup Y_7, \text{ якщо } A' = \{a_1, a_2, a_3, a_8, a_9, a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{16}, a_{17}, a_{18}, a_{19}\} \\
 Y_6 \cup Y_7, \text{ якщо } A' = \{a_4, a_5, a_6, a_7, a_{10}, a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{14}, a_{15}, a_{17}, a_{18}, a_{19}\}
 \end{array} \right. \quad (1)$$

де A' – множина характеристик, що характеризують поточну загрозу.

Висновки

В статті було розглянуто загрози комп'ютерним даним у комп'ютерних системах та проведено їх класифікацію. На основі класифікації було запропоновано математичну модель визначення класу поточної загрози.

Зазначена модель є основою для створення підсистеми класифікації загроз системи захисту комп'ютерних даних, яка буде базуватися на методах інтелектуального аналізу, зокрема динамічних деревах рішень. Впровадження даної підсистеми підвищить ефективність системи захисту комп'ютерних даних та дозволить уникнути великих затрат у комп'ютерних ресурсах під час функціонування зазначеної системи.

Література

- Семененко, В.А. Информационная безопасность / В.А. Семененко. – М. : МГИУ, 2011. – 277 с. – ISBN 5-276-00872-8
- Баранова Е.К. Информационная безопасность и защита информации : учеб. пособие / Е.К. Баранова, А.В. Бабаш. – М. : РИОР: ИНФРА-М, 2017. – 322 с. – ISBN: 978-5-369-01450-9
- Нестеров С.А. Основы информационной безопасности / С.А. Нестеров. – М. : Изд. «Лань», 2016. – 324 с. – ISBN: 978-5-8114-2290-6
- Бирюков А.А. Информационная безопасность. Защита и нападение / А.А. Бирюков. – М. : ДМКПресс, 2017. – 434 с. – ISBN: 978-5-97060-435-9
- Корпань Я.В. Класифікація загроз інформаційній безпеці в комп'ютерних системах при віддаленій обробці даних / Я.В. Корпань // Мир науки и инноваций. – Иваново, Научный мир, 2015. – Т. 17, № 2. – С. 39–46.
- Корпань Я.В. Комплекс методів і засобів захисту інформації у комп'ютерних системах / Я.В. Корпань // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2015. – Вып. 1. – Т. 3 2. – С. 31–35.
- Локазюк В. М. Засади систем підтримки прийняття рішень на основі комп'ютерних систем та їх компонентів : навч. посіб. / В. М. Локазюк, О. В. Иванов, В. Ю. Тітова ; Хмельниц. нац. ун-т. – Хмельницький : Гонта А.С., 2010. – 338 с.

References

- Semenenko, V.A. Informacionnaya bezopasnost / V.A. Semenenko. – M. : MGIU, 2011. – 277 с. – ISBN 5-276-00872-8
- Baranova E.K. Informacionnaya bezopasnost i zashita informacii : ucheb. posobie / E.K. Baranova, A.V. Babash. – M. : RIOR: INFRA-M, 2017. – 322 s. – ISBN: 978-5-369-01450-9
- Nesterov S.A. Osnovy informacionnoj bezopasnosti / S.A. Nesterov. – M. : Izd. «Lan», 2016. – 324 s. – ISBN: 978-5-8114-2290-6
- Biryukov A.A. Informacionnaya bezopasnost. Zashita i napadenie / A.A. Biryukov. – M. : DMKPress, 2017. – 434 s. – ISBN: 978-5-97060-435-9
- Korpan Ya.V. Klyasifikatsiia zahroz informatsiinii bezpetsi v kompiuternykh systemakh pry viddalenii obrobtsi danykh / Ya.V. Korpan // Myr nauky u ynnovatsiy. – Yvanovo, Nauchnyi myr, 2015. – T. 17, № 2. – S. 39–46.
- Korpan Ya.V. Kompleks metodiv i zasobiv zakhystu informatsii u kompiuternykh systemakh / Ya.V. Korpan // Reiestratsiia, zberihannia i obrobka danykh. – 2015. – Вып. 1. – Т. 3 2. – S. 31–35.
- Lokaziuk V. M. Zasadny system pidtrymky pryiniattia rishen na osnovi kompiuternykh system ta yikh komponentiv : navch. posib. / V. M. Lokaziuk, O. V. Ivanov, V. Yu. Titova ; Khmelnyts. nats. un-t. – Khmelnytskyi : Honta A.S., 2010. – 338 с.

Рецензія/Peer review : 25.5.2020 р.

Надрукована/Printed : 16.6.2020 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

ПОБУДОВА МОДЕЛІ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ВІРТУАЛЬНОЇ СПІЛЬНОТИ НА ОСНОВІ МЕРЕЖІ ПЕТРІ

В статті розроблено мережеву модель організації життєвого циклу віртуальної спільноти на основі мережі Петрі. Розроблена мережа використовується для відображення зв'язків між елементами організації життєвого циклу віртуальних спільнот та покращення організації паралельних процесів життєвого циклу. Побудована мережа організації життєвого циклу віртуальних спільнот на основі мережі Петрі дає змогу підвищити ефективність управління діяльністю спільнотами.

Ключові слова: віртуальні спільноти, життєвий цикл, показники завдань, напрями, мережа Петрі.

O. TRACH

Lviv Polytechnic National University

BUILDING MODELS OF VIRTUAL COMMUNITY LIFE CYCLE BASED ON THE PETRI NETWORK

The article present network model of the virtual community life cycle organizing based on the Petri nets. Petri nets are good solutions for solving applied problems, modelling business processes, modelling systems and projects. A plurality of passages of the virtual community life cycle organizing is organizing stages of the life cycle. Transitions of the virtual community life cycle organizing are that is performance of tasks of directions. The functions of inputs and outputs and the top of the model of the stage of the virtual community life cycle organizing are presented. The developed network is used to display the links between the elements of the organization of the virtual community life cycle organizing and to improve the organization of parallel life cycle processes. A network for the virtual community life cycle organizing based on the Petri net has been built, which allows to increase the efficiency of community management.

Keywords: virtual community, life cycle, indicators of tasks, directions, Petri network.

Вступ

Віртуальні спільноти як один з елементів соціальних сервісів формують значну частину інтернет-простору та є невід'ємним елементом для комунікації у глобальній мережі Інтернет.

Віртуальна спільнота – соціальне об'єднання людей у мережі Інтернет, учасники якого взаємодіють один з одним.

Основою для здійснення організаційних та комунікаційних функцій віртуальної спільноти є учасники та інформаційне наповнення. Учасники – зареєстровані у віртуальній спільноті користувачі мережі Інтернет, які взаємодіють у спільноті та формують інформаційне наповнення. Інформаційне наповнення – дописи, дискусії та інші інформаційні повідомлення (текстові, графічні, аудіо та відео), що їх створили учасники віртуальної спільноти.

Віртуальна спільнота, як один з типів проекту, має свій життєвий цикл з рядом етапів та напрямів. Управління віртуальною спільнотою, як і є проектом, має ряд завдань, послідовність виконання яких є згідно організації життєвого циклу віртуальних спільнот. Мережі Петрі застосовуються для відображення паралельних процесів при моделюванні складних та великих проектів та є основним інструментом для моделювання у проектних роботах. Виконуючи завдання організації життєвого циклу віртуальних спільнот необхідно виконати завдання на етапі з усіх напрямів паралельними процесами [1, 2]. Запропонована у цій роботі мережева модель дає змогу розробити графік виконання завдань у вигляді мережі Петрі, їх послідовність та залежність один від одного між етапами організації життєвого циклу віртуальної спільноти.

Аналіз досліджень та публікацій

Графічним представленням мережі Петрі моделювання будь-якого процесу є візуально легким для сприйняття. Велика кількість аналізу та типів мереж Петрі є актуальним при моделюванні. Тож, апарат мереж Петрі вдало застосовують для моделювання бізнес-процесів, де можливе представлення робіт за допомогою потоків та умов.

Розфарбовані мережі Петрі вдало застосовують для відображення системи логістичних бізнес-процесів та моделювання соціально-економічних систем [3–5]. Дослідники у своїх роботах [6–8] пропонують інтегровані імітаційні моделі IT-проекту на основі модифікованої мережі Петрі, та пропонують інтерпретації компонентів імітаційної моделі, описують процеси симуляції на основі мережі Петрі.

Формулювання цілей

Мережі Петрі є вдалими рішеннями для розв'язання прикладних задач, моделювання бізнес-процесів, моделювання систем та проектів. І, власне, доцільно зобразити організації життєвого циклу віртуальної спільноти за допомогою мережі Петрі.

Виклад основного матеріалу

Враховуючи переваги представлення проектів за допомогою мереж та графів, доцільно представити організацію життєвого циклу віртуальних спільнот за допомогою мережі Петрі (рис. 1). Зображена мережа коли виконуються завдання з усіх напрямів, проте, вона може бути модифікована відповідно до створюваної спільноти.

Організація життєвого циклу віртуальних спільнот на основі Петрі має наступний вигляд:

$$N = (P, T, I, O) \tag{1}$$

де $P = \{p_0 \dots p_{47}\}$ – множина позицій, $T = \{t_1 \dots t_{17}\}$ – множина переходів, I – функція входів, O – функція виходів.

Множина переходів організації життєвого циклу віртуальної спільноти є наступними діями:

t_1 – перехід від етапу планування до етапу аналізу, t_2 – перехід до виконання етапу проектування, t_3 – перехід до виконання етапу розроблення, t_4 – перехід від етапу розроблення до процесу перевірки успішності створення віртуальної спільноти, t_5 – перехід до виконання етапу тестування, t_6 – перехід до виконання етапу впровадження, t_7 – перехід від етапу впровадження до перевірки успішності впровадження віртуальної спільноти, t_8 – перехід до виконання етапу експлуатація, t_9 – перехід від етапу експлуатації до перевірки успішності експлуатації, t_{10} – перехід до виконання етапу комплексної верифікації, t_{11} – перехід від етапу комплексної верифікації до перевірки на успішність комплексної верифікації, t_{12} – перехід до етапу невідкладного реінжинірингу, t_{13} – перехід від етапу невідкладного реінжинірингу до перевірки успішності виконання невідкладного реінжинірингу, t_{14} – перехід до виконання етапу консервація проекту, t_{15} – перехід від етапу консервації проекту до перевірки доцільності відновлення віртуальної спільноти, t_{16} – перехід до виконання етапу ліквідації, t_{17} – перехід до створення нової спільноти.

Позиціями організації життєвого циклу віртуальної спільноти є:

p_0 – планування створення віртуальної спільноти (визначення мети та завдань спільноти), p_1 – виконання завдань користувачького напрямку на етапі аналізу, p_2 – виконання завдань інформаційного напрямку на етапі аналізу, p_3 – виконання завдань репутаційного напрямку на етапі аналізу, p_4 – виконання завдань ресурсного напрямку на етапі аналізу, p_5 – виконання завдань користувачького напрямку на етапі проектування, p_6 – виконання завдань інформаційного напрямку на етапі проектування, p_7 – виконання завдань репутаційного напрямку на етапі проектування, p_8 – виконання завдань ресурсного напрямку на етапі проектування, p_9 – виконання завдань користувачького напрямку на етапі розробка, p_{10} – виконання завдань інформаційного напрямку на етапі розробка, p_{11} – виконання завдань репутаційного напрямку на етапі розробка, p_{12} – виконання завдань ресурсного напрямку на етапі розробка, p_{13} – перевірка успішності створення віртуальної спільноти, p_{14} – виконання завдань користувачького напрямку на етапі тестування, p_{15} – виконання завдань інформаційного напрямку на етапі тестування, p_{16} – виконання завдань репутаційного напрямку на етапі тестування, p_{17} – виконання завдань ресурсного напрямку на етапі тестування, p_{18} – виконання завдань користувачького напрямку на етапі впровадження, p_{19} – виконання завдань інформаційного напрямку на етапі впровадження, p_{20} – виконання завдань репутаційного напрямку на етапі впровадження, p_{21} – виконання завдань ресурсного напрямку на етапі впровадження, p_{22} – перевірка

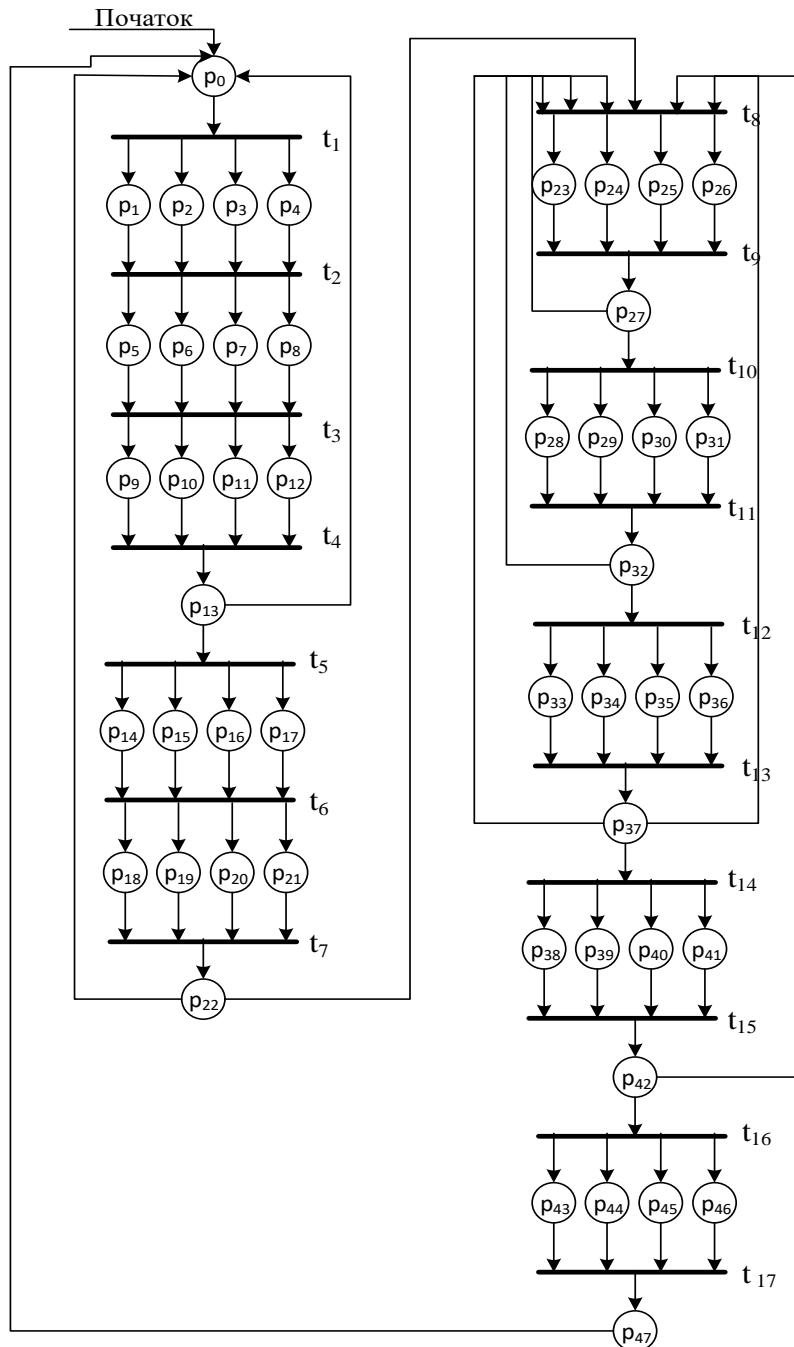


Рис. 1. Мережа Петрі ОЖЦВС

успішності впровадження віртуальної спільноти, p_{23} – виконання завдань користувацького напрямку на етапі експлуатації, p_{24} – виконання завдань інформаційного напрямку на етапі експлуатації, p_{25} – виконання завдань репутаційного напрямку на етапі експлуатації, p_{26} – виконання завдань ресурсного напрямку на етапі експлуатації, p_{27} – перевірка успішності експлуатації віртуальної спільноти, p_{28} – виконання завдань користувацького напрямку на етапі комплексної верифікації, p_{29} – виконання завдань інформаційного напрямку на етапі комплексної верифікації, p_{30} – виконання завдань репутаційного напрямку на етапі комплексної верифікації, p_{31} – виконання завдань ресурсного напрямку на етапі комплексної верифікації, p_{32} – перевірка успішності комплексної верифікації, p_{33} – виконання завдань користувацького напрямку на етапі комплексного реінжинірингу, p_{34} – виконання завдань інформаційного напрямку на етапі комплексного реінжинірингу, p_{35} – виконання завдань репутаційного напрямку на етапі комплексного реінжинірингу, p_{36} – виконання завдань ресурсного напрямку на етапі комплексного реінжинірингу, p_{37} – перевірка успішності реінжинірингу, p_{38} – виконання завдань користувацького напрямку на етапі консервації проекту, p_{39} – виконання завдань інформаційного напрямку на етапі консервації проекту, p_{40} – виконання завдань репутаційного напрямку на етапі консервації проекту, p_{41} – виконання завдань ресурсного напрямку на етапі консервації проекту, p_{42} – перевірка на доцільність відновлення віртуальної спільноти, p_{43} – виконання завдань користувацького напрямку на етапі ліквідації, p_{44} – виконання завдань інформаційного напрямку на етапі ліквідації, p_{45} – виконання завдань репутаційного напрямку на етапі ліквідації, p_{46} – виконання завдань ресурсного напрямку на етапі ліквідації, p_{47} – закриття проекту створення віртуальної спільноти.

Функції входів та виходів описуються наступним чином:

$$\begin{aligned}
 I(t_1) &= \{p_0\} & O(t_1) &= \{p_1, p_2, p_3, p_4\} \\
 I(t_2) &= \{p_1, p_2, p_3, p_4\} & O(t_2) &= \{p_5, p_6, p_7, p_8\} \\
 I(t_3) &= \{p_5, p_6, p_7, p_8\} & O(t_3) &= \{p_9, p_{10}, p_{11}, p_{12}\} \\
 I(t_4) &= \{p_9, p_{10}, p_{11}, p_{12}\} & O(t_4) &= \{p_{13}\} \\
 I(t_5) &= \{p_{13}\} & O(t_5) &= \{p_{14}, p_{15}, p_{16}, p_{17}\} \\
 I(t_6) &= \{p_{14}, p_{15}, p_{16}, p_{17}\} & O(t_6) &= \{p_{18}, p_{19}, p_{20}, p_{21}\} \\
 I(t_7) &= \{p_{18}, p_{19}, p_{20}, p_{21}\} & O(t_7) &= \{p_{22}\} \\
 I(t_8) &= \{p_{22}, p_{27}, p_{32}, p_{37}, p_{42}\} & O(t_8) &= \{p_{23}, p_{24}, p_{25}, p_{26}\} \\
 I(t_9) &= \{p_{23}, p_{24}, p_{25}, p_{26}\} & O(t_9) &= \{p_{27}\} \\
 I(t_{10}) &= \{p_{27}\} & O(t_{10}) &= \{p_{28}, p_{29}, p_{30}, p_{31}\} \\
 I(t_{11}) &= \{p_{28}, p_{29}, p_{30}, p_{31}\} & O(t_{11}) &= \{p_{32}\} \\
 I(t_{12}) &= \{p_{32}\} & O(t_{12}) &= \{p_{33}, p_{34}, p_{35}, p_{36}\}
 \end{aligned}$$

Вершина моделі виконання етапу організації життєвого циклу віртуальних спільнот матиме такий вигляд (рис. 2):

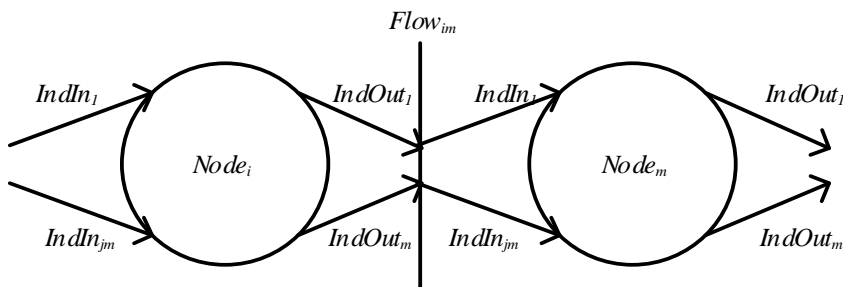


Рис. 2. Вершина моделі організації життєвого циклу віртуальної спільноти

Цей вигляд вершини мережевої моделі характерний для кожного з етапів організації життєвого циклу віртуальної спільноти.

Організацію життєвого циклу віртуальної спільноти варто представити за допомогою мережевої моделі проекту. Ця модель побудована на основі мережі Петрі

$$C = \langle Node, Flow \rangle, \tag{2}$$

Для виконання завдань напрямів життєвого циклу віртуальних спільнот формуються показники, які становлять потік:

$$Flow = \{Flow_{ij}\}_{ij=1}^{N_i^{Node}}, \tag{3}$$

Цей потік представлений кортежем з такими елементами:

$$Flow_{ij} = \langle IndR_{ij}, IndT_{ij} \rangle, \quad (4)$$

де $IndR_{ij} \subset IndOut_{ij} \times IndIn_{ij}$ – зв'язки вхідних та вихідних показників напрямів організації життєвого циклу віртуальних спільнот.

$IndT_{ij}$ – встановлені менеджером організації життєвого циклу віртуальної спільноти правила трансформації вихідних показників, сформованих на попередньому етапі, у вхідні показники наступного етапу. Трансформація показників полягає у відхиленні непотрібних показників.

Вузол графу містить:

$$Node = \{Node_i\}_{i=1}^{N^{Node}}, \quad (5)$$

множина вузлів мережевої моделі організації життєвого циклу віртуальних спільнот, $Node_i$ – i -й вузол графу, N^{Node} – кількість вузлів графу організації життєвого циклу віртуальних спільнот.

Формально i -й вузол мережевої моделі організації життєвого циклу віртуальних спільнот подано так:

$$Node_i = \left\langle \begin{array}{l} IndInNode_i, TaskNode_i, \\ IndPlanNode_i, IndOutNode_i \end{array} \right\rangle, \quad (6)$$

де $TaskNode_i = \{Task_{ik}\}_{k=1}^{N_i^{Node}}$ – множина завдань напрямку життєвого циклу віртуальних спільнот на вузлі, N_i^{Node} – кількість завдань i -го вузла; $IndPlanNode_i = \{IndPlan_{ik}\}_{k=1}^{N_i^{Node}}$ – множина планових

показників завдань напрямку життєвого циклу віртуальних спільнот на вузлі, N_i^{Node} – кількість завдань i -го вузла; $IndOutNode_j = \{IndOut_{jk}\}_{k=1}^{N_j^{Flow}}$ – множина вихідних показників для виконання завдань напрямку організації життєвого циклу віртуальних спільнот, N_k^{Flow} – кількість вихідних показників k -го завдання;

$IndInNode_j = \{IndIn_{jk}\}_{k=1}^{N_j^{Flow}}$ – множина вхідних показників для виконання завдань напрямку організації життєвого циклу віртуальних спільнот, N_k^{Flow} – кількість вхідних показників k -го завдання.

Висновки

Представлено мережеву модель організації життєвого циклу віртуальної спільноти на основі мережі Петрі. Представлена мережа використовується для відображення зв'язків між елементами організації життєвого циклу віртуальних спільнот та покращення організації паралельних процесів життєвого циклу. Побудована мережа організації життєвого циклу віртуальних спільнот на основі мережі Петрі дає змогу підвищити ефективність управління діяльністю спільнотами.

Література

1. Trach O. Development of Models and Methods of Virtual Community Life Cycle Organization / O. Trach, A. Peleshchyshyn // In: Hu Z., Petoukhov S., He M. (eds) Advances in Artificial Systems for Medicine and Education II. AIMEE2018 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 902. Springer, Cham. – P. 473–483.
2. Trach O. Development of directions tasks indicators of virtual community life cycle organization / O. Trach, A. Peleshchyshyn // Proceedings of the XIth International Scientific and Technical Conference "Computer Sciences and Information Technologies" (CSIT-2017). – Lviv, 05–08 September 2017. – 2017. – P. 127–130.
3. Мельник Г. Моделювання логістичних бізнес-процесів з використанням розфарбованих мереж Петрі / Г. Мельник, В. Скіцько // Математичні методи, моделі та інформаційні технології в економіці. – 2015. – С. 429–443.
4. Котов В.Е. Сети Петри / В. Е. Котов. – М. : Наука. Главная редакция математической литературы, 1984. – С. 160.
5. Clark W. The Gantt chart, a working tool of management / W. Clark, H. Gantt // New York: Ronald Press, 1922.
6. Ландэ Д.В. Гиперкомплексный подход к моделированию репутации в социальных сетях / Д.В. Ландэ, Я.А. Калиновский, Ю.Е. Бояринова // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2013. – № 3(15). – С. 29–38.
7. Peng W. Optimization algorithms of PERT network diagram in software project management system / W. Peng // Applied Mechanics and Materials. – Vols. 321–324 (2013). – P. 2056–2059.
8. Возний О.М. Імітаційне моделювання ІТ-проектів на основі мереж Петрі / О.М. Возний,

К.В. Кошкін, Н.Р. Книрик // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами. – Х. : НТУ «ХПІ», 2015. – № 1 (1110). – С. 24–28.

References

1. Trach O., Peleshchyshyn A. Development of Models and Methods of Virtual Community Life Cycle Organization. In: Hu Z., Petoukhov S., He M. (eds) *Advances in Artificial Systems for Medicine and Education II. AIMEE2018 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 902. Springer, Cham, 2020, pp 473–483.
2. Trach O., Peleshchyshyn A. Development of directions tasks indicators of virtual community life cycle organization. *Proceedings of the XIth International Scientific and Technical Conference "Computer Sciences and Information Technologies" (CSIT-2017)*. Lviv, 05-08 September 2017, 2017, P. 127–130.
3. Melnyk G., Skitsko V. Modeling of logistics business processes using colored Petri nets. *Mathematical methods, models and information technologies in economics*, 2015, pp. 429–443.
4. Kotov V. *Petri nets*. М.: Nauka. The main edition of mathematical literature, 1984. P. 160.
5. Clark W., Gantt H. *The Gantt chart, a working tool of management*. New York: Ronald Press, 1922.
6. Lande D., Kalinovsky J., Boyarinova Yu. Hypercomplex approach to reputation modeling in social networks. *Registration, storage and data processing*, 2013, N 3 (15), p. 29-38.
7. Peng W. Optimization algorithms of PERT network diagram in software project management system. *Applied Mechanics and Materials*, Vols. 321–324 (2013), P. 2056–2059.
8. Vozny O., Koshkin K., Knyrik N. Simulation of IT projects based on Petri nets. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Strategic management, portfolio management, programs and projects*, 2015, № 1 (1110), P. 24–28.

Рецензія/Peer review : 27.4.2020 р.

Надрукована/Printed : 16.6.2020 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

ОПІРНІСТЬ ВТОМНОМУ РУЙНУВАННЮ ЗА ЧИСТОГО ЗГИНУ ТА ТВЕРДІСТЬ ТОНКОЛИСТОВОГО МАТЕРІАЛУ ЗІ СПЛАВУ Zr-1%Nb ПІСЛЯ МОДИФІКУВАННЯ ПРИПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ДОМІШКАМИ ПРОНИКНЕННЯ

Особливе місце в ядерній енергетиці займають конструкційні матеріали для активної зони ядерних реакторів. До таких матеріалів належать, насамперед, цирконієві сплави. В процесі експлуатації цирконієві вироби зазнають втомного навантаження. Значний вплив на втомну довговічність здійснює структурно-фазовий стан приповерхневого шару. Тому хіміко-термічна обробка є хорошим інструментом для досягнення бажаного стану приповерхневого шару. У роботі наведено експериментальні результати обробки тонколистового матеріалу (~1 мм) з цирконієвого сплаву Zr-1%Nb з кисневмісного середовища та вакууму. Показано відмінності твердості приповерхневого шару після обробок у різних газових середовищах (вакуум, кисень). Виявлено, що обробка в кисневмісному газовому середовищі призводить до підвищення твердості поверхні. Встановлено, що обробка у кисневмісному газовому середовищі призводить до формування у приповерхневому шарі градієнту твердості. Наведено розподіл кисню у приповерхневому шарі після обробок. Розглянуто вплив модифікування приповерхневого шару киснем з газового середовища на втомну довговічність за симетричного чистого згину тонколистового матеріалу (~1 мм) з цирконієвого сплаву Zr-1%Nb. Експериментально підтверджено, що наявність зміцненого приповерхневого шару киснем призводить до підвищення кількості циклів до руйнування. Показано, що втомна довговічність досліджуваного матеріалу, збагаченого киснем, чутлива до рівня амплітуди деформації. Встановлено, що зі зменшенням амплітуди деформації ($\pm \varepsilon_a = 0,9\% \dots 0,7\%$) за симетричного чистого згину кількість циклів до руйнування зростає по відношенню до обробленого у вакууму за тих же температурно-часових параметрів. Запропонована обробка має низку переваг перед іншими способами. Насичення киснем з контрольованого газового середовища забезпечує обробку деталей складної конфігурації та відтворюваність результатів обробок. Результати, отримані в ході дослідження, дозволяють зробити висновок про перспективність використання такої обробки ведення в технологічний процес остаточної термічної обробки тонколистового цирконієвого матеріалу.

Ключові слова: цирконієвий сплав, газове середовище, приповерхневий шар, кисень, втомна довговічність, чистий згин.

V.S. TRUSH

Karpenko Physic-Mechanical Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine

RESISTANCE TO FATIGUE FRACTURE AT A PURE BENDING AND HARDNESS OF THIN-SHEET MATERIAL FROM THE ZR-1% Nb ALLOY AFTER MODIFICATION OF THE SURFACE LAYER BY ELEMENTS INTERSTITIAL

A special place in nuclear energy is occupied by structural materials for the core of nuclear reactors. Such materials include, first of all, zirconium alloys. During operation, zirconium products experience fatigue loads. A significant effect on the fatigue life has a structural-phase state of the surface layer. Therefore, chemical-thermal treatment is a good tool to achieve the desired state of the surface layer. The experimental results of processing sheet material (~ 1 mm) from zirconium alloy Zr-1% Nb from an oxygen-containing medium and vacuum are presented. The differences in the hardness of the surface layer after treatments of various gaseous media (vacuum, oxygen) are shown. It was found that treatment in an oxygen-containing gas medium leads to an increase in surface hardness. It was revealed that treatment in an oxygen-containing gas medium leads to the formation of a hardness gradient in the surface layer. The distribution of oxygen in the surface layer after treatments is given. The effect of surface layer modification by oxygen from a gaseous medium on fatigue life under symmetric pure bending of a sheet material (~ 1 mm) made of zirconium alloy Zr-1% Nb is considered. It was experimentally confirmed that the presence of a strengthened surface layer with oxygen leads to an increase in the number of cycles to failure. It was shown that the fatigue life of the studied material enriched with oxygen is sensitive to the level of strain amplitude. It has been established that by decreasing the strain amplitude ($\pm \varepsilon_a = 0.9\% \dots 0.7\%$) with symmetric clean bending, the number of cycles to failure increases with respect to the machined in vacuum at the same temperature and time parameters. The proposed treatment has several advantages over other methods. Saturation with oxygen from a controlled gas environment provides the processing of parts of complex configuration and reproducibility of the treatment results. The results obtained during the study allow us to conclude that it is promising to use such a lead treatment in the process of final heat treatment of zirconium sheet material.

Key words: zirconium alloy, gaseous medium, surface layer, oxygen, fatigue life, pure bending.

Вступ

Цирконієві сплави широко застосовуються як конструкційний матеріал у атомній промисловості для виготовлення оболонок паливних елементів – твелів [1, 2]. Експлуатаційна надійність цих конструкцій – важливий елемент надійності усього паливного циклу, враховуючи, що конструкції працюють за підвищених температур. На втомну міцність металів суттєво впливають такі фактори, як шорсткість поверхні, поверхневі напруження (розтягувальні чи стискальні), фазово-структурний стан приповерхневого шару (кількість та дисперсність фаз, густина дислокацій та їх розподіл, тощо). Вплив перших двох факторів на втомну міцність досить добре вивчений. Роль третього фактору, фазово-структурного стану приповерхневого шару, менш ясна через його складність та різноманітність, особливо в цирконієвих сплавах

[3–6]. Одним із шляхів цілеспрямованого формування фазово-структурно стану приповерхневого шару металу є хіміко-термічна обробка.

Особливе практичне значення має розчинність домішок проникнення (кисню, азоту, водню) у цирконії. Згідно з діаграмою станів найбільшу розчинність в α -цирконії має кисень – 28% ат., азот – 22% ат. і найменшу водень – 7% ат. [7–9]. Висока розчинність кисню в цирконії робить сплави системи «Zr-O» дуже перспективними з точки зору практичного використання легування киснем, як методу управління структурою й властивостями цирконію та його сплавів. З елементів втілення в цирконії тільки кисень розглядається не тільки як шкідлива домішка, але і як легувальний елемент.

Постановка завдання. Встановити вплив поверхневого шару модифікованого киснем з газового середовища на опірність втомному руйнуванню за чистого згину та твердість тонколистового матеріалу з сплаву Zr-1%Nb.

Виклад основного матеріалу

Зразок для втомних випробувань було вирізано з тонколистового (~1 мм) матеріалу Zr-1%Nb (рис. 1).

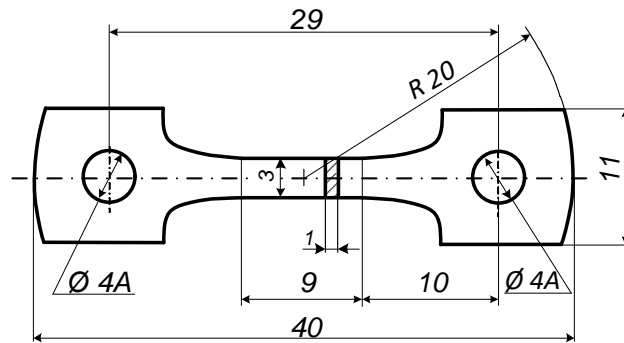


Рис. 1. Зразок для втомних випробувань

Для насичення киснем приповерхневого цирконієвого сплаву Zr-1Nb використано установку для відпалу в вакуумі та контрольованих газових середовищах. Обробку у газовому середовищі проводили за двома режимами: у вакуумі ($T = 580^\circ\text{C}$, $\tau = 3$ год., $P = 1,33 \cdot 10^{-3}$ Па) – режим R1 та у кисневмісному газовому середовищі ($T = 580^\circ\text{C}$, $\tau = 0,5$ год., $P = 1,33$ Па + $T = 580^\circ\text{C}$, $\tau = 2,5$ год., $P = 1,33 \cdot 10^{-2}$ Па) – режим R2. Режим обробки вибирали з міркувань суміщення його з штатним фінішним режимом обробки, який використовується для цирконієвого сплаву. Розподіл мікротвердості по перетину зразків визначали на приладі ПМТ–3М за навантаження 0,49 Н.

Згідно з отриманими результатами досліджень (рис. 2а) твердість поверхні після різних режимів обробок змінюється. Після режиму R1 твердість поверхні становить $HV_{0,49} = 290 \pm 25$, а після обробки у кисневмісній суміші $HV_{0,49} = 540 \pm 40$, а розмір зміцненого шару становить 15 мкм і 35 мкм відповідно. Твердість серцевини матеріалу $HV_{0,49} = 220 \pm 30$. Згідно з результатами рентгенівського фазового аналізу поверхні зразків обробка за різних режимів призводить лише до зміни інтенсивності рефлексів (рис. 2б). Найбільшу інтенсивність рефлексів після обробки у високому вакуумі (режим R1) можна пояснити наступним чином. Дана обробка R1 забезпечує зняття текстури прокатки та розчинення оксидної плівки.

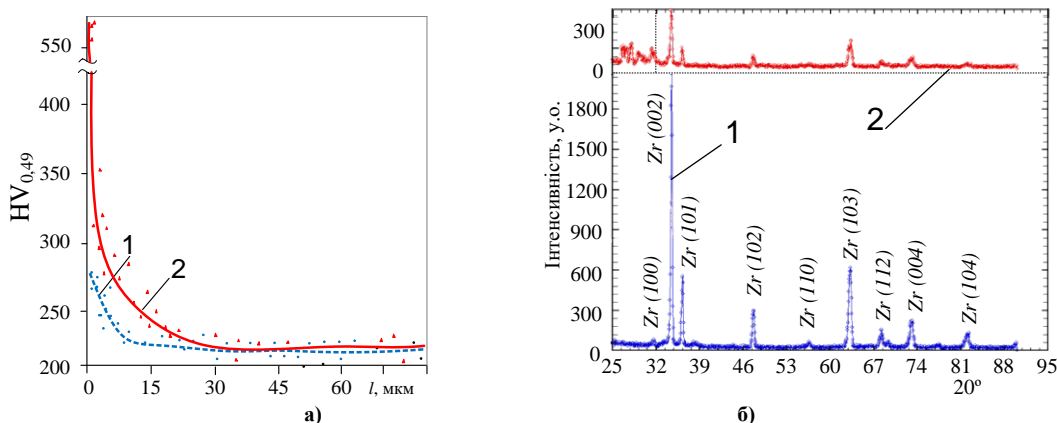


Рис. 2. Твердість приповерхневого шару (а) та дифрактограми (б), зняті з поверхні сплаву Zr1%Nb після обробок за різними режимами: 1 – режим R1, 2 – режим R2

Враховуючи, те що обробку цирконієвого сплаву Zr-1%Nb проводили у контрольованому кисневмісному середовищі, цілком справедливо очікувати, що у приповерхневий шар дифундує певна кількість кисню. Інтегральною характеристикою, що вказує на наявність кисню у приповерхневому шарі зразка є твердість (рис. 2). Результати електронно-мікроскопічних досліджень також підтверджують збільшення доли кисню у приповерхневому шарі зразка, обробленого за режимом R2 (рис. 3), у той час як

для зразка, обробленого за режимом **R1**, розподіл кисневої компоненти у приповерхневому шарі є рівномірним.

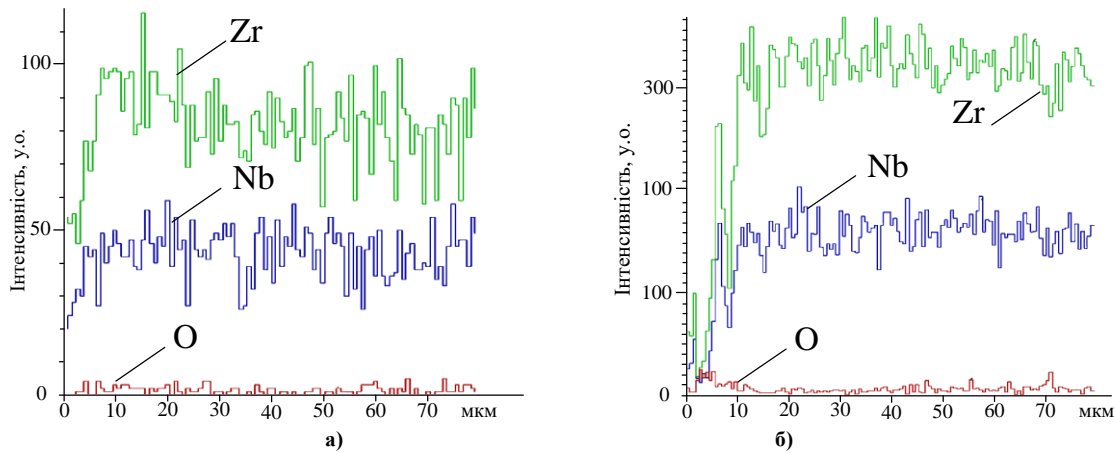


Рис. 3. Розподіл елементів по перерізу у характеристичному випромінюванні зразків цирконієвого сплаву Zr-1%Nb після обробки за режимами **R1** (а) та **R2** (б)

Втомна довговічність сплаву Zr1%Nb є чутливою характеристикою до параметрів зміцнених приповерхневих шарів. Згідно з результатами випробувань обробка за режимом **P2** (комбінація в одному режимі обробки двох ступенів розрідження: $P = 1,33$ Па протягом $\tau = 0,5$ год. та $P = 1,33 \cdot 10^{-2}$ Па протягом $\tau = 2,5$ год.) у порівнянні з обробкою у високому вакуумі за режимом **P1** позитивно вплинула на втомну довговічність тонколистового матеріалу (~ 1 мм) зі сплаву Zr1%Nb за чистого згину в діапазоні амплітуди деформації $\pm \epsilon_a = 0,8 \dots 1,0\%$ (рис. 4).

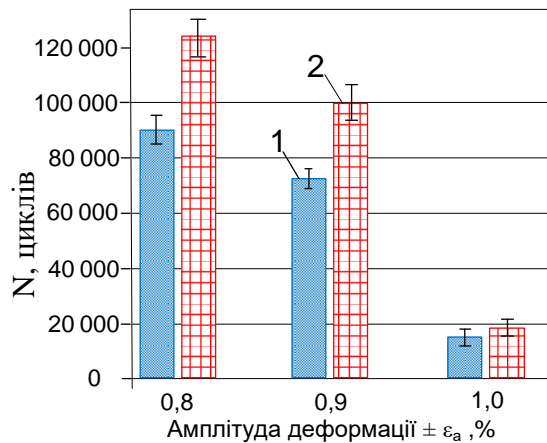


Рис. 4. Втомна довговічність зразків цирконієвого сплаву Zr-1%Nb за різної амплітуди деформації після обробки за режимами **R1** (1) та **R2** (б)

Підвищення опірності руйнуванню після обробки **R2** спричинено тим, що у приповерхневому шарі сформовано сприятливий градієнт твердості (приріст твердості поверхні становить $\Delta HV_{0,49} = 320$, а глибина зміцненого шару ~ 35 мкм), а відтак і сприятливий градієнт стискальних напружень.

Висновки

Наведено експериментальні результати твердості поверхні та розподілу твердості по перерізу зразків цирконієвого сплаву Zr-1%Nb після обробок у вакуумі та кисневмісному газовому середовищі ($T = 580^\circ\text{C}$, $\tau = 3$ год.). Наведено вплив обробок на втомну довговічність за чистого згину досліджуваного сплаву.

1. Встановлено, що твердість поверхні після обробки у вакуумному середовищі становить $HV_{0,49} = 290 \pm 25$, а після обробки у кисневмісній газовій суміші $HV_{0,49} = 540 \pm 40$, а розмір зміцненого шару становить ~ 15 мкм і ~ 35 мкм відповідно.

2. Електронно-мікроскопічними дослідженнями виявлено збільшення долі кисню у приповерхневому шарі зразка, обробленого у кисневмісному середовищі, у той час як для зразка, обробленого у вакуумі, розподіл кисневої компоненти у приповерхневому шарі є рівномірним.

3. Встановлено, що втомна довговічність сплаву Zr1%Nb за чистого згину зразків в діапазоні амплітуди деформації $\pm \epsilon_a = 0,8 \dots 1,0\%$ зі зміцненим поверхневим шаром, що сформований після обробки у кисневмісному газовому середовищі, є більша по відношенню до зразків, оброблених у вакуумі.

Література

1. Lemaignan C. Zirconium Alloys in Nuclear Applications / Lemaignan C. and Motta A.T. // *Materials Science and Technology*. – 2006. – P. 2–51.
2. Ядерная энергетика. Глава 2. Ядерная энергетика : [учебное пособие / Азаренков Н.А., Булавин Л.А., Залобовский И.И., Кириченко В. Г., Неклюдов И. М.]. – Х. : ХНУ имени В. Н. Каразина, 2012. – 535 с.
3. Lee D. Effect of oxygen on the fatigue behavior of Zircaloy / D. Lee, P.T. Hill // *Journal of Nuclear Materials* 60. – 1976. – P. 227–230.
4. Trush V. Effect oxidation and nitriding on the properties of zirconium alloys / V. Trush // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2017. – 2/11 (86) – P. 34–42.
5. Chernyaeva, T.P., Stukalov, A.I., & Gritsina, V.M. (2002). Effect of oxygen on the mechanical properties of zirconium. *Problems of Atomic Science and Technology*. 1(12). 96–102.
6. Nikulin, S.A., Rozhnov, A.B., & Gusev, A.Yu., et al. (2004). Fracture resistance of Zr-Nb alloys under low-cycle fatigue tests. *Journal of Nuclear Materials*, 446, 1–3, 10–14.
7. Jin Zhang, Artem R. Oganov, Xinfeng Li, Huafeng Dong, and Qingfeng Zeng. Novel compounds in the Zr-O system, their crystal structures and mechanical properties. *Phys. Chem. Phys.*, 2015.
8. Anghel C. Modified oxygen and hydrogen transport in Zr-based oxides. Doctoral Thesis Division of Corrosion Science Department of Materials Science and Engineering Royal Institute of Technology. Stockholm, Sweden, 2006. 256 p.
9. Gribaudo L., Arias D., Abriata J. The N-Zr (Nitrogen-Zirconium) system. *Journal of Phase Equilibria*. 1994. Vol. 15. No. 4. P. 441–449.

References

1. Lemaignan C. Zirconium Alloys in Nuclear Applications / Lemaignan C. and Motta A.T. // *Materials Science and Technology*. – 2006. – P. 2–51.
2. Yadernaya energetika. Glava 2. Yadernaya energetika : [uchebnoe posobie / Azarenkov N.A., Bulavin L.A., Zalyubovskij I.I., Kirichenko V. G., Neklyudov I. M.]. – H. : HNU imeni V. N. Karazina, 2012. – 535 s.
3. Lee D. Effect of oxygen on the fatigue behavior of Zircaloy / D. Lee, P.T. Hill // *Journal of Nuclear Materials* 60. – 1976. – P. 227–230.
4. Trush V. Effect oxidation and nitriding on the properties of zirconium alloys / V. Trush // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2017. – 2/11 (86) – P. 34–42.
5. Chernyaeva, T.P., Stukalov, A.I., & Gritsina, V.M. (2002). Effect of oxygen on the mechanical properties of zirconium. *Problems of Atomic Science and Technology*. 1(12). 96–102.
6. Nikulin, S.A., Rozhnov, A.B., & Gusev, A.Yu., et al. (2004). Fracture resistance of Zr-Nb alloys under low-cycle fatigue tests. *Journal of Nuclear Materials*, 446, 1–3, 10–14.
7. Jin Zhang, Artem R. Oganov, Xinfeng Li, Huafeng Dong, and Qingfeng Zeng. Novel compounds in the Zr-O system, their crystal structures and mechanical properties. *Phys. Chem. Phys.*, 2015.
8. Anghel C. Modified oxygen and hydrogen transport in Zr-based oxides. Doctoral Thesis Division of Corrosion Science Department of Materials Science and Engineering Royal Institute of Technology. Stockholm, Sweden, 2006. 256 p.
9. Gribaudo L., Arias D., Abriata J. The N-Zr (Nitrogen-Zirconium) system. *Journal of Phase Equilibria*. 1994. Vol. 15. No. 4. P. 441–449.

Рецензія/Peer review : 18.4.2020 р.

Надрукована/Printed : 16.6.2020 р.
Рецензент: д.т.н., ст.н.с. Корній С. А.

ПРОГРАМНІ МОДУЛІ КОМП'ЮТЕРНОЇ ПРОГРАМИ РЕАЛІЗАЦІЇ АЛГОРИТМУ РЕКУРСІЇ ДЛЯ ВИПАДКУ ЗМІННОГО ВХІДНОГО НАТЯГУ

В роботі наведена структура комп'ютерної програми реалізації алгоритму рекурсії для визначення технологічних зусиль для випадку, коли вхідний натяг має змінне значення. Представлені програмні модулі програми для визначення технологічних зусиль на текстильних машинах у випадку, коли змотування нитки відбувається з бобіни з урахуванням зміни її діаметру для широкого спектру ниток та прязі. Програмними модулями передбачена можливість завдання закону зміни натягу у вигляді гармонічної функції або довільної функції користувача з використанням зворотних польських записів у вигляді транслятора. В комп'ютерній програмі закладена можливість зміни швидкості руху нитки, довжини лінії пружної системи заправки, перетину нитки, її вхідного натягу, матеріалу направляючих поверхонь, їх форми. В якості структурних елементів можливо використовувати направляючі великої та малої кривизни, пристрої для натягу нитки та компенсатори натягу. Наведено опис основних процедур та функцій.

Ключові слова: комп'ютерна програма, алгоритм рекурсії, програмні модулі, нитка, вхідний натяг, гармонічна функція зміни натягу, транслятор.

V. YU. SHCHERBAN, A. K. PETKO, O. Z. KOLISKO, Y. YU. SHCHERBAN, M. I. SHOLUDKO

Kyiv National University of Technologies and Design

SOFTWARE MODULE OF COMPUTER PROGRAM IMPLEMENTATION OF RECURSION ALGORITHM FOR CASE OF VARIABLE INPUT TENSION

The paper describes the structure of a computer program for the implementation of the recursion algorithm to determine the technological effort in the case where the input tension is variable. The program modules of the program are presented for determination of technological efforts on textile machines in the case when the winding of the yarn comes from the bobbin taking into account the change of its diameter for a wide range of yarns and yarns. The software modules provide the possibility to set the law of change of tension in the form of a harmonic function or an arbitrary function of the user using reverse Polish entries in the form of a translator. The computer program provides the ability to change the speed of the filament, the length of the line of the elastic filling system, the intersection of the filament, its input tension, the material of the guide surfaces, their shape. As structural elements, it is possible to use high and low curvature guides, thread tensioners and tension compensators. The basic procedures and functions are described. The main parameter of optimization of the filing system on the technological equipment of the textile and knitwear industry is the minimum required tension in the working area. Increasing the tension in the work area causes the yarn to break and, as a consequence, to stop the process equipment. Downtime-related downtime equals 75-80% of total downtime. This has a negative impact on the performance of the equipment, reducing the quality of products. Reducing the tension to the minimum required also adversely affects the normal course of the process. This is due to the violation of the technological conditions of interaction of the thread with the working bodies in the area of formation of fabric or knitted fabric. The thread tension increases when passing through the filling zones of the filing system on the process equipment. This increase is due to the interaction of the thread with the guides and tensioning devices. The maximum tension value will be in front of the work area. A characteristic feature is the change in the input tension when winding the thread from the reel. Determining the law of change of tension at the entrance to the filing system of the process equipment will allow to determine the tension in the working area taking into account the real winding conditions. The development of special computer programs to determine the tension in the work area allows you to quickly determine the necessary technological parameters, make adjustments, both the structure and components of the filament system to obtain the minimum required tension in the work area.

Keywords: computer program, recursion algorithm, program modules, thread, input tension, harmonic tension change function, translator.

Вступ

Актуальність. Основним параметром оптимізації системи подачі ниток на технологічному обладнанні текстильної та трикотажної промисловості є мінімально необхідний натяг в робочій зоні [3–8]. Збільшення натягу в робочій зоні призводить до обриву ниток і, як наслідок, до зупинки технологічного обладнання [3, 4, 9–12]. Простої устаткування, пов'язані з ліквідацією обриву, складають в даний час 75–80% від загального часу простоїв [4]. Це негативно впливає на продуктивність обладнання, зменшує якість продукції, що випускається [6–8, 10]. Зменшення натягу по відношенню до мінімально необхідного також негативно впливає на нормальне протікання технологічного процесу [11]. Це пов'язано з порушенням технологічних умов взаємодії нитки з робочими органами в зоні формування тканини чи трикотажного полотна.

Натяг нитки збільшується під час переходу в зонах заправки системи подачі нитки на технологічному обладнанні [3, 4]. Це збільшення обумовлено взаємодією нитки з напрямними та пристроями для натягу. Максимального значення натягу буде перед робочою зоною. Характерною особливістю є зміна вхідного натягу під час змотування нитки з бобіни [4, 5]. Визначення закону зміни натягу на вході в систему подачі нитки на технологічному обладнанні дозволить визначити натяг в робочій зоні з урахуванням реальних умов змотування.

Розробка спеціальних комп'ютерних програм [1, 2] для визначення натягу в робочій зоні дозволяє оперативно визначити необхідні технологічні параметри, провадити корегування як самої структури, так і складових компонентів системи подачі нитки для отримання мінімально необхідного натягу в робочій зоні.

Постановка завдання

На основі реалізації алгоритму рекурсії розробити модулі комп'ютерної програми для визначення натягу нитки в робочій зоні у випадку, коли закон зміни вхідного натягу представлений у вигляді гармонічної функції або у вигляді довільній функції користувача з використанням зворотних польських записів.

Основна частина

Розробку програмних модулів комп'ютерної програми реалізації алгоритму рекурсії визначення натягу в робочій зоні для випадку змінного вхідного натягу почнемо з формалізації законів їх зміни. В ході проведення технологічних вимірювань натягу одиночної нитки використовувався електронний тензометричний прилад. В експерименті використовувалася одна випадково обрана бобіна бавовняної пряжі 32 текс (швидкість змотування – 5 мм / с). Виміри проводилися при змотуванні нитки з трьох діаметрів: максимального $130 \leq D \leq 150$, середнього $110 \leq D \leq 130$, мінімального $D \leq 110$.

Для кожного діаметру виміри проводилися 10 разів. В результаті були отримані експериментальні значення натягу одиночної нитки, які наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Виміри натягу одиночної нитки

№ п/п	Максимальний діаметр		Середній діаметр		Мінімальний діаметр	
	мм	сН	мм	сН	мм	сН
0	150	9.63	120	14.39	105	17.38
1	145	8.73	120	11.56	100	13.32
2	150	10.20	120	12.05	100	11.31
3	150	9.75	125	13.69	95	14.10
4	150	10.04	125	13.48	100	13.53
5	150	10.82	125	10.00	102	14.26
6	145	16.97	125	13.36	95	14.82
7	145	17.63	128	11.56	100	14.67
8	135	15.94	125	13.98	100	13.25
9	135	11.93	128	9.18	102	14.18

Під час визначення натягу окремої нитки допускаємо, що існує функціональна залежність між величинами y (натяг при різних діаметрах бобіни) та x (діаметр бобіни). При цьому, функція $y = f(x)$ невідома, але на основі експериментальних досліджень встановлені практичні дані (таблиця 1). Задача полягає в тому, щоб знайти функцію, за можливістю більш простішу з обчислювальної точки зору, яка представляла невідому функцію $y = f(x)$ точно або наближено; визначити проміжні значення функції $y = f(x_i^*)$, де $x_i < x_i^* < x_{i+1}$.

Оскільки різниця між суміжними значеннями аргументу різна, то поставлена задача інтерполяції буде зведена до знаходження багаточлену $P(x)$ ступеню $\leq n$ за допомогою інтерполяційних формул Лагранжа та Ньютона (метод розподілених різностей).

Інтерполяційна формула Ньютона для усіх вузлів інтерполяції

$$P(x) = y_0 + (x - x_0)f(x_0, x_1) + (x - x_0)(x - x_1)f(x_0, x_1, x_2) + \dots + (x - x_0)(x - x_1)\dots(x - x_{n-1})f(x_0, x_1, \dots, x_n). \tag{4}$$

Коли два чи більше аргументів співпадають, то поняття розподіленої різності зберігає свій зміст

$$f(x_0, x_1) = \lim_{x_1 \rightarrow x_0} \frac{f(x_0) - f(x_1)}{x_0 - x_1} = f'(x_0), \tag{5}$$

$$f(x_0, x_1, \dots, x_n) = \frac{1}{r!} \frac{d^r}{dx^r} f(x_0),$$

$$f(x, x_0, x_1, \dots, x_n) = \lim_{x' \rightarrow x_0} \frac{f(x', x_0, x_1, \dots, x_n) - f(x, x_0, x_1, \dots, x_n)}{x' - x} = \frac{d}{dx} f(x, x_0, x_1, \dots, x_n). \tag{6}$$

В вузлах інтерполяції $P(x_i) = f(x_i) = y_i (i = 1, 2, \dots, n)$ тому, що остаточно член в них $R(x) = (x - x_0)(x - x_1)\dots(x - x_n)f(x, x_0, x_1, \dots, x_n) = 0$. Остаточний член $R(x)$ дає можливість оцінити похибку на базі

$$R = f(x, x_0, \dots, x_n) \prod_{i=0}^n (x - x_i),$$

$$\varepsilon = |P_n(x) - f(x)| \leq f',$$

$$f' = |(x - x_0)(x - x_1) \dots (x - x_n)| \frac{|f^{(n+1)}(\xi)|}{(n+1)!},$$

де $\frac{|f^{(n+1)}(\xi)|}{(n+1)!}$ – це $(n+1)$ похідна функції $f(x)$ в точці ξ з найменшого проміжку, який зберігає усі

точки $x_0, x_1, x_2 \dots x_n$.

На рис. 1 представлений графік поліноміальної функціональної залежності та експериментальні дані натягу залежно від діаметру.

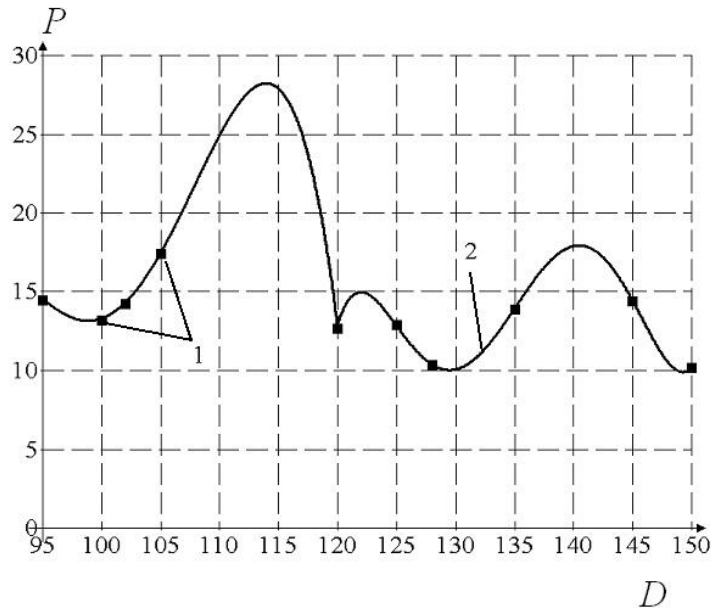
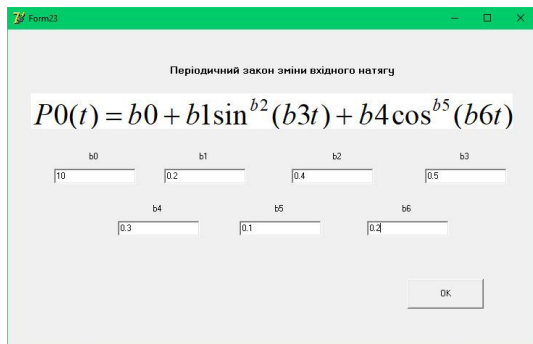


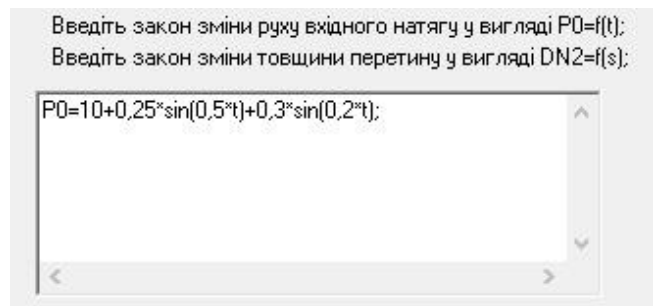
Рис. 1. Графік поліноміальної функціональної залежності натягу залежно від діаметру: 1 – експериментальні дані; 2 – графік функції $P(D)$

Аналіз графічної залежності показує, що для її апроксимації можна використовувати тригонометричні або алгебраїчні поліноми.

В ході розробки програмних модулів використовувалися закон зміни вхідного натягу, представлений у вигляді гармонічної функції або у вигляді довільній функції користувача з використанням зворотних польських записів. На рис. 2 представлені форми програмних модулів: 2а – закон зміни натягу у вигляді гармонічної функції; 2б – закон зміни натягу у вигляді довільній функції користувача з використанням зворотних польських записів.



а



б

Рис. 2. Форми програмних модулів

Для завдання закону зміни вхідного натягу $P_0 = P_0(t)$ був використаний модуль unit Unit23. Для закону зміни вхідного натягу $P_0 = P_0(t)$ у вигляді довільній функції користувача був використаний модуль Synt на основі розробленого транслятора з використанням зворотних польських записів (рис. 3).

Натяг нитки перед роботою зоною, з використанням рекурсивного підходу, буде мати вигляд

$$P_n = P_0(t) \prod_{i=0}^n f_i(P_i), \tag{7}$$

де $P_0(t)$ – закон зміни вхідного натягу нитки в зоні входу в систему подачі на технологічній машині;
 $f_i(P_i)$ – функції, які пов'язують натяг нитки до та після елемента системи подачі в кожній зоні; i –
 поточний номер зони; n – кількість елементів системи подачі ниток конкретної технологічної машини.

```

unit Synt;
interface
uses classes;
type
  TData = record
    Name: string;
    Data: real;
  end;
var
  NConst: integer = 100;
  ErrorList: TStringList;
  PZ: array of integer;
  DataList: array of TData;
const
  MConst = 2;
procedure SyntItem(S:string; First:boolean=false; Pos:Integer=1);
function CreatePZ(S:string):boolean;
function Calculate(var R:real):boolean;
function SetData(Name:string; Data:real):boolean;
function GetData(Name:string; var Data:real):boolean;
implementation
uses Sysutils, Math, Dialogs,Unit2;
type
  TType = (None, Number, Divider, Ident, Func, Part, All);
  TSynt = record
    mode: TType;
    Number:real;
    Ident:string;
    Error:boolean;
    Pos1,Pos2:integer;
  end;
const
  SetNum: set of char=['0'..'9', '.', ','];
  SetDiv: set of char=[';', '(', ')', '=', '+', '-', '/', '*', '^',
    
```

Рис. 3. Комп'ютерний модуль транслятора на основі зворотних польських записів

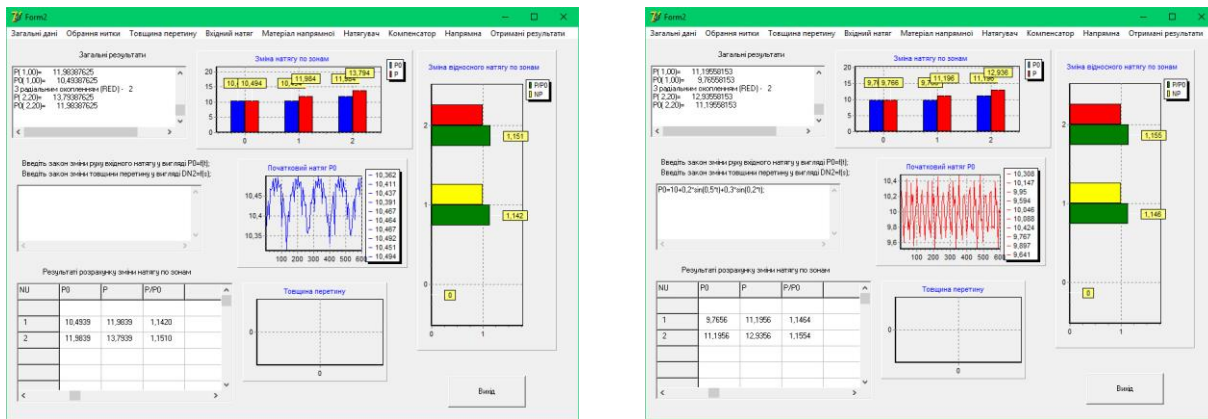


Рис. 4. Основна форма програми з результатами: а – закон зміни натягу у вигляді гармонічної функції;
 б – закон зміни натягу у вигляді довільній функції користувача з використанням зворотних польських записів

На рис. 4 представлена основна форма програми з результатами (а – закон зміни натягу у вигляді гармонічної функції; б – закон зміни натягу у вигляді довільній функції користувача з використанням зворотних польських записів). При розрахунках приймали: кількість вузлів 2; швидкість руху нитки 5 мм/с; довжина лінії заправки 3 м. Використовувалася бавовняна нитка 32 текс. Для періодичного закону були прийняті наступні константи $b_0=10$, $b_1=0.2$, $b_3=0.5$, $b_4=0.3$, $b_5=0.1$, $b_6=0.2$. При $t=300$ с початковий натяг $P_0=10.49$ сН. В якості напрямних в вузлах використовувалися напрямна без радіального охоплення

($\varphi=1.57$ рад., $R=1$ мм) та напрямна з радіальним охопленням ($\varphi=1.4$ рад., $R=2.2$ мм, $\beta=1.3$ рад.). В якості довільної функції користувача була прийнята функція

$$P_0 = 10 + 0.25\sin(0.5t) + 0.3\sin(0.2t) \cdot$$

Розрахунки за останньою формулою показали, що при $t=300$ с початковий натяг $P_0=9.77$ сН.

Висновки

На основі реалізації алгоритму рекурсії розроблені модулі комп'ютерної програми для визначення натягу нитки в робочій зоні у випадку, коли закон зміни вхідного натягу представлений у вигляді гармонічної функції або у вигляді довільної функції користувача з використанням зворотних польських записів.

Література

1. Комп'ютерна програма для реалізації чисельних методів : Свідоцтво № 89242 про реєстрацію авторського права на твір / Щербань В.Ю., Колиско О.З., Макаренко Ю.В., Мельник Г.В., Петко А.К., Шолудько М.І., Калашник В.Ю. – Дата реєстрації 03.06.2019.
2. Комп'ютерна програма «Програмний комплекс для визначення оптимальної траєкторії нитки на трикотажних машинах» : Свідоцтво № 89243 про реєстрацію авторського права на твір / Щербань В.Ю., Колиско О.З., Макаренко Ю.В., Мельник Г.В., Петко А.К., Шолудько М.І., Калашник В.Ю. – Дата реєстрації 03.06.2019.
3. Щербань В.Ю. Комп'ютерне проектування систем: програмні та алгоритмічні компоненти / В.Ю. Щербань, О.З. Колиско, Г.В. Мельник, М.І. Шолудько, В.Ю. Калашник. – К. : Освіта України, 2019. – 902 с.
4. Щербань В.Ю. Механіка нитки / В.Ю. Щербань. – К. : Освіта України, 2018. – 533 с.
5. Щербань В.Ю. Исследование экспериментальных данных натяжения нити с применением интерполирования и аппроксимации / В.Ю. Щербань, О.О. Латушко // Сучасні технології підготовки фахівців з інженерних спеціальностей : збірник наукових праць. – К. : КНУТД, 2003. – С. 31–38.
6. Щербань В.Ю. Визначення приведенного коефіцієнту тертя для кільцевих та трубчатих спрямовувачів нитки трикотажних машин / В.Ю.Щербань, Н.І. Мурза, А.М. Кириченко, М.І. Шолудько // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2017. – № 6(255). – С. 23–27.
7. Щербань В.Ю. Визначення натягу нитки при її взаємодії з трубчастими спрямовувачами / В.Ю. Щербань, Н.І. Мурза, А.М. Кириченко, М.І. Шолудько // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2018. – № 1 (257). – С. 213–217.
8. Щербань В.Ю. Оптимізація процесу взаємодії нитки з напрямними з урахуванням анізотропії фрикційних властивостей / В.Ю. Щербань, М.І. Шолудько, О.З. Колиско, В.Ю. Калашник // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 3(225). – С. 30–33.
9. 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. – № 2(223). – С. 25–29.
10. Щербань В.Ю. Порівняльний аналіз роботи нитконатягувачів текстильних машин / В.Ю. Щербань, Н.І. Мурза, А.М. Кириченко, М.І. Шолудько // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2016. – № 6(243). – С. 18–21.
11. Щербань В.Ю. Ефективність роботи компенсаторів натягу нитки трикотажних машин / В.Ю. Щербань, Н.І. Мурза, А.М. Кириченко, М.І. Шолудько // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2017. – № 1(245). – С. 83–86.
12. Щербань В.Ю. Взаємодія текстильних ниток з напрямними великої кривини у випадку наявності радіального охоплення / В.Ю. Щербань, Н.І. Мурза, А.М. Кириченко, Г.В. Мельник, М.І. Шолудько // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2018. – № 2 (259). – С. 12–16.

References

1. Certificate No. 89242 on the registration of copyright for the work "Computer program for the implementation of numerical methods" / Shcherban V.Yu., Kolisko O.Z., Makarenko Y.V., Melnyk G.V., Petko A.K., Sholudko M.I., Kalashnik V.Yu. - Registration Date 03.06.2019.
2. Certificate No. 89243 on the registration of copyright for the work "Computer program" Software complex for determining the optimal trajectory of the thread on knitting machines "/ Shcherban V.Yu., Kolisko O.Z., Makarenko Y.V., Melnyk G.V., Petko A.K., Sholudko M.I., Kalashnik V.Yu. - Registration Date 03.06.2019.
3. Shcherban V.Yu. 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. Scherban V.Yu. Mechanics of Threads / V.Yu.Scherban. - K.: Formation of Ukraine, 2018. - 533 p.
5. Shcherban V.Yu., Latushko O.O. Investigation of experimental data on yarn tension using interpolation and approximation / Collection of scientific works. Modern technologies for training specialists in engineering specialties. – K. : KNUTD-2003. - P. 31-38.
6. Scherban V.Yu., Murza N.I., Kirichenko A.N., Melnik G.V., Sholudko M.I. Determination of friction coefficient factor for rings and tubular trailers of thread of knitted machines. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. 2017. Volume 255. Issue 6. P. 23-27.
7. Scherban V.Yu., Murza N.I., Kirichenko A.N., Melnik G.V., Sholudko M.I. Determination of tension at its interaction with tubular guides. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. 2018. Volume 257. Issue 1. P. 213-217.

-
8. Scherban V.Yu., Sholudko M.I., Kolisko O.Z., Kalashnik V.Yu. Optimization of the process of interaction of a thread with guides, taking into account the anisotropy of frictional properties. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. 2015. Volume 225. Issue 3. P. 30-33.
9. Scherban V.Yu., Kalashnik V.Yu., Kolisko O.Z., Sholudko M.I. Investigation of the influence of the thread material and the anisotropy of friction on its tension and the shape of the axis. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. 2015. Volume 223. Issue 2. P. 25-29.
10. Scherban V.Yu., Murza N.I., Kirichenko A.N., Sholudko M.I. Comparative analysis of work of natyazhiteley of filament of textile machines. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. 2016. Volume 243. Issue 6. P. 18-21.
11. Scherban V.Yu., Murza N.I., Kirichenko A.N., Sholudko M.I. Overall performance of compensators of the filament of knitted cars. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. 2017. Volume 245. Issue 1. P. 83-86.
12. Scherban V.Yu., Murza N.I., Kirichenko A.N., Melnik G.V., Sholudko M.I. Co-operating of textile filaments with sending large curvature in the case of presence of radial scope. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. 2018. Volume 259. Issue 2. P. 12-16.

Рецензія/Peer review : 10.4.2020 р.

Надрукована/Printed : 27.6.2020 р.
Рецензент: д.т.н., проф. В.Г. Здоренко

ОСОБЛИВОСТІ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ-ЕЛЕКТРИКІВ ДЛЯ АЕС У ВНТУ

В роботі виділено основні напрямки покращення якості підготовки фахівців – електриків, що планують працювати на атомних електричних станціях (АЕС). Проведено аналіз тенденцій зміни кількості студентів, що навчаються за угодами з АЕС.

Ключові слова: атомна електрична станція, студенти, учні, практика, літня ядерна школа, профорієнтаційні заходи, підготовка персоналу, вищі навчальні заклади.

P. LEZHNIUK, O. RUBANENKO, V. LESKO, O. RUBANENKO

Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine

THE FEATURES OF STUDING INGENEER-ELECTRIC FOR NUCLEAR POWER PLANTS IN VINNYTSIA NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY

The main directions of improving the quality of training of specialists and electricians planning to work at the NPP are highlighted in the paper.

The tendencies of changes in the number of students enrolled under the agreements with the NPP have been analyzed. In order to increase the level of preparation of students in the specialty 141 - electric power engineering, electrical engineering, and electromechanics, the Vinnytsia National Technical University conducts periodically classes of employees of the RAES NPP Energoatom training center. Such classes and full-time electives are aimed at preparing students for design, technological and undergraduate practice at NPPs, greatly enhancing their effectiveness.

The widespread adoption of distance education methods and tools (off-line consultations, computer simulations, and laboratory work, electronic tutorials, manuals, methodological guidelines) improves the quality of training not only for part-time students but also for full-time students. Ukraine is one of the few nuclear states that has felt the danger of a nuclear power plant.

At the same time, the increasing cost of electricity requires measures to reduce the downtime of NPPs, as they reduce the operational reliability of the power plant. Young professionals and university graduates should adapt to production conditions as soon as possible. This is possible under the conditions of practical training, both during laboratory classes and during NPP practice. The high cost of modern energy equipment and the small amount of budget financing significantly slow down the process of updating the laboratory base of universities.

Keywords: nuclear power plant, students, students, practice, summer nuclear school, vocational guidance, staff training, higher education institutions.

Вступ. За виробництвом електроенергії на АЕС Україна входить до вісімки, а за внеском виробленої електроенергії в загальний обсяг електроенергії – в п'ятірку країн світу [1]. Ядерна енергетика в Україні є важливою складовою загального паливно-енергетичного комплексу та займає провідні позиції в електрозабезпеченні країни. В енергетичній стратегії України до 2035 року атомній енергетиці відведено почесне перше місце (табл. 1) [2].

Таблиця 1.

Цільові показники розвитку електрогенерації до 2035 року

Роки	2020	2025	2030	2035
Виробництво електроенергії, млрд. кВт·год	209,7	233,2	258,3	276,3
ТЕС, млрд.кВт·год	93,2	111,5	122,6	117,3
у тому числі ТЕС та ВДЕ, млрд. кВт·год	5,5	12,3	16,0	17,1
АЕС, млрд. кВт·год	97,0	97,3	105,0	126,0
ГЕС, млрд. кВт·год	10,8	11,9	14,0	14,5
ГАЕС, млрд. кВт·год	5,1	7,1	9,1	9,1
ВЕС, млрд. кВт·год	2,5	3,7	5,0	6,3
СЕС, млрд. кВт·год	1,2	1,9	2,6	3,2

За перші 5 місяців 2016 року зафіксовано 9 (дев'ять) порушень в роботі атомних електростанцій України [3]. За таких умов серед багатьох інших завдань (виведення з експлуатації застарілого обладнання, вчасна заміна ненадійного обладнання сучасним більш надійним і т. п.) спрямованих на підвищення безпеки та надійності експлуатації, потрібно виділити актуальне завдання: впровадження інноваційних освітніх методів підготовки фахівців – електриків для АЕС.

Результати досліджень. Відомо, що підготовкою персоналу з вищою освітою для експлуатації електричного обладнання АЕС займаються вищі навчальні заклади. Так, з метою підвищення рівня підготовки студентів за спеціальністю 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка у Вінницькому національному технічному університеті періодично проводяться заняття працівниками навчально-тренувального центру РАЕС НАЕК «Енергоатом».

Такі заняття та постійно діючі факультативи спрямовані на підготовку студентів до конструкторсько-технологічної та переддипломної практики на АЕС, значно підвищуючи їх ефективність.

Широке впровадження методів та засобів дистанційної освіти (of-line консультації, імітаційні комп'ютерні моделі та створені на їх основі лабораторні роботи, електронні підручники, посібники, методичні вказівки) покращує якість підготовки не лише студентів заочної форми навчання, а і денної [4].

Велику роль в покращенні практичної підготовки фахівців для роботи АЕС відіграють щорічні літні ядерні школи (рис. 1), які з ініціативи НАЕК «Енергоатом» проводяться для студентів профільних ВНЗ на АЕС України. На фото (рис. 1) показані викладачі та студенти ВНТУ та інших університетів.



Рис. 1. Відкриття та робота літньої ядерної школи на Запорізькій АЕС

На цих ядерних школах викладачі університетів та представники АЕС знайомлять учасників з новачками в ядерній енергетиці, на АЕС. В свою чергу, викладачі та студенти ВНЗ діляться своїми науковими та практичними результатами, спрямованими на покращення безпеки, надійності та ефективності експлуатації [5, 6, 7, 8] обладнання АЕС (рис.2).



Рис. 2. Представники ВНТУ доповідають та обговорюють результати своїх наукових досліджень

Навчання на сучасних тренажерах, в лабораторіях навчально-тренувального центру (НТЦ) та щоденні екскурсії на АЕС, створюють передумови для закріплення студентами знань та вмінь отриманих під час перебування у ВНЗ. Майбутні працівники АЕС мають бути здоровими та всебічно розвиненими. Тому кожного дня студенти під час літньої ядерної школи приймають участь у спортивних змаганнях (рис.3), в художній самодіяльності або відвідують музеї, історичні місця.



Рис. 3. Участь студентів в командних змаганнях під час ЛЯШ в Енергодарі

Ще один позитивний результат проведення ядерних шкіл полягає в утворенні професійних, творчих, наукових зв'язків між майбутніми працівниками АЕС, що навчаються в різних ВНЗ та країнах (рис. 4). Це особливо важливо в наш час, коли Україна плідно співпрацює з іншими країнами в енергетичній галузі.



Рис. 4. Представники ВНТУ, ЗЧУ (Чехія), КПІ, ХПІ, ОШІ на сховищі ядерних відходів ЗАЕС під час ЛЯШ в Енергодарі

Процес підготовки фахівців з вищою освітою відбувається не лише під час навчання в університеті (рис. 5).



Рис. 5. Зустрічі представників Рівненської АЕС з учнями шкіл Вінниці та їх батьками під час проведення «Дня факультету електроенергетики та електромеханіки»

Він починається ще з довузівської підготовки молоді і складається з двох напрямків. Перший – це проведення зустрічей працівників АЕС України з учнями випускних класів шкіл, ліцеїв, коледжів та технікумів міста Вінниці, Вінницької та інших областей під час проведення таких освітніх заходів, як «День ВНТУ», «День факультету електроенергетики та електромеханіки» та ін. (рис. 5).

Спілкування з представниками АЕС сприяє розширенню знань молоді про призначення та роль АЕС у забезпеченні енергетичної безпеки держави, про особливості виробництва електроенергії на АЕС, про аспекти радіаційної та екологічної безпеки. Такі зустрічі є невід'ємним елементом свідомого вибору абітурієнтом спеціальності та напрямку подальшої освіти.

Другий напрямок – це профорієнтаційні заходи, які проводяться викладачами ВНТУ з учнями шкіл, ліцеїв, технікумів міст-супутників АЕС (Вараш, Нетішин, Южноукраїнськ, Енергодар) з метою ознайомлення молоді з перевагами та особливостям вступу та навчання у ВНТУ (рис. 6).



Рис. 6. Зустрічі викладачів ВНТУ та ліцеїв міст Нетішина (ХАЕС) та Вараша (РАЕС)

Особливої уваги заслугове читання лекцій професорами та доцентами Західночеського університету (Чеська республіка, місто Пльзень) під час їх перебування у ВНТУ. Відомо, що саме у Пльзені розташовані підприємства концерну «Шкода». «Шкода» виробляє ядерні реактори та багато іншого обладнання для АЕС багатьох країн світу. Чеська автоматика працює на всіх АЕС України, а Західночеський університет (ЗЧУ) готує спеціалістів для АЕС. Завдяки прослуховуванню лекцій та спілкуванню з викладачами Західночеського університету студенти ВНТУ отримали знання сучасне обладнання АЕС, результати наукових досліджень в галузі ядерного та електротехнічного машинобудування, реалізацію сучасних європейських та світових освітніх програм в ЗЧУ (рис. 7).



Рис. 7. Лекція Мілана Беліка (ЗЧУ) у ВНТУ та екскурсія на на одній з підстанцій України

У ВНТУ відбувся обмін досвідом викладачів ЗЧУ та університетів України з підготовки персоналу для АЕС (див. рис.8).



Рис. 9. Фотографії робочої зустрічі у ВНТУ викладачів ЗЧУ та університетів України

Україна є однією з небагатьох ядерних держав, яка на собі відчула небезпеку АЕС. Водночас зростаюча вартість електроенергії вимагає впровадження заходів зі зменшення простоїв блоків АЕС, адже вони зменшують режимну надійність ЕЕС. Молоді спеціалісти – випускники вишів повинні якомога швидше адаптуватись до виробничих умов. Це можливо за умов практичної підготовки, як під час лабораторних занять, так і під час практик на АЕС. Велика вартість сучасного енергетичного обладнання та малі обсяги бюджетного фінансування значно уповільнюють процес оновлення лабораторної бази університетів. Навчатись та стажуватись (для викладачів) на діючих АЕС складно. За таких умов ефективним напрямком підготовки є проходження практик з використанням обладнання, наприклад, корпусу «Г» ЗАЕС та залученням персоналу навчально-тренувальних центрів АЕС (рис. 9). Фотографії екскурсій студентів ВНТУ на АЕС показані на рис. 11, 12 та 13.



Рис. 10. Викладачі ВНТУ та інших вузів на відкритті корпусу «Г» на ЗАЕС

Велику роль у навчанні студентів та у підвищенні кваліфікації відіграють екскурсії які проводяться на АЕС та підприємствах енергетичної галузі, наприклад в ВП «Південно-Західна електроенергетична система» (рис. 14).



Рис. 11. Екскурсія для студентів та викладачів у корпусі «Г» ЗАЕС та сучасне його обладнання



Рис. 12. Екскурсія для студентів та викладачів ВНТУ на ХАЕС



Рис. 13. Екскурсія для студентів та викладачів ВНТУ на ЗАЕС



Рис. 14. Експедиція для студентів та викладачів ВНТУ у ПЗЕС

Викладачі та кваліфіковані працівники РАЕС діляться своїм досвідом зі студентами та викладачами під час лекцій у ВНТУ (рис. 15).



Рис. 15. Працівники РАЕС з лекціями у ВНТУ

З метою підвищення зацікавленості молоді в оволодінні технічними спеціальностями, необхідними для роботи на АЕС, викладачі ВНТУ здійснюють профорієнтаційні заходи в освітніх закладах міст-супутників АЕС (рис.16), знайомлять з перевагами навчання у ВНТУ, з особливостями вступних компаній, розповідають про подільський край та про місто Вінницю.



Рис. 16. Зустрічі викладачів ВНТУ з молоддю Южноукраїнська (ЮжАЕС)

По закінченню навчання випускники ВНТУ працевлаштовуються на АЕС (рис. 17).



Андрій Мельничук

Артур Стець

Рис. 17. Молоді працівники ЮжАЕС (випуск 2019 р)

Аналіз статистичних даних. Проведений аналіз свідчить про те, що кількість студентів, які згідно до договорів з АЕС України навчаються у ВНТУ і планують працювати на АЕС нажалі зменшується. Однак за останні роки прослідковується тенденція до зростання кількості трьохсторонніх договорів. Так екстраполяція даних за попередні роки вказує на тенденцію поступового зростання кількості цих договорів на підготовку молодих спеціалістів для АЕС по роках.(рис.18) за умови збільшення профорієнтаційних заходів (рис.19).



Рис. 18. Ретроспективна та прогнозована кількість укладених договорів по роках

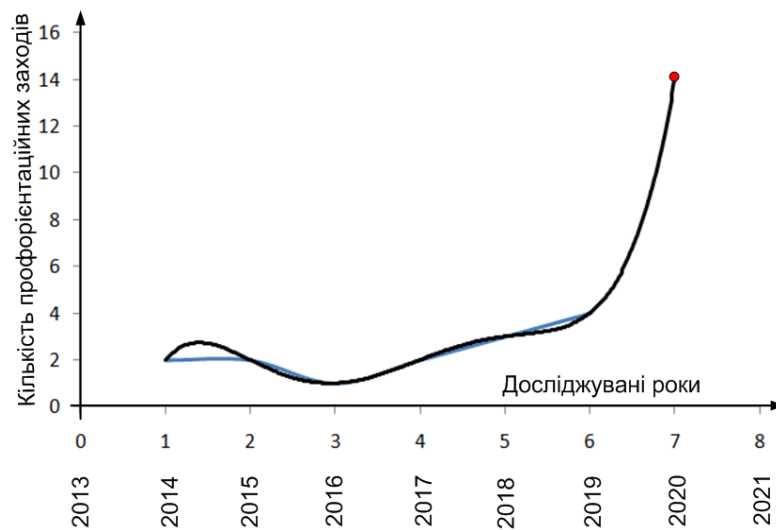


Рис. 19. Ретроспективна та прогнозована кількість профорієнтаційних заходів по роках

Аналіз графіків ретроспективної та прогнозованої кількості укладених трьохсторонніх договорів по курсах свідчить про стрімке зменшення випускників ВНТУ, які виявили бажання працювати на АЕС (рис. 20). Основною причиною студенти називають відсутність гуртожитків для іногородніх та низький рівень заробітної плати, який не дозволяє оплатити наймане житло.

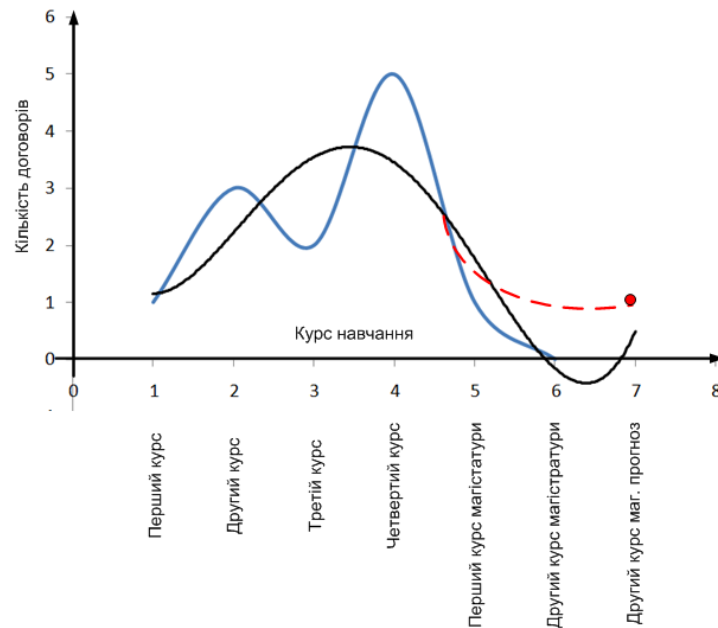


Рис. 20. Ретроспективна та прогнозована кількість укладених договорів по курсах

Прогнозована кількість працевлаштованих студентів на 2020 рік свідчить про зменшення бажаючих працювати на АЕС (рис. 21). Студенти розривають раніше укладені тристоронні угоди, пояснюючи своє рішення низьким рівнем заробітної плати, відсутністю гуртожитків та бажанням працювати в інших державах де рівень заробітної плати значно більших ніж на вітчизняних АЕС.

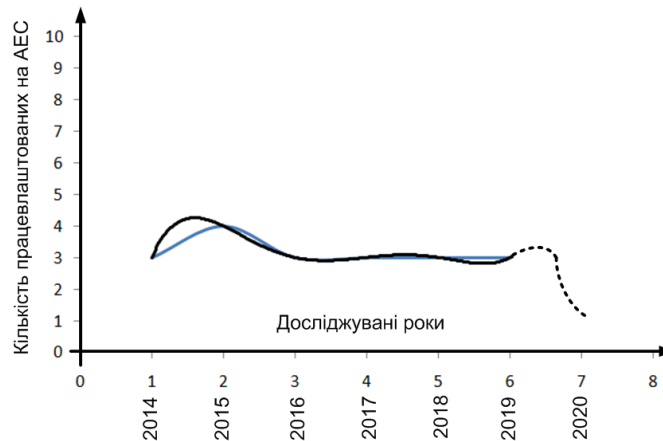


Рис. 21. Ретроспективна та прогнозована кількість працевлаштованих студентів по роках

Заходи з підвищення кількості фахівців-електриків для роботи на АЕС. Для підвищення кількості фахівців-електриків, що здобули вищу освіту у ВНТУ та планують працювати на вітчизняних АЕС пропонуємо впроваджувати заходи, які умовно можна поділити на методичні, організаційні та технічні.

Методичні заходи передбачають розробку:

- навчальних планів та програм дисциплін та практик;
- навчально-методичної літератури, що відповідає сучасному обладнанню АЕС та методам і засобам його експлуатації;
- мультимедійного програмного забезпечення для використання під час аудиторного, дистанційного навчання та під час самостійної роботи студентів.

Організаційні заходи передбачають:

- забезпечення освітнього процесу теоретичної підготовки студентів професорами та доцентами;
- залучення до практичної підготовки фахівців – виробничників високої кваліфікації, що мають багаторічний досвід роботи з обладнанням АЕС та досвід з підготовки та атестації персоналу АЕС;
- організацію та проведення щорічних практик в підрозділах АЕС;
- проведення представниками АЕС занять зі студентами ВНЗ під час навчальних семестрів з метою популяризації професій, які користуються попитом на АЕС, підвищення якості знань студентів за вибраною ними спеціальністю;
- участь співробітників АЕС в заходах ВНЗ (Дні університету, факультету електроенергетики та електромеханіки і т.п.) для популяризації працевлаштування на АЕС, підвищення рівня освіти учнів шкіл, коледжів, ПТУ, технікумів з питань ядерної енергетики та для ознайомлення з перевагами роботи на АЕС;
- організацію та проведення зустрічей викладачів ВНЗ з учнями шкіл метою яких є ознайомлення з умовами вступу у ВНЗ, викладацьким, аудиторним та технічним забезпеченням навчального процесу, методами навчання, логістикою, забезпеченням гуртожитками, їдальнями, стадіонами, спортивними базами та комплексами, бібліотеками, художніми студіями, що забезпечують активний відпочинок та всебічний розвиток студентів під час навчання в університеті;
- проведення підвищення кваліфікації викладачів в НТЦ ЗАЕС з використанням обладнання корпусу «Г»;
- навчання студентів правилам технічної та безпечної експлуатації обладнання АЕС зі складання відповідних іспитів та видачею посвідчень з метою швидкої адаптації до роботи на робочих місцях під час практики.

Заходи з технічного забезпечення освітнього процесу передбачають:

- створення лабораторій (рис.22) та навчальних полігонів (рис. 23) з сучасним високовольтним обладнанням для якісної практичної підготовки фахівців – електриків з вищою освітою;
- залучення відомих вітчизняних та іноземних виробників до забезпечення ВНЗ сучасним обладнанням на пільгових умовах з метою його популяризації під час навчання та ознайомлення студентів з методами його експлуатації, що сприятиме зростанню обсягу продаж цього обладнання.

Висновки. 1. Широке впровадження сучасних інноваційних освітніх методів, передбачає використання інформаційних технологій, поширення інтерактивного електронного навчання з доступом до цифрових ресурсів.

2. Всі види практик та літні ядерні школи значно покращують якість практичної підготовки фахівців – електриків для АЕС.



Рис. 22. Лабораторія релейного захисту с сучасним вітчизняним та іноземним обладнанням (ВНТУ)



Рис. 23. Навчальний полігон з високовольтним обладнанням (навчальний корпус № 4 ВНТУ).

3. Профорієнтаційні заходи, що проводяться працівниками АЕС зі студентами ВНТУ та учнями шкіл м. Вінниці та суміжних областей, а також викладачами ВНТУ з учнями навчальних закладів міст – супутників АЕС сприяють збільшенню кількості студентів ВНТУ – майбутніх працівників АЕС.

Література

1. Неклюдов И. М. Состояние и проблемы атомной энергетики в Украине [Текст] / И. М. Неклюдов // Вопросы атомной науки и техники. – 2007. – № 2 (90). – С. 3–9.
2. Енергетична стратегія України на період до 2035 року: Проект [Текст] / Кер. розробки О. М. Сухололя // Біла книга енергетичної політики України. НІСД – 2014. – 41 с.
3. Ваджра Андрей. Атомная энергетика Украины: скажи станциям «Прощай» [Электронный ресурс] // Андрей Ваджра. РИА новости Украина, RIAN.COM.UA – 2016. – 19.06.2016. – С. 1–3. Режим доступа: <https://rian.com.ua/columnist/20160619/1011925460.html>
4. Бистрова Ю. В. Інноваційні методи навчання у вищій школі України [Текст] / Ю. В. Бистрова // Право та інноваційне суспільство. – 2015. – № 1 (4). – С. 27–33.
5. Buslavets O. Evaluation and increase of load capacity of on-load tap changing transformers for improvement of their regulating possibilities / O. Buslavets, P. Lezhniuk, O. Rubanenko // Восточно-Европейский журнал передових технологій. – 2015. – С. 35–41.
6. Лежнюк П. Д. Відновлювальні джерела електроенергії в електричних мережах як елемент енергоефективного електроспоживання./ П.Д. Лежнюк, С.В. Кравчук, І.В. Котилко // Міжнародний науково-технічний журнал Світлотехніка та Електроенергетика. Технічні науки – 2019. – №3 (56). – С. 99-107
7. Oleksander Rubanenko, Planning of the experiment for the defining of the technical state of the transformer by using amplitude-frequency characteristic / Oleksander Rubanenko, Maksim Grishchuk, Olena Rubanenko // Przegląd Elektrotechniczny – 2020. – №3 (99). – С. 119-124.
8. Грищук М.О. Планування технічного обслуговування силових трансформаторів за результатами контролю їх частотних характеристик/ М. О. Грищук, О. О. Рубаненко, О. Є. Рубаненко // Міжнародний науково-технічний журнал Світлотехніка та Електроенергетика. Технічні науки – 2019. – №3 (56). – С. 92-99.

References

1. Neklyudov I. M. Sostoyanie i problemy atomnoy energetiki v Ukraine [Tekst] / I. M. Neklyudov // Voprosy atomnoy nauki i tehniki. – 2007. – № 2 (90). – S. 3
2. Enerhetychna stratehiia Ukrainy na period do 2035 roku: Proekt [Tekst] / Ker. rozrobky O. M. Sukhololia // Bila knyha enerhetychnoi polityky Ukrainy. NISD – 2014. – 41 s.
3. Vadzhra Andrey. Atomnaya energetika Ukrainyi: skazhi stantsiyam «Proschay» [Elektronniy resurs] // Anrey Vadzhra. RIA novosti Ukraina, RIAN.COM.UA – 2016. – 19.06.2016. – S. 1
4. Bistrova Yu. V. Innovatsiyni metody navchannya u vischih shkoli Ukraini [Tekst] / Yu. V. Bistrova // Pravo ta Innovatsiynne suspilstvo. – 2015. – № 1 (4). – S. 27

-
5. Buslavets O. Evaluation and increase of load capacity of on-load tap changing transformers for improvement of their regulating possibilities / O Buslavets, P Lezhniuk, O Rubanenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2015. – P. 35–41.
 6. Lezhniuk P. Renewable electricity sources in electrical networks as an element of energy efficient power supply/ P. Lezhniuk, S. Kravchuk, I. Kotilko // International journal Lighting Engineering & Power Engineering. – 2019. – №3 (56). – С. 99-107
 7. Oleksander Rubanenko. Planning of the experiment for the defining of the technical state of the transformer by using amplitude-frequency characteristic / Oleksander Rubanenko, Maksim Grishchuk, Olena Rubanenko // Przegląd Elektrotechniczny – 2020. – № 3 (99). – P. 119-124.
 8. Hryshchuk, M., Planning of maintenance of power transformers on the results of control of their frequency characteristics / M. Hryshchuk, O. Rubanenko, O. Rubanenko // International journal Lighting Engineering & Power Engineering.– 2019. – № 3 (56). – P. 92-99.

Рецензія/Peer review : 10.4.2020 р.

Надрукована/Printed :27.6.2020 р.
Рецензент: д. т. н., проф. В.М. Кутін

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗУСИЛЛЯ РІЗАННЯ НОЖЕМ З ДУГОПОДІБНОЮ ФОРМОЮ ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ

Стаття присвячена розробці методу визначення впливу величини зазору між твірними транспортуючих валиків і величини відстані від вертикальної вісі обертання транспортуючих валиків до кромки леза ножа з дугоподібною формою поперечного перерізу на сумарну величину втрат при поздовжньому різанні матеріалу та величину втрат на тертя матеріалу, шляхом використання рівнянь регресії. Особливої уваги під час проектування машин поздовжнього різання потребує обробка за допомогою нерухомого леза ножа, а саме його геометрії. Основна частина технологічного процесу поздовжнього різання взуттєвих матеріалів – це взаємодія робочих органів машини, а саме транспортуючих валиків та леза ножа з матеріалом деталі, яка впливає на енергетичні витрати на процес. Для визначення сумарної величини втрат при поздовжньому різанні матеріалу та величини втрат на тертя матеріалу об грані нерухомого ножа з дугоподібною формою поперечного перерізу, а також погонного зусилля різання був проведений двох факторний експеримент для моделі дослідження. Отриманні рівняння регресії дозволяють говорити про адекватність аналітичної моделі. Порівняння сумарних величин втрат при поздовжньому різанні матеріалу ножа з односторонньою заточкою та ножа з дугоподібною формою поперечного перерізу дозволяє говорити про доцільність використання ножа з дугоподібною формою поперечного перерізу.

Ключові слова: погонне зусилля, сумарна величина втрат, втрати на тертя матеріалу, валики, леза ножа.

D. MAKATORA

Kyiv National University of Technologies and Design

EXPERIMENTAL STUDIES OF ARC-SHAPED CROSS SECTION KNIFE CUTTING EFFORT

The article is devoted to the method development for determining the effect of the gap between the generators of the conveyor rollers and the distance from the vertical axis of rotation of the conveyor rollers to the edge of the knife blade with an arc-shaped cross section on the total value. Particular attention in the design of longitudinal cutting machines requires processing with a fixed knife blade, namely its geometry. The main part of the technological process of shoe materials longitudinal cutting is the interaction of the working parts of the machine, namely the transport rollers and the knife blade with the material of the part, which affects the energy costs of the process. To determine the total amount of losses during longitudinal cutting of the material and the amount of friction losses of the material on the face of a fixed knife with an arc-shaped cross section, as well as the linear cutting force, a two-factor experiment was performed for the study model. The obtained regression equations describe the total amount of losses during longitudinal cutting of the material and the amount of friction losses of the material on the face of a stationary knife with an arc-shaped cross section, allow us to talk about the adequacy of the analytical model. Comparison of the total values of losses during longitudinal cutting of the material of the knife with one-sided sharpening and a knife with an arc-shaped cross section, allows us to talk about the feasibility of using a knife with an arc-shaped cross section.

Key words: line force, total amount of losses, friction losses of material, rollers, knife blades.

Постановка проблеми.

При поздовжньому різанні взуттєвих матеріалів може використовуватися рухоме або нерухоме різання. Однак особливої уваги потребує обробка взуттєвих матеріалів за допомогою нерухомого леза ножа, оскільки це обладнання має просту конструкцію, низьку собівартість, легше технічне обслуговування порівняно з обладнанням, що використовує рухомий спосіб поздовжнього різання, отримувати необхідну якість оброблених взуттєвих матеріалів при невеликих енергетичних витратах на процес поздовжнього різання. Тому перспективним напрямом вдосконалення розвитку машин для поздовжнього різання взуттєвих матеріалів є зниження енергетичних витрат на виконання технологічного процесу різання за рахунок вдосконалення геометрії ріжучого інструменту. Основна частина технологічного процесу поздовжнього різання взуттєвих матеріалів – це взаємодія робочих органів машини, а саме транспортуючих валиків та леза ножа (одно- та двостороння заточка, дугоподібна форма поперечного перерізу, тощо) з матеріалом деталі, яка впливає на енергетичні витрати на процес [1–8].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Авторами робіт [2–8] були одержані рівняння регресії, що описують сумарну величину втрат при поздовжньому різанні матеріалу та величину втрат на тертя матеріалу об грані нерухомого ножа, та визначено погонне зусилля різних матеріалів (мікропориста і монолітна гуми, повсть) при використанні різних форм ножа, а саме: одностороння заточка [3, 6, 7] та двостороння заточка леза ножа [2, 4, 5, 8]. В роботі [9] були проведені аналітичні дослідження, що дозволяють говорити про доцільність використання ножа з дугоподібною формою поперечного перерізу, який дозволить зменшити розпірне зусилля при виконанні технологічної операції поздовжнього різання, за рахунок зменшення напруження матеріалу між транспортуючим валиком і поверхнею ножа, тим самим зменшити втрати на тертя матеріалу, які виникають в процесі виконання технологічної операції поздовжнього різання. Проте не дослідженим залишається питання розподілу сумарної величини втрат при поздовжньому різанні матеріалу та величини втрат на тертя матеріалу об грані нерухомого ножа.

Метою даного дослідження є розробка ефективного методу визначення впливу величини зазору між твірними транспортуючих валиків і величини відстані від вертикальної вісі обертання транспортуючих валиків до кромки леза ножа з дугоподібною формою поперечного перерізу на сумарну величину втрат при поздовжньому різанні матеріалу та величину втрат на тертя матеріалу, шляхом використання рівнянь регресії, а також перевірка достовірності аналітичної моделі процесу поздовжнього різання ножом з дугоподібною формою поперечного перерізу.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Експериментальні дослідження як завершальна стадія проектування геометрії ріжучого інструменту в машинах для поздовжнього різання проводяться для визначення погонного зусилля різання матеріалів та порівняння витрат, що витрачається на процес поздовжнього різання при використанні ножів різної геометричної форми.

Для визначення сумарної величини втрат при поздовжньому різанні матеріалу та величини втрат на тертя матеріалу об грані нерухомого ножа з дугоподібною формою поперечного перерізу, а також погонного зусилля різання був проведений двох факторний експеримент для моделі дослідження:

$$y = F(x_1, x_2)$$

де y – критерій оптимізації, що визначає q_p ;

x_1 і x_2 – керовані параметри (фактори), що характеризують відповідно величину зазору між твірними транспортуючих валиками h і величину відстані від вертикальної осі обертання валиків до кромки леза ножа a .

При визначенні q_p , необхідно провести двократну обробку деталі, при котрій в ході її розрізання визначається сумарна величина витрат на обробку P , а потім після розрізання матеріал складають разом і пропускають площиною з'єднання через ніж, та визначається величина витрат на тертя F . Таким чином, лише різниця цих значень, віднесена до величини ширини деталі, дає справжню величину погонного зусилля різання взуттєвих матеріалів [2–9, 11]:

$$q_p = \frac{P - F}{B}. \quad (1)$$

Планування експерименту проводилося з використанням ротатабельного плану Бокса для двофакторного експерименту ($k_{1,2} = 2$), який рекомендується при $k_{1,2} \leq 5$ [11].

Загальна кількість дослідів визначається за формулою [12]:

$$N_{1,2} = 2^2 + 2 \cdot 2 + 5 = 13.$$

Кодування, іменування значення факторів та інтервали їх варіювання наведені в табл. 1, значення яких визначалися за допомогою співвідношень:

$$x_1 = \frac{x_i - 4,35}{1}; \quad x_2 = \frac{x_j - 5}{0,5}. \quad (2)$$

Таблиця 1

Таблиця рівнів та інтервалів варіювання діючих факторів, які підлягають дослідженню

Фактори	Рівні варіювання					Інтервал варіювання фактору
	-1,414	-1	0	+1	+1,414	
h – відстань між транспортуючими валиками, мм (x_1)	2,95	3,35	4,35	5,35	5,75	1
a – відстань між вертикальною віссю обертання транспортуючих валиків і кромкою леза ножа, мм (x_2)	4,3	4,5	5	5,5	5,7	0,5

Проведемо обробку даних експерименту з визначення сумарної величини втрат при поздовжньому різанні матеріалу. Матриця планування двофакторного експерименту представлена в табл. 2. Під час визначення числа вимірів для кожного дослідів проводилося п'ять повторних вимірювань на нульовому рівні (досліди 9–13) і визначалося наближене значення середньоквадратичної похибки рівняння [12]: $S_p = 1,118$.

Розрахункове значення критерію Стьюдента в цьому випадку: $t_{расч}(P) = 4,0001$.

Табличне значення критерію Стьюдента для $\alpha_B = 0,95$ і $n_1 = 5$ [12]. Тобто виконується умова: $t_{расч}(P) \geq t_{табл}$.

Отже, число вимірювань $n_1 = 5$ для кожного дослідів є достатнім. Після проведення експерименту і розшифровки записів за допомогою тарувального графіка визначалося середнє значення п'яти повторних вимірювань критерію оптимізації по кожному дослідів і дані заносилися в робочу матрицю планування (табл. 2).

У цьому випадку необхідно знайти значення коефіцієнтів регресії рівняння [12]:

$$y_u = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2. \quad (3)$$

Для визначення цих коефіцієнтів використовувалися рівняння для двофакторного експерименту запропоновані автором [12]: $\alpha_1 = 0,2$; $\alpha_2 = 0,1$; $\alpha_3 = 0,125$; $\alpha_4 = 0,25$; $\alpha_5 = 0,125$; $\alpha_6 = 0,187$; $\alpha_7 = 0,1$.

Звідси: $b_0 = 318,68$; $b_1 = -24,77$; $b_2 = -34,22$; $b_{12} = -7,5$; $b_{11} = 1,74$; $b_{22} = 0,26$.

Таким чином, рівняння (3) набуває вигляду:

$$y_u = 318,68 - 24,77x_1 - 34,22x_2 - 7,5x_1x_2 + 1,74x_1^2 + 0,26x_2^2 \quad (4)$$

Гіпотеза про адекватність рівняння (4) перевіряється в такій послідовності.

Так як досліди дублювалися тільки в нульовій точці, то дисперсія адекватності згідно з рівнянням [12]:

$$S_{ad}^2 = \frac{15,05 - 7,23}{3} = 2,58.$$

Дисперсія відтворюваності для цього випадку визначається за формулою [12]:

$$S_{\{y\}}^2 = \frac{11,24}{4} = 1,81.$$

Знаючи число ступенів свободи для більшої ($f_{ad} = 3$) і меншої ($f_e = 4$) дисперсії [12], табличне значення критерію Фішера для 95-відсоткової довірчої ймовірності:

$$F_{табл} = 6,59.$$

Розрахункове значення критерію Фішера згідно з формулою [12]:

$$F_{расч(P)} = \frac{2,58}{1,81} = 1,43.$$

Таблиця 2

Матриця планування двофакторного експерименту визначення сумарної величини витрат при повздовжньому різанні

Номер досліду	Матриця планування		Робоча матриця			Дані до розрахунку	
	№	x_1	x_2	h	a	y_u	$(y_u - \bar{y}_u)^2$
1	1	1	5,35	5,5	250	250,71	0,4994
2	-1	1	3,35	5,5	316	315,24	0,5705
3	1	-1	5,35	4,5	334	334,14	0,0204
4	-1	-1	3,35	4,5	370	368,68	1,7407
5	-1,414	0	2,95	5	350	350,22	0,0478
6	1,414	0	5,75	5	282	280,17	3,3418
7	0	-1,414	4,35	4,3	368	367,58	0,1788
8	0	1,414	4,35	5,7	272	270,81	1,4193
9	0	0	4,35	5	320	318,68	1,7508
10	0	0	4,35	5	318	318,68	0,4581
11	0	0	4,35	5	320	318,68	1,7508
12	0	0	4,35	5	318	318,68	0,4581
13	0	0	4,35	5	317	318,68	2,8118
$\sum_1^{13} = 4135 \sum_1^{13} (y_u - \bar{y}_u)^2 = 15,0481$							

Порівняння табличного і розрахункового значень критерію Фішера показало, що рівняння (4) можна вважати адекватним з довірчою ймовірністю $\alpha_B = 0,95$, так як дотримується умова: $F_{табл} \geq F_{расч(P)}$.

Значимість коефіцієнтів регресії в рівнянні (4) перевіряється з урахуванням рівнянь для випадку, коли $k_1 = 2$ [12]. У цьому випадку: $a_8 = 0,2$; $a_9 = 0,125$; $a_{10} = 0,1438$; $a_{11} = 0,25$.

Отже: $S_{\{b_0\}}^2 = 0,2 \cdot 1,81 = 0,362$ і $S_{\{b_0\}} = 0,6$; $S_{\{b_i\}}^2 = 0,125 \cdot 1,81 = 0,226$ і $S_{\{b_i\}} = 0,48$;

$S_{\{b_{ii}\}}^2 = 0,1438 \cdot 1,81 = 0,26$ і $S_{\{b_{ii}\}} = 0,51$; $S_{\{b_{ij}\}}^2 = 0,25 \cdot 1,81 = 0,4525$ і $S_{\{b_{ij}\}} = 0,67$.

Звідси з співвідношень [12]:

$$\Delta b_0 = \pm 2 \cdot 0,6 = \pm 1,2; \Delta b_i = \pm 2 \cdot 0,48 = \pm 0,96; \Delta b_{ii} = \pm 2 \cdot 0,51 = \pm 1,02; \Delta b_{ij} = \pm 2 \cdot 0,4525 = \pm 0,95.$$

Порівняння абсолютних величин коефіцієнтів регресії рівняння (4) і відповідних похибок в їх оцінці показує, що з довірчою ймовірністю 0,95 можна вважати значимими всі коефіцієнти, крім b_{22} , тоді отримаємо:

$$y_u = 318,68 - 24,77x_1 - 34,22x_2 - 7,5x_1x_2 + 1,74x_1^2 \quad (5)$$

Рівняння (5) є рівнянням регресії, що описує сумарну величину втрат при виконанні поздовжнього різання матеріалу нерухомим ножом в залежності від відстані між транспортуючими валиками (x_1), і відстані між вертикальною віссю обертання транспортуючих валиків і кромкою леза ножа (x_2).

Враховуючи вирази (2), перейдемо до іменованих величин:

$$y_u = 318,68 - 24,77(h - 4,35) - 34,22\left(\frac{a-5}{0,5}\right) - 7,5(h - 4,35)\left(\frac{a-5}{0,5}\right) + 1,74(h - 4,35)^2.$$

Після спрощення рівняння набуває вигляду:

$$y_u = 475,3 + 35,1h + 1,74h^2 - 15ah - 3,19a \quad (6)$$

Отриманий вираз (6) – експериментальна математична модель залежності величини сумарних втрат при виконанні поздовжнього різання від величини зазору між валиками і величини відстані від вертикальної осі обертання валиків до кромки леза ножа.

Проведемо обробку даних експерименту з визначення величини втрат на тертя матеріалу об грані нерухомого ножа. Матриця планування двофакторного експерименту представлена в табл. 3.

Після проведення експерименту і розшифровки записів за допомогою тарувального графіка визначали середнє значення п'яти повторних вимірювань критерію оптимізації по кожному досліді і дані заносилися в робочу матрицю планування (табл. 3.).

У цьому випадку необхідно знайти значення коефіцієнтів регресії рівняння для двофакторного експерименту запропоновані автором [12]:

$$b_0 = 238,46; b_1 = -17,59; b_2 = -30,98; b_{12} = -0,5; b_{11} = 5,6; b_{22} = 6,86.$$

Таким чином, рівняння (3) набуває вигляду:

$$y_u = 238,46 - 17,59x_1 - 30,98x_2 - 0,5x_1x_2 + 5,6x_1^2 + 6,86x_2^2 \quad (7)$$

Гіпотеза про адекватність рівняння (7) перевіряється у вище викладеній методиці.

Дисперсія адекватності:

$$S_{ad}^2 = \frac{24,82 - 11,21}{3} = 4,53.$$

Дисперсія відтворюваності для цього випадку:

$$S_{\{y\}}^2 = \frac{11,21}{4} = 2,8.$$

Розрахункове значення критерію Фішера:

$$F_{расч}(F) = \frac{4,53}{2,8} = 0,25.$$

Порівняння табличного і розрахункового значень критерію Фішера показало, що рівняння (7) можна вважати адекватним з довірчою ймовірністю $\alpha_B = 0,95$, так як дотримується умова: $F_{табл} \geq F_{расч}(P)$.

Значимість коефіцієнтів регресії в рівнянні (7) перевіряли аналогічно як у вище викладеній методиці.

$$\text{Отже: } S_{\{b_0\}}^2 = 0,2 \cdot 2,8 = 0,56 \text{ і } S_{\{b_0\}} = 0,74; \quad S_{\{b_i\}}^2 = 0,125 \cdot 2,8 = 0,35 \text{ і } S_{\{b_i\}} = 0,6;$$

$$S_{\{b_{ii}\}}^2 = 0,1438 \cdot 2,8 = 0,4 \text{ і } S_{\{b_{ii}\}} = 0,63; \quad S_{\{b_{ij}\}}^2 = 0,25 \cdot 2,8 = 0,7 \text{ і } S_{\{b_{ij}\}} = 0,84.$$

Звідси зі співвідношень [12]:

$$\Delta b_0 = \pm 2 \cdot 0,74 = \pm 1,48; \Delta b_i = \pm 2 \cdot 0,6 = \pm 1,2; \Delta b_{ii} = \pm 2 \cdot 0,63 = \pm 1,26; \Delta b_{ij} = \pm 2 \cdot 0,84 = \pm 1,68$$

Порівняння абсолютних величин коефіцієнтів регресії рівняння (7) і відповідних похибок в їх оцінці показує, що з довірчою ймовірністю 0,95 можна вважати значимими всі коефіцієнти, крім b_{12} , тоді отримаємо:

$$y_u = 238,46 - 17,59x_1 - 30,98x_2 + 5,6x_1^2 + 6,86x_2^2 \quad (8)$$

Рівняння (8) є рівнянням регресії, що описує сумарну величину втрат при виконанні поздовжнього різання матеріалу нерухомим ножом залежно від відстані між транспортуючими валиками (x_1), і відстані між вертикальною віссю обертання транспортуючих валиків і кромкою леза ножа (x_2).

Враховуючи вирази (2), перейдемо до іменованих величин:

$$y_u = 238,46 - 17,59(h - 4,35) - 30,98\left(\frac{a-5}{0,5}\right) + 5,6(h - 4,35)^2 + 6,86\left(\frac{a-5}{0,5}\right)^2.$$

Після спрощення рівняння набуває вигляду:

$$y_u = 1416,74 + 5,6h^2 - 66,31h + 27,44a^2 - 336,36a \quad (9)$$

Таблиця 3

Матриця планування двофакторного експерименту з визначення величини витрат на тертя матеріалу об грані нерухомого ножа

Номер досліду	Матриця планування		Робоча матриця			Дані до розрахунку	
	x ₁	x ₂	H	a	y _u	y _u	(y _u -y _u) ²
1	1	1	5,35	5,5	204	201,87	4,5504
2	-1	1	3,35	5,5	240	238,04	3,8345
3	1	-1	5,35	4,5	266	264,83	1,3728
4	-1	-1	3,35	4,5	300	299,00	0,9934
5	-1,414	0	2,95	5	274	274,55	0,3034
6	1,414	0	5,75	5	224	224,81	0,6615
7	0	-1,414	4,35	4,3	296	295,99	0,0002
8	0	1,414	4,35	5,7	207	208,37	1,8872
9	0	0	4,35	5	238	238,46	0,2120
10	0	0	4,35	5	240	238,46	2,3702
11	0	0	4,35	5	236	238,46	6,0539
12	0	0	4,35	5	240	238,46	2,3702
13	0	0	4,35	5	238	238,46	0,2120
$\sum_{i=1}^{13} = 3803 \quad \sum_{i=1}^{13} (y_u - \bar{y}_u)^2 = 24,8217$							

Отриманий вираз (9) – експериментальна математична модель залежності величини витрат на тертя матеріалу об грані нерухомого ножа при виконанні поздовжнього різання нерухомим ножом, від величини зазору між валиками і величини відстані від вертикальної осі обертання валиків до кромки леза ножа.

Отримані експериментальні моделі, а саме визначення сумарної величини витрат (6) та величини витрат на тертя матеріалу (9) дозволяють визначити погонне зусилля різання мікропористої гуми. Підставляючи значення в рівняння (1) отримаємо середнє значення погонного зусилля мікропористої гуми

(ГОСТ 7338-90) [13]: $q_p = 2,29 \frac{H}{\text{мм}}$. Відхилення від отриманих раніше значень робіт [2, 7–9] відповідно

складають $\Delta = 10,5\%$, $\Delta = 6,9\%$ та $\Delta = 0,2\%$, що свідчить про адекватність проведеного експериментального дослідження.

Порівнюючи сумарні величини витрат при поздовжньому різанні матеріалу при використанні ножа з односторонньою заточкою (отриманні автором в роботі [10]) та при використанні ножа з дугоподібною формою поперечного перерізу, отримуємо:

$$\Delta P = \frac{370,49 - 318,68}{370,49} \cdot 100\% = 13,98\%$$

Визначене відхилення сумарної величини витрат при поздовжньому різанні матеріалу підтверджує математичну модель, розроблену автором в роботі [10] та свідчить, що виконані операції поздовжнього різання в'язких матеріалів доцільно використовувати лезо ножа з дугоподібною формою поперечного перерізу, що дозволить знизити сумарні величини витрат, в порівнянні з одностороннім заточуванням, що в свою чергу знизить енергетичні витрати на процес.

Висновки. Отримані рівняння регресії описують сумарну величину витрат при поздовжньому різанні матеріалу та величину витрат на тертя матеріалу об грані нерухомого ножа з дугоподібною формою поперечного перерізу дозволяють говорити про адекватність аналітичної моделі. Порівняння сумарних величин витрат при поздовжньому різанні матеріалу ножа з односторонньою заточкою та ножа з дугоподібною формою поперечного перерізу дозволяє говорити про доцільність використання ножа з дугоподібною формою поперечного перерізу.

Література

1. Макатьора Д. А. Аналіз раціонального положення ножа та форми його поперечного перерізу в машинах типу “ДН” / Д. А. Макатьора, В. І. Князев // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2004. – № 1. – С. 159–163.

2. Макарьора Д. А. Визначення погонного зусилля різання мікропористої гуми ножем з двосторонньою заточкою / Д. А. Макарьора // Вісник ЧДТУ. – 2013. – № 2 (65). – С. 92–97.
3. Макарьора Д. А. Визначення погонного зусилля різання монолітної гуми ножем з односторонньою заточкою / Д. А. Макарьора, І. В. Панасюк // Вісник ЧДТУ. – 2014. – № 1 (71). – С. 36–42.
4. Макарьора Д. А. Визначення погонного зусилля різання монолітної гуми ножем з двосторонньою заточкою / Д. А. Макарьора, І. В. Панасюк // Вісник Хмельницького національного університету. – 2014. – № 1 (209). – С. 31–35.
5. Макарьора Д. А. Визначення погонного зусилля різання повсті ножем з двосторонньою заточкою / Д. А. Макарьора, І. В. Панасюк // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2014. – № 1 (75). – С. 41–48.
6. Макарьора Д. А. Експериментальне дослідження з визначення погонного зусилля різання повсті, ножем з односторонньою заточкою / Д. А. Макарьора // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2014. – № 2 (76). – С. 113–123.
7. Макарьора Д. А. Визначення погонного зусилля різання мікропористої гуми ножем з односторонньою заточкою / Д. А. Макарьора, І. В. Панасюк // Вісник Хмельницького національного університету. – 2014. – № 2 (211). – С. 19–25.
8. Черно-Иванов В. С. Разработка механизма прокольного резания деталей низа обуви : дис. ... канд. техн. наук : 05.05.10 / В. С. Черно-Иванов. – К., 1998. – 165 с.
9. Черно-Иванов В. С. Розробка механізму повздовжнього різання деталей низу взуття : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.10 / В. С. Черно-Иванов; ДАЛПУ. – К., 1998. – 18 с.
10. Макарьора Д. А. Математична модель процесу повздовжнього різання дугоподібним ножем / Д. А. Макарьора, В. І. Князев // Вісник ТУП. Серія технічні науки. – 2004. – № 1. – С. 48–53.
11. Патент № 70012 Україна, МПК В 23 В 1/00, G 01 L 3/00. Спосіб визначення потужності, що витрачається на повздовжнє різання матеріалу / Д. А. Макарьора, В. І. Князев; заявник та патентовласник Київський державний університет технологій та дизайну. – № u20031212100 ; заявл. 23.12.2003 ; опубл. 15.09.2004, Бюл. № 9.
12. Тихомиров В. Б. Планирование и анализ эксперимента / В. Б. Тихомиров. – М. : Легкая индустрия, 1974. – 262 с.
13. ГОСТ 7338-90 Пластину резинове и резинотканевые. Технические условия. Rubberand rubber-fabric sheets. Specifications. Дата введения в действие 01.07.1991. Код ОКС. 83.140.99. Статус: Действует. 18 с.

References

1. Makatora D. A. Analiz ratsionalnogo polozhennia nozha ta formy yoho poperechnoho pererizu v mashynakh typu "DN" / D. A. Makatora, V. I. Kniaziev // Visnyk Kyivskoho natsionalnogo universytetu tekhnologii ta dyzainu. – 2004. – № 1. – S. 159–163.
2. Makatora D. A. Vyznachennia pohonnoho zusyillia rizannia mikroporystoi humy nozhem z dvostoronnoiu zatochkoiu / D. A. Makatora // Visnyk ChDTU. – 2013. – № 2 (65). – S. 92–97.
3. Makatora D. A. Vyznachennia pohonnoho zusyillia rizannia monolitnoi humy nozhem z odносторонноiu zatochkoiu / D. A. Makatora, I. V. Panasiuk // Visnyk ChDTU. – 2014. – № 1 (71). – S. 36–42.
4. Makatora D. A. Vyznachennia pohonnoho zusyillia rizannia monolitnoi humy nozhem z dvostoronnoiu zatochkoiu / D. A. Makatora, I. V. Panasiuk // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnogo universytetu. – 2014. – № 1 (209). – S. 31–35.
5. Makatora D. A. Vyznachennia pohonnoho zusyillia rizannia povsti nozhem z dvostoronnoiu zatochkoiu / D. A. Makatora, I. V. Panasiuk // Visnyk Kyivskoho natsionalnogo universytetu tekhnologii ta dyzainu. – 2014. – № 1 (75). – S. 41–48.
6. Makatora D. A. Eksperymentalne doslidzhennia z vyznachennia pohonnoho zusyillia rizannia povsti, nozhem z odносторонноiu zatochkoiu / D. A. Makatora // Visnyk Kyivskoho natsionalnogo universytetu tekhnologii ta dyzainu. – 2014. – № 2 (76). – S. 113–123.
7. Makatora D. A. Vyznachennia pohonnoho zusyillia rizannia mikroporystoi humy nozhem z odносторонноiu zatochkoiu / D. A. Makatora, I. V. Panasiuk // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnogo universytetu. – 2014. – № 2 (211). – S. 19–25.
8. Chernov-Ivanov V. S. Razrabotka mehanizma prokolnogo rezaniya detalej niza obuvi : dis. ... kand. tehn. nauk : 05.05.10 / V. S. Chernov-Ivanov. – K., 1998. – 165 s.
9. Chornov-Ivanov V. S. Rozrobka mekhanizmu povzdovzhnogo rizannia detalei nyzu vzuttia : avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk : 05.05.10 / V. S. Chornov-Ivanov; DALPU. – K., 1998. – 18 s.
10. Makatora D. A. Matematychna model protsesu povzdovzhnogo rizannia duhopodibnym nozhem / D. A. Makatora, V. I. Kniaziev // Visnyk TUP. Seriya tekhnichni nauky. – 2004. – № 1. – S. 48–53.
11. Patent № 70012 Ukraina, MPK B 23 B 1/00, G 01 L 3/00. Sposib vyznachennia potuzhnosti, shcho vytrachaietsia na povzdovzhnie rizannia materialu / D. A. Makatora, V. I. Kniaziev; zaiavnyk ta patentovlasnyk Kyivskiy derzhavnyi universytet tekhnologii ta dyzainu. – № u20031212100 ; zaiavl. 23.12.2003 ; opubl. 15.09.2004, Biul. № 9.
12. Tihomirov V. B. Planirovanie i analiz eksperimenta / V. B. Tihomirov. – M. : Legkaya industriya, 1974. – 262 s.
13. GOST 7338-90 Plastiny rezinove i rezinotkanevye. Tehnicheskie usloviya. Rubberand rubber-fabric sheets. Specifications. Data vvedeniya v dejstvie 01.07.1991. Kod OKS. 83.140.99. Status: Dejstvuet. 18 s.

Рецензія/Peer review : 19.4.2020 р.

Надрукована/Printed : 11.6.2020 р.
Рецензент: д. т. н., проф. В.І. Чупринка

О.П. МАТЕЮК, Г.А. БІЛЕЦЬКА, А.О. ДЯЧУК, О.О. ЄФРЕМОВА
Хмельницький національний університет

ОЦІНКА ЕКОТУРИСТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ХМЕЛЬНИЦЬКОЇ ОБЛАСТІ ЯК СКЛАДОВОЇ СТАЛОГО РОЗВИТКУ РЕГІОНУ

Стаття присвячена проблемі розвитку екотуризму як складової сталого розвитку Хмельницької області. Досліджено екотуристичний потенціал Хмельницької області за показниками-стимуляторами (забезпеченість і використання основних туристичних та рекреаційних ресурсів) та показниками-дестимуляторами (ступінь забруднення довкілля), здійснено кластеризацію районів області за рівнем екотуристичного потенціалу для визначення перспектив розвитку екотуризму.

Ключові слова: екотуризм, екотуристичний потенціал, сталий розвиток, інтегральний індекс, кластер, стратегія розвитку.

O. MATEYUK, H. BILETSKA, A. DIACHUK, O. YEFREMOVA
Khmelnytskyi National University

THE ASSESSMENT OF ECOTOURISM POTENTIAL OF KHMELNYTSKYI REGION AS A COMPONENT OF ITS SUSTAINABLE DEVELOPMENT

The article is devoted to the problem of ecotourism development as a component of sustainable development of Khmelnytskyi region. Ecological tourism is considered as a multilateral phenomenon that combines economic, social, environmental and cultural aspects and has a huge potential for continuous progress and sustainable development of the region. Necessary preconditions for intensification of ecotourism development in Khmelnytskyi region are substantiated: significant landscape, historical and cultural, recreational resources and relatively favourable ecological situation. Methods of multidimensional statistical analysis were used: calculation of the integrated index for determining the ecotourism potential of Khmelnytskyi region districts and clustering of k-averages for grouping districts by potential value. The ecotourism potential of Khmelnytskyi region was studied by indicators-stimulators (provision and use of basic tourist and recreational resources) and indicators-disincentives (emissions of pollutants into the atmosphere, discharges into surface waters, number of active industrial enterprises, waste generation), clustering of regions. According to the results of the cluster analysis of the districts of Khmelnytskyi region, their potential for the development of ecological tourism was assessed and three clusters were identified. The directions of ecotourism development in separate districts within the clusters are outlined in accordance with the existing natural, landscape, recreational resources, historical and cultural heritage, and unique mentality of the inhabitants and peculiarities of the area.

Keywords: ecotourism, ecotourism potential, sustainable development, integrated index, cluster, development strategy.

Постановка проблеми. Сьогодні людство чітко усвідомлює, що найголовнішою метою цивілізаційного розвитку суспільства є його сталий розвиток. Суспільство, що стало розвивається, – це суспільство, яке здатне гармонійно будувати відносини «людина – суспільство – природа», і яке досягло розуміння необхідності коєволюційного розвитку суспільства та природи. З огляду на загальносвітові тенденції, стратегія сталого розвитку для будь-якої території передбачає ефективне і раціональне використання ресурсного потенціалу та оптимальне вирішення проблем регіонального розвитку. Вирішення цих завдань сприятиме розвитку екологічного туризму, що дозволить зберегти унікальну красу природних територій, зменшити негативний вплив на довкілля, підвищити екологічну свідомість суспільства, покращити добробут місцевого населення тощо. Туризм як багатостороннє явище поєднує економічні, соціальні, екологічні та культурні аспекти, має величезний потенціал для постійного прогресу та сталого розвитку регіону. Зазначені аспекти актуалізують дослідження тенденцій та виявлення перспектив розвитку екотуризму як складової сталого розвитку на регіональному рівні, у Хмельницькій області зокрема, із врахуванням екотуристичного потенціалу районів області.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наукова проблематика розвитку екологічного туризму, трактування поняття екологічного туризму висвітлюється у працях О. Бейдика, О. Дмитрука, М. Рутинського, А. Кускова, Л. Жданової, П. Горішевського, В. Храбовченко. Вивченням питання сталого розвитку в туризмі займалися З. Герасимчук, Ю. Зінько, М. Рутинський, А. Кусков, Л. Жданова та інші. Значний внесок у вирішення окремих аспектів розвитку екотуризму на Хмельниччині внесли Г. Білецька, І. Шоробура, І. Журба, В. Кіптенко, О. Маденко та інші. Незважаючи на значний інтерес науковців до питання розвитку екологічного туризму в Україні, проблемі оцінки потенціалу екологічного туризму у Хмельницькій області не приділено належної уваги.

Метою дослідження є оцінка екотуристичного потенціалу Хмельницької області як складової сталого розвитку регіону.

Матеріали та методи дослідження. Теоретичну та методологічну основу дослідження становлять наукові праці вітчизняних та зарубіжних вчених, чинні нормативно-правові акти, дані Державної служби статистики та Міністерства культури України. Характер дослідження зумовив використання методів багатомірного статистичного аналізу: розрахунку інтегрального індексу для визначення екотуристичного потенціалу районів Хмельницької області та кластеризації k-середніх для групування районів за значенням потенціалу.

Виклад основного матеріалу. Одним із перспективних напрямків туризму, що постійно набирає темпів розвитку, є екологічний. Чисельність його прихильників в останні роки безперервно зростає в усьому

світі, а екологічна діяльність набула динамічного розвитку. За прогнозами експертів Всесвітньої туристичної організації, екологічний туризм входить до п'яти основних стратегічних напрямків розвитку туризму на XXI ст.

Саме поняття «екологічний туризм» для нашої країни відносно нове, хоча в країнах Західної Європи, США, Канаді, Австралії та інших такий вид відпочинку вже завоював велику популярність. Основною ідеєю екотуризму є гармонізація стосунків людини з навколишнім природним середовищем, турбота про збереження довкілля, що використовується в туристичних цілях та підвищення екологічної свідомості суспільства, є популярним і перспективним напрямком індустрії туризму.

Світовий екологічний туризм за останні десятиліття розвивався доволі стрімко, і високий темп його розвитку забезпечив ефективне функціонування туристичного ринку та його стратегічний розвиток навіть за несприятливих економічних умов, фінансових криз та значного збільшення чинників ризику.

Міжнародні стратегії розвитку туристичної індустрії спрямовані на захист культурно-історичної спадщини, боротьбу з бідністю, наслідками змін клімату, попередження подальших кліматичних змін та деградації довкілля, зменшення негативного впливу на довкілля. Важливим кроком стало розроблення у 1996 році Світовою Туристичною Організацією (СТО) та Світовою радою з подорожей і туризму «Порядку денного на XXI століття у сфері подорожей та індустрії туризму». Тоді ж були визначені базові принципи екотуризму – сприяння збереженню, охороні і відновленню екосистем, участь в туристичному процесі місцевих жителів, підтримка культури і інтересів корінних громад. Крім цього, протягом 1990-х років була ухвалена ще низка міжнародних документів [1].

У рамках «Стратегії сталого розвитку «Україна – 2020» та «Стратегії розвитку туризму та курортів до 2026 року» екологічний туризм є перспективним напрямком розвитку туристичної галузі, який дозволить зберегти унікальну красу природних територій, зменшити антропогенний тиск на природне середовище, збільшити в підростаючого покоління об'єм знань про природу і досвід спілкування з нею, покращити добробут місцевого населення тощо [2].

Щодо розвитку екологічного туризму на Хмельниччині, у «Стратегії регіонального розвитку Хмельницької області до 2020 року», однією із стратегічних цілей є реалізація туристичного потенціалу регіону, згідно якої, визначено такі види діяльності, які потребують першочергової уваги: туристична промоція Хмельниччини; формування бренду та позитивного іміджу області; розвиток зеленого туризму; відновлення історичних пам'яток; розбудова туристичної інфраструктури; збереження довкілля [3].

У дослідженні екотуристичного потенціалу областей України М. Голуб відносить Хмельницьку область до найбільш сприятливих в Україні для розвитку екотуристичної діяльності з високим потенціалом екотуризму [4].

Привабливість Хмельницької області з точки зору туристичного освоєння території пояснюється значними ландшафтними, історико-культурними, рекреаційними ресурсами. Відносно невисока концентрація промисловості, порівняно сприятлива екологічна ситуація також створює необхідні передумови для активізації розвитку туризму. Крім того, вигідне економіко-географічне розташування, цікавий із точки зору історичного генезису статус регіону, що певним чином обумовив унікальну ментальність мешканців Хмельниччини, теж відіграють не останню роль у розвитку туристичного потенціалу регіону. Зокрема, на території Хмельницької області розташовані історико-культурні пам'ятки загальнодержавного значення, найбільша кількість котрих зосереджена у містах Кам'янець-Подільський та Старокостянтинів, а також відповідних районах, селищі Меджибіж.

Основний туристичний потенціал регіону охоплює мальовничу природу (р. Дністер, Товтри, ліси та озера на півночі області), мінеральні води (Нафтуса, Миргородського типу та радонові води), архітектурну спадщину (м. Кам'янець-Подільський, селище Меджибіж, с. Самчики тощо) і санаторії.

В області 522 території та об'єкти природно-заповідного фонду, в тому числі 8 пам'яток садово-паркового мистецтва (Антонінський, Голозубинецький, Малієвецький, Михайлівський, Новоселицький Полонського району, Новоселицький Старокостянтинівського району, Полонський, Самчиківський парки), 39 заказників (включаючи 15 державного значення), 198 пам'яток природи (чотири державного значення), ботанічні сади у м. Кам'янець-Подільський та м. Хмельницький, сім природних заповідників, 24 парки, яким присвоєно статус пам'яток природи/паркового мистецтва (з них – 8 державного значення). Також існують цікаві історико-культурні та культові об'єкти у населених пунктах Сутківці, Антоніни, Губин, Ізяслав, Гриців, Зіньків, Пилява, Жванець, Сатанів, Чорнокозинці, Миньківці тощо, спелеологічні – у с. Завалля, зеленого туризму (88 агроосель) – у Кам'янець-Подільському, Шепетівському районах тощо [5].

На території Хмельницької області знаходиться чимало унікальних об'єктів історико-культурної спадщини. Зокрема, на державному обліку перебувають 256 пам'яток археології (із них 11 – національного значення), 255 архітектури (177 – національного значення), 42 пам'ятки монументального мистецтва (1 – національного значення), 2340 пам'яток історії (4 – національного значення), 1 пам'ятка науки та техніки (в тому числі включена до Списку всесвітньої спадщини ЮНЕСКО – Дуга Струве з мережі 265 триангуляційних вимірювальних пунктів, що у першій половині 19 ст. служила для визначення параметрів Землі, її форми та розміру) [6].

Таким чином, серед переваг туристичного потенціалу Хмельницької області встановлено такі: різноманіття природних зон та ландшафтів, багата історико-культурна спадщина та унікальна мережа територій та об'єктів природно-заповідного фонду.

Під екотуристичним потенціалом певної території розуміють сукупність всіх пов'язаних з нею ресурсів – природних і антропогенних об'єктів, явищ, властивостей, засобів, можливостей та умов, придатних для формування екотуристичного продукту та здійснення відповідних екологічних турів, екскурсій, програм тощо [7].

Враховуючи значну диференціацію районів Хмельницької області за показниками забезпеченості і використання основних туристичних та рекреаційних ресурсів, для визначення перспектив розвитку екотуризму у цих районах здійснено оцінку їх екотуристичного потенціалу.

Нами застосовано метод розрахунку інтегрального індексу, який базується на зведенні різновимірних показників, які характеризують екотуристичний потенціал району. До розрахунку цього показника залучені показники-стимулятори та показники-дестимулятори (за методикою М. Голуб) [4] (таблиця 1). Показниками-стимуляторами є ті показники, зростання значень яких відповідає покращенню рівня потенціалу розвитку екологічного туризму, дестимуляторами – показники, що мають негативний вплив на рівень розвитку об'єктів природно-заповідного фонду.

Таблиця 1

Визначення показників-стимуляторів та дестимуляторів	
Ознака показника	Перелік показників
Показники-стимулятори	археологічні пам'ятки; пам'ятки містобудування та архітектури; пам'ятки монументального мистецтва; історичні та сакральні пам'ятники; площа лісів; площа водоймищ; довжина річок; площа об'єктів природно-заповідного фонду.
Показники-дестимулятори	викиди забруднюючих речовин в атмосферу; скиди в поверхневі води; кількість активних промислових підприємств; утворення відходів.

Показники для визначення екотуристичного потенціалу визначені за даними [7–9]. Вихідні дані для розрахунку інтегрального індексу вказано у таблиці 2.

Таблиця 2

Вихідні дані для розрахунку інтегрального індексу

№ п/п	Назва району	Позитивні							Негативні				
		пам'ятки культурної спадщини				природні ресурси			активні промислові підприємства, шт	викиди в атмосферу, тис. т	скиди в поверхневі водні об'єкти	утворення відходів	
		археологічні	містобудування та архітектури	монументального мистецтва	історичні	ліси, тис. га	водоймища, тис. га	річки, км					об'єкти природно-заповідного фонду, тис. га
1	Білоградський	9	2	3	52	7,5	0,8	421	946,50	3	0,1	0,1	2494,4
2	Вінковецький	5	3	0	30	9,86	0,57	635	380,80	9	0	0,1	1368,2
3	Волочиський	18	0	2	88	2,2	2,8	763	906,32	19	1,6	1,3	96251,7
4	Городоцький	22	6	0	39	12,7	1	822	69536,57	17	0,2	0,2	4023,2
5	Деражнянський	16	1	0	49	14,09	1,41	895	2715,30	9	0,1	0	24009,7
6	Дунаєвський	11	7	3	87	16,7	0,64	543	2759,44	19	0,3	0,5	26867,8
7	Ізяславський	6	12	2	99	23,9	2,78	673	6876,46	15	0,2	0,3	4452,5
8	Кам'янець-Подільський	44	114	4	113	8	31,3	1052	170863,40	8	9,3	0,2	125852
9	Красилівський	0	13	2	61	9,1	2,9	917	2351,91	2	0,9	0,8	63998,1
10	Летичівський	3	5	2	94	22,1	4,3	571	1482,41	8	0,2	0,4	6412,5
11	Новоушицький	16	0	3	45	15,4	2,7	468	2739,33	3	0,1	0,1	1603,3
12	Полонський	5	0	0	57	16,4	1,8	340	9376,15	3	4,5	1,3	37428,3
13	Славутський	4	0	1	56	26,8	1,2	574	4662,35	9	0,8	0	49115,4
14	Старокостянтинівський	36	12	5	66	8,7	2,1	769	1935,53	4	1,3	2,9	16014
15	Старосинявський	3	0	0	28	3,012	1,5	450	157,20	4	0	0,1	306,4
16	Теофіпольський	2	0	2	55	1,6	0,8	272	191,20	2	0,3	0,8	263155
17	Хмельницький	9	0	1	99	9,9	2,9	939	1191,93	15	1,3	0,7	113843
18	Чемаровецький	30	4	3	65	9,8	0,9	625	38979,24	2	0,1	0,5	21779,2
19	Шепетівський	3	0	2	56	37,6	1,8	680	8902,21	4	0,7	0,2	32003,1
20	Ярмолинський	11	4	0	49	8	0,7	471	1502,00	16	0,1	0,3	9557,6

Процедура нормування для показників-стимуляторів виконувалася за формулою (1):

$$\bar{X}_{ij} = \frac{|x_{ij} - \tilde{x}_j|}{\max/\min x_j - \tilde{x}_j}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n; \quad j = 1, 2, 3, \dots, m, \quad (1)$$

де \bar{X}_{ij} – нормоване значення показника;

x_{ij} – часткові показники екотуристичного потенціалу;

\tilde{x}_j – найгірші значення по кожному показнику з усіх узятих для розрахунків;

$\max/\min x_j$ – найбільші відміні від \tilde{x}_j значення показників;

n – кількість досліджуваних територіальних одиниць;

m – кількість показників, узятих для розрахунків.

Для показників-дестимуляторів стандартизація здійснювалася за формулою (2):

$$\bar{X}_{ij} = \frac{\left| \max/\min x_j - x_{ij} \right|}{\left| \max/\min x_j - \tilde{x}_j \right|}, i = 1,2,3,\dots,n; j = 1,2,3,\dots,m, \quad (2)$$

де \bar{X}_{ij} – нормоване значення показника;

x_{ij} – часткові показники екотуристичного потенціалу;

\tilde{x}_j – найгірші значення по кожному показнику з усіх узятих для розрахунків;

$\max/\min x_j$ – найбільші відміні від \tilde{x}_j значення показників;

n – кількість досліджуваних територіальних одиниць;

m – кількість показників, узятих для розрахунків.

Для розрахунку інтегрального індексу екотуристичного потенціалу використано формулу (3):

$$I_e = \frac{\sum \bar{X}_{ij}}{n}, \quad (3)$$

де I_e – інтегральний індекс екотуристичного потенціалу;

\bar{X}_{ij} – стандартизований показник;

n – кількість стандартизованих показників.

Величина інтегрального індексу екотуристичного потенціалу коливається від 0 до 1 і є безрозмірною, яка виражає акумулятивний ефект урахування різноманітних часткових показників [4].

На основі розрахунку інтегрального індексу, ми змогли отримати інтегровані значення для кожного району Хмельницької області, звідси, усі райони було проранговано відповідно до значень цього індексу (таблиця 3).

Таблиця 3

Результати розрахунків інтегрального індексу

№ з/п	Назва району	Узагальнений показник інтегрального індексу	Ранг району
1	Кам'янець-Подільський	0,757	1
2	Чемаровецький	0,534	2
3	Шепетівський	0,502	3
4	Старокостянтинівський	0,496	4
5	Летичівський	0,486	5
6	Ізяславський	0,485	6
7	Новоушицький	0,481	7
8	Красилівський	0,451	8
9	Білогірський	0,447	9
10	Деражнянський	0,441	10
11	Городоцький	0,427	11
12	Дунаєвецький	0,424	12
13	Славутський	0,423	13
14	Хмельницький	0,402	14
15	Вінковецький	0,367	15
16	Волочиський	0,354	16
17	Старосинявський	0,351	17
18	Ярмолинецький	0,334	18
19	Полонський	0,326	19
20	Теофіпольський	0,289	20

Відповідно до цього рангування, найвищий показник має Кам'янець-Подільський район, найнижчий – Теофіпольський.

Оскільки, після розрахунку інтегрального показника, за отриманими результатами у деяких районів є схожі значення, застосовано метод кластерного аналізу, основною метою якого є знаходження груп схожих об'єктів за декількома ознаками, у нашому випадку, відібрано ті самі показники, що й для визначення інтегрального індексу екотуристичного потенціалу.

Щоб провести групування районів, обрано метод кластеризації k-середніх. На основі розрахунків виділено 3 кластери (рис. 1).

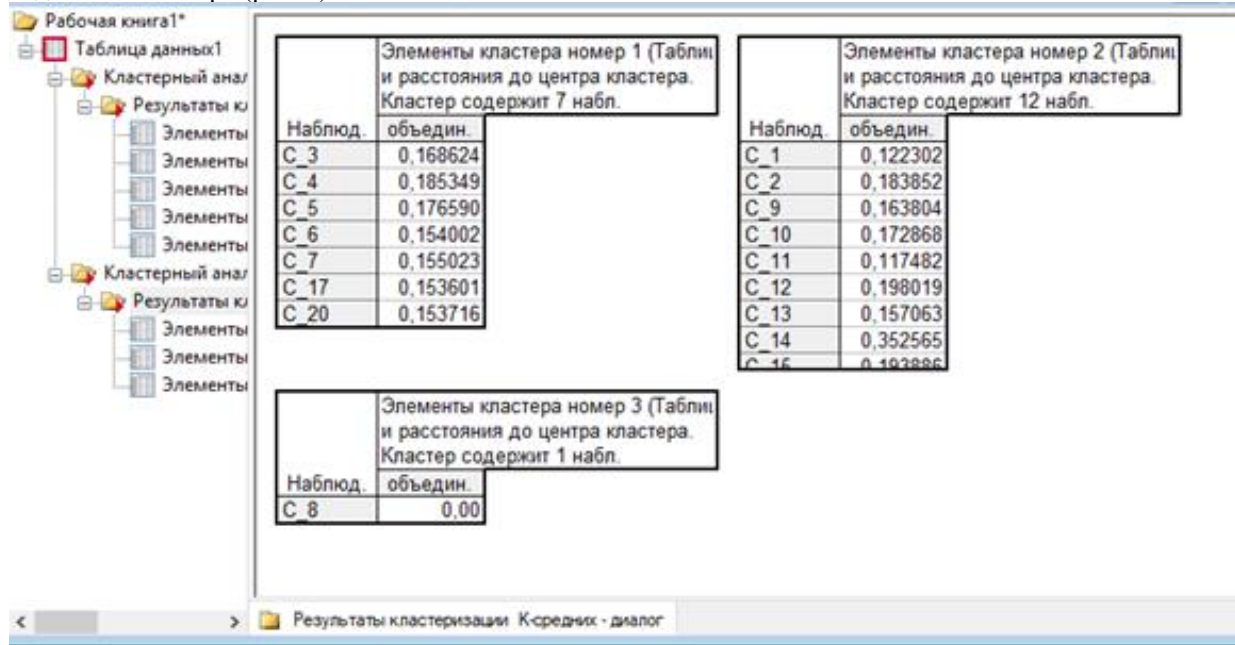


Рис. 1. Результати кластеризації k-середніх

Перший кластер складається з одного об'єкта – Кам'янець-Подільського району. Відокремлення цього району обґрунтовано його показниками, адже він порівняно з іншими, має найвищі значення показників-стимуляторів та помірні значення показників-дестимуляторів, отже його можна характеризувати, як район з високим екотуристичним потенціалом.

До другого кластеру відносяться: Волочиський, Городоцький, Деражнянський, Дунаєвський, Ізяславський, Хмельницький та Ярмолинський райони. Кластер характеризується достатньою кількістю природних ресурсів та великим рівнем пам'яток культурної спадщини. Однак наявні чимало активних промислових підприємств, значний рівень викидів забруднюючих речовин у повітря. Тому, другий кластер характеризується середнім екотуристичним потенціалом.

Третій кластер складається з Білогірського, Вінковоцького, Летичівського, Новоушицького, Полонського, Славутського, Старокостянтинівського, Старосинявського, Теофіпольського, Чемеровецького та Шепетівського районів. Для районів, що відносяться до третього кластеру характерна велика частка пам'яток культурної спадщини та природних ресурсів. Водночас, кластер має високі показники кількості активних промислових підприємств та забруднюючих атмосферу викидів, що є стримуючим фактором розвитку екотуризму.

Проведений кластерний аналіз районів Хмельницької області дозволив оцінити екотуристичний потенціал та окреслити напрямки розвитку екотуризму для районів в межах кластерів.

Пропонуємо використати імідж м. Кам'янець-Подільського та найбільший екотуристичний потенціал Кам'янець-Подільського району для формування позитивного сприйняття Хмельниччини як привабливого регіону для екологічного туризму. Варто створити спеціальний інформаційно-довідковий ресурс з інформацією про існуючі екологічні маршрути і тури в межах усієї області; проводити тренінги для туроператорів та місцевих жителів, які задіяні у сфері екологічного туризму; залучати інвестиції в реконструкцію та збереження пам'яток архітектури та історії; реалізовувати програми і проекти, спрямовані на залучення молоді до природоохоронних заходів.

Для районів, що характеризуються середнім екотуристичним потенціалом, варто використовувати наявні культурні, етнічні, національні, фольклорні можливості та природні ресурси для того, щоб розвивати екотуризм, а саме: організувати наукові, культурні заходи (фестивалі, семінари, виставки тощо), завдяки яким можна поширювати інформацію про екотуризм; залучати інвестиції для розвитку інфраструктури територій, які можуть бути потенційними об'єктами екотуризму (наприклад, біля родовищ мінеральних вод у Волочиському та Городоцькому районах); розробити комплекс екотуристичних і екскурсійних програм для різних категорій відвідувачів; облаштувати екологічні стежки і маршрути; здійснювати промоцію рекреаційного потенціалу районів.

Для районів з найнижчим екотуристичним потенціалом, на нашу думку, будуть дієвими такі заходи: покращення якості довкілля районів, забезпечення його екологічної стабільності та привабливості ландшафтів; заохочення місцевого населення до надання послуг сільського (зеленого) туризму; створення або удосконалення інфраструктури (в тому числі за допомогою залучення інвесторів), необхідної для якісного обслуговування відвідувачів.

Висновки. Таким чином, за результатами кластерного аналізу районів Хмельницької області оцінено їх потенціал розвитку екологічного туризму і виділено три кластери, більш детальний аналіз окремих ознак та особливостей яких дозволив сформулювати напрями розвитку екотуризму у окремих районах в межах кластерів відповідно до існуючих природних, ландшафтних, рекреаційних ресурсів, історико-культурної спадщини, унікальної ментальності мешканців та особливостей місцевості. Отримані результати допоможуть розробити стратегію розвитку екологічного туризму Хмельницької області, у чому бачаємо перспективи подальших розвідок.

Література

1. Jacobson S., Robles R. Ecotourism, sustainable development, and conservation education: development of a tour guide training program in Tortuguero, Costa Rica. *Environmental Management*. p. 701–713.
2. Про Стратегію сталого розвитку «Україна – 2020» України [Електронний ресурс] : указ президента України від 12.01.2015 № 5/2015. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/ru/5/2015> (дата звернення 29.09.2019).
3. Стратегія регіонального розвитку Хмельницької області на 2011-2020 роки [Електронний ресурс] : затверджено розпорядження голови Хмельницької обласної державної адміністрації 26 грудня 2011 року № 504/2011-р. // Офіційний сайт Хмельницької обласної державної адміністрації – Режим доступу : https://adm-km.gov.ua/doc/doc37_RD_Strategy.pdf (дата звернення 09.10.2019).
4. Голуб М. О. Наукові підходи до визначення потенціалу екологічного туризму / М. О. Голуб // Вісник Одеського національного університету. Серія : Економіка. – 2015. – Т. 20, Вип. 1 (1). – С. 41–45.
5. Баженова С. Е. Сучасний стан туристичної галузі в Хмельницькій області / С. Е. Баженова // Вісник Кам'янець-Подільського національного університету І. Огієнка. Економічні науки. – 2013. – Вип. 8. – С. 314–315.
6. Щепанський Е. В. Рекреаційне районування Хмельницької області / Е. В. Щепанський // Вісник Хмельницького інституту регіонального управління та права. – 2002. – № 1. – С. 156–161.
7. Хмельниччина : науково-популярне видання про історію, культуру та природу Хмельниччини / упорядник Т. С. Колесниченко. – Хмельницький : «Поліграфіст», 2017. – 176 с.
8. Райони Хмельницької області / Хмельницька обласна державна адміністрація [Електронний ресурс] / Режим доступу : https://www.adm-km.gov.ua/?page_id=60550 (дата звернення 24.09.2019).
9. Офіційний сайт Головне управління статистики у Хмельницькій області [Електронний ресурс]. — Режим доступу : www.kmtm.ukrstat.gov.ua/ukr/index.h

References

1. Jacobson S., Robles R. Ecotourism, sustainable development, and conservation education: development of a tour guide training program in Tortuguero, Costa Rica. *Environmental Management*. p. 701–713.
2. Pro Stratehiiu staloho rozvytku «Ukraina – 2020» Ukrainy [Elektronnyi resurs] : ukaz prezydenta Ukrainy vid 12.01.2015 № 5/2015. – Rezhym dostupu : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/ru/5/2015> (data zvernennia 29.09.2019).
3. Stratehiia rehionalnoho rozvytku Khmelnytskoi oblasti na 2011-2020 roky [Elektronnyi resurs] : zatverdzheno rozporiadzhennia holovy Khmelnytskoi oblasnoi derzhavnoi administratsii 26 hrudnia 2011 roku № 504/2011-r. // Ofitsiinyi sait Khmelnytskoi oblasnoi derzhavnoi administratsii – Rezhym dostupu : https://adm-km.gov.ua/doc/doc37_RD_Strategy.pdf (data zvernennia 09.10.2019).
4. Holub M. O. Naukovi pidkhody do vyznachennia potentsialu ekolohichnoho turyzmu / M. O. Holub // Visnyk Odeskoho natsionalnoho universytetu. Serii : Ekonomika. – 2015. – T. 20, Vyp. 1 (1). – S. 41–45.
5. Bazhenova S. E. Suchasnyi stan turystychnoi haluzi v Khmelnytskii oblasti / S. E. Bazhenova // Visnyk Kamianets–Podilskoho natsionalnoho universytetu I. Ohiiienka. Ekonomichni nauky. – 2013. – Vyp. 8. – S. 314–315.
6. Shchepanskyi E. V. Rekreatsiine raionuvannia Khmelnytskoi oblasti / E. V. Shchepanskyi // Visnyk Khmelnytskoho instytutu rehionalnoho upravlinnia ta prava. – 2002. – № 1. – S. 156–161.
7. Khmelnychchyna : naukovo-populiarne vydannia pro istoriiu, kulturu ta pryrodu Khmelnychchyny / uporiadnyk T. S. Kolesnychenko. – Khmelnytskyi : «Polihrafist», 2017. – 176 s.
8. Raiony Khmelnytskoi oblasti / Khmelnytska oblasna derzhavna administratsiia [Elektronnyi resurs] / Rezhym dostupu : https://www.adm-km.gov.ua/?page_id=60550 (data zvernennia 24.09.2019).
9. Ofitsiinyi sait Holovne upravlinnia statystyky u Khmelnytskii oblasti [Elektronnyi resurs]. — Rezhym dostupu : www.kmtm.ukrstat.gov.ua/ukr/index.h

Рецензія/Peer review : 17.5.2020 р.

Надрукована/Printed : 12.6.2020 р.
Прорецензовано редакційною колегією

A. FARISIEIEV, A. NOVIK, O. VIENKO
Oles Honchar Dnipro National University

MODERN APPROACHES TO IMPROVING THE TECHNOLOGY OF EMULSION-TYPE SAUCES

Focusing on healthy eating and the desire to consume environmentally friendly products is the basis for active renewal of the range of sauces produced and sold, as sauces are an integral part of the daily diet. Traditional sauces, which are mainly used for cold dishes, can no longer fully meet the growing needs of the restaurant business, and sauces intended for use in hot form or in the production of hot dishes need to be significantly expanded. At the same time, little attention is paid to improving the consistency of sauces. Therefore, the urgent task of the food industry is research in the direction of developing technologies of mayonnaise sauces, which in addition to improving the nutritional and biological value of finished products will reduce the cost of their production by reducing the content of expensive structuring ingredients.

Keywords: emulsion sauces, pectin substances, diversification, nutritional value, biological value.

А.Г. ФАРИСІЄВ, Г.В. НОВИК, О.Ю. ВІЄНКО
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ СОУСІВ ЕМУЛЬСІЙНОГО ТИПУ

Орієнтування на здорове харчування та бажання споживати екологічно чисту продукцію є підставою для активного оновлення асортименту соусів, що виробляються та реалізуються, оскільки соуси – це невід’ємна частина щоденного раціону людини. Традиційні соуси, які застосовуються переважно для холодних страв, вже не можуть в повній мірі задовольнити зростаючі потреби ресторанного бізнесу, а соуси, призначені для використання в гарячому вигляді або у виробництві гарячих страв, потребують значного розширення. При цьому питанням покращення консистенції соусів приділяється мало уваги. Тому дослідження у напрямку розробки таких технологій майонезних соусів, які окрім покращення харчової та біологічної цінності готових виробів дозволять здешевити вартість їх виробництва шляхом зменшення вмісту дороговартісних структуроутворюючих інгредієнтів є актуальним завданням харчової промисловості.

Ключові слова: емульсійні соуси, пектинові речовини, розширення асортименту, харчова цінність, біологічна цінність.

Target setting. Until about 2016, the restaurant business in Ukraine could be considered one of the few areas of profitable investment, but today, due to the difficult economic situation in the country, the competition of these institutions has grown almost exponentially. Thus, in conditions of fierce competition, entrepreneurs face a serious problem of attracting new and retaining existing consumers, which can be solved by updating the range of products and additional services [1].

It should be noted that a significant proportion of competitive restaurants have their own concept, which is primarily reflected in the menu of the institution. Restaurateurs in developing the menu focus on consumer demand, which has become more demanding on the quality of food and its organic composition.

It is well known that about 70% of the dishes sold in restaurants are served with sauces. This allows not only to improve the appearance, taste and aroma of the finished dish, but also to increase the content of useful nutrients [2].

According to modern trends in healthy eating, the market of sauces in Ukraine is no exception and it can be noted that consumers are increasingly focused on healthy eating and are willing to consume environmentally friendly products [3]. This creates the preconditions for active updating of the range of sauces produced and sold according to the principles of logistics [4, 5].

Purpose statement (research objective). The purpose of the article is to identify current trends in new technologies for the production of sauces for restaurants both in Ukraine and abroad. To achieve this goal within the limits of this article the following scientific tasks have been solved: analysis of improvement or development of new technologies of emulsion-type sauces; determination of types of additives used in the manufacture of sauces; features of application of additives in sauces are covered.

Actual scientific researches and issues analysis. Studying the technology of sauces, it can be noted that to ensure the stability of the emulsion system, their production involves the use of polysaccharides of various origins, including natural and synthetic [6].

Scientists of the Odessa National Academy of Food Technologies are actively researching the development of technology and recipes for the production of dressing sauces [7] based on guar gum with a mass fraction of 0.6 ... 0.8 with water solvent and replacing sucrose with fructose to reduce sugar in creative sauce.

The required texture of dressing sauces is provided by the use of hydrocolloids with different physicochemical properties, such as locust bean gum and a composite mixture of xanthan gum and kappa carrageenan. In order to form the consistency of the sauce and the presence of particles of the product in the suspended state, treatment of pepper and walnut particles with sunflower lecithin, which forms a hydrophobic shell on the surface of the pieces of suspended components. A characteristic feature of the resulting dressing sauces is low caloric content, colour and taste, low viscosity of the structure and high content of biologically valuable substances due to the presence of particles of berries, nuts and vegetables. In addition, the recipe of nut sauces has been

improved by adjusting the content of polyunsaturated fatty acids in accordance with physiological norms of consumption [8].

One of the modern approaches to the use of polysaccharides in emulsion-based sauces is the possibility proposed by the authors [9] to combine fruit and berry puree, flavouring and composite mixture of polysaccharides (gum arabic, pectin) in the amount of 15% by weight of fruit and berry puree and obtain sauces with high content of micro- and macroelements.

Scientists [10] have improved the production technology and developed recipes for sauces that can be used in molecular cuisine. This development allows to apply the process of spherification of sauce products, which became possible due to the use of chitosan and agaroid in the developed formulations as stabilizers and emulsifiers.

The issue of increasing the shelf life of food products in the oil and fat industry with the maximum compliance with the initial quality is the authors [11]. To this end, a study of the effect of fortifying additives on the formation of the quality of mayonnaise in order to develop a functional product with improved storage ability. It is established that the use of rosemary extract and biologically active drug «Nova SOL Q» in the calculated dosages allows to preserve the primary quality of the oil-fat emulsion. This is achieved by stabilizing the oxidative and microbiological spoilage of the product against the background of the manifestation of antioxidant properties of the studied enrichment additives, thereby extending the shelf life of mayonnaise.

All these additives, in particular guar gum, gum arabic, pectin extend the shelf life of sauces and reduce the demulsification.

As you know, in restaurants there is no need for long-term storage of the finished product and we can assume that the addition of stabilizers to sauces as additives is not appropriate.

As stabilizers it is possible to recommend unconventional vegetable raw materials of a natural origin which costs times cheaper and does not demand difficult technological process of its preparation.

Presentation of basic material of the research. Analytical studies confirm that the development of technologies for emulsion sauces such as mayonnaise is carried out mainly in the direction of extended shelf life and improving the consistency of sauces, which usually leads to an increase in the cost of the finished product. Therefore, new technologies of mayonnaise sauces are relevant, which will reduce the cost of their production through the introduction of non-traditional vegetable raw materials.

It is well known that non-traditional plant raw materials have significant advantages over synthetic drugs, in particular it contains a natural complex of biologically active substances, macro- and micronutrients in the most accessible and digestible form.

Due to this, the use of vegetable raw materials for sauces and products of its processing becomes more promising. The presence of dietary fiber, organic acids, phenolic compounds, vitamins and minerals in this raw material not only gives it high biological value, but also causes it to show high functional and technological properties and, as a consequence, allows to influence the course of technological processes, quality of semi-finished products and finished products [12].

The introduction of vegetable raw materials in the manufacture of sauces can be carried out in the form of pastes, purees, juices, powders (including non-traditional types of flour) or combinations thereof.

Enriching ingredients include cereal flour, flax, nuts, berries, algae, as well as little-known but promising, non-traditional and wild types of raw materials and products of its processing. Limited use of such raw materials is associated only with the geographical location of its germination and in some cases the difficulty of collecting.

The technology of chocolate-nut emulsion was developed in the research [13]. The author proposes to use a mixture of aqueous extract of root of Saponaria and laminall as an emulsifier, preservative and stabilizer as a filler – pine nut kernels, milk powder, cocoa powder, vanillin, cinnamon and deodorized soybean oil.

Another innovative type of sauce products are sweet and spicy pumpkin sauces, which can be considered analogues of ketchups, which have gained wide popularity among the population of the former Soviet Union. In the developed recipe of these sauces the content of tomatoes is replaced by pumpkin, which is considered a more dietary product from the point of view of nutritionists [14].

A special place belongs to the expansion of the range of mayonnaise, which is associated with the ease of varying the flavour profile of the product, the introduction into the formulation of various additives with certain functional and physiological properties and the ability to replace traditional ingredients (for example, an emulsifying emulsion ingredient, berry pectin-containing raw materials) [15].

The use of raspberry puree (10%) in the mayonnaise sauce can significantly increase the resistance of the product to oxidation without preservative and enrich the mayonnaise product with biologically active substances of plant origin [16].

Scientists are working on optimizing the nutritional value of sauce products and improving the nutrition structure of the population of Ukraine through the use of cereal flour [17]. It is proved that cereal flour, including pearl and oatmeal, in sufficient quantities contains higher polysaccharides – fiber, hemicellulose, mucous and pectin substances, which can play the role of functional substances in the technology of emulsion-type sauces. Recipes for snack sauces based on oatmeal and pearl barley flour were developed, their organoleptic and physicochemical parameters were studied, which confirmed their compliance with standard requirements for similar products.

The technology of functional emulsion-type sauces with increased nutritional value has been improved by adding fucus and wakame seaweed. It is established that the use of algae additives in the technology of sauces such as "mayonnaise" not only increases the nutritional and energy value, but also improves the organoleptic characteristics of sauces [18].

A formulation of natural mayonnaise product «Omega» has been developed, which has increased biological value due to the use of kelp gel as a stabilizer, which naturally contains a significant amount of minerals. Optimized fatty acid composition in the ratio of polyunsaturated fatty acids Omega-6 and Omega-3 is achieved by using in the technology of mayonnaise soybean and linseed oils to replace traditional sunflower [19].

The technology of sweet and sour sauces of high biological value was proposed by the authors [20]. Along with the use of algae as the main source of iodine, the authors add wild raw materials as a source of biologically active substances. Hydrated algae in the following concentrations are offered as iodine-containing additives: Laminaria – 8%, fucus – 5% and Undaria pinnatifida – 3%.

Some scientists around the world are conducting research aimed at developing new types of sauces based on mayonnaise through the introduction of natural ingredients such as flax seeds [21], and a combination of flax seeds and fucus [22].

A distinctive feature of the development of technology of sea buckthorn sauce emulsion type is the replacement of structure-forming agents with apples with sea buckthorn and the use of ultrasonic treatment by ensuring the microbiological purity of the product based on yogurt. The fruits of sea buckthorn and apples were mixed in a ratio of 0.8: 0.2, subjected to heat treatment at a temperature of 85-90°C, then by squeezing obtained sea buckthorn-apple juice. The shrot that left after wiping was used as an additive in a yogurt-based sauce. To do this, it was dried, crushed, then added to yogurt mixed with mustard powder and lemon juice in the ratio (to the weight of yogurt) 3: 2: 2, respectively [23].

The generalization of the analysis of information sources allows us to note that the use in the technology of production of vegetable sauces and products of its processing allows to solve several issues simultaneously. First, it provides a comprehensive enrichment of physiologically useful nutrients in a bioavailable form. Secondly, certain features of the chemical composition of such raw materials determine the manifestation of their functional and technological properties. This has a positive effect on the structural and mechanical characteristics of the finished sauces, allows you to adjust the prescription composition of products (in particular, reduce the content of raw materials with high cost (egg products) or low biological value), use natural additives containing pectins, alginates and other non-starch polysaccharides, to prevent oxidation of the lipid complex during storage (additives with a high content of polyphenolic compounds), etc.

Also, it can be noted that the mayonnaise market is gaining popularity among consumers, so in 2018, starting in September, there was a seasonal increase in mayonnaise production. Production of mayonnaise by large and medium-sized enterprises in Ukraine has returned to its maximum level since the beginning of 2018 and amounted to 13.9 thousand tons. The seasonal growth of emulsion production is also influenced by the expansion of the range, due to mayonnaise-based sauces and the work of marketers on the product type.

A certain niche in the production of emulsion products is occupied by the products of processing of any vegetable raw materials, which also due to its addition will expand the range of products based on mayonnaise.

Conclusions. One of the most important technological aspects of the preparation of emulsion sauces, after optimizing the fatty acid composition, is to ensure the stability of the consistency, which is usually solved by adding polysaccharides: pectin, starch, hemicellulose, etc. Based on the analysis of literature data, it is established that non-traditional vegetable raw materials contain certain functional properties that can be used as structure-forming agents in sauce technology. In addition, it is a source of antioxidants, which is important in the diet of the population.

References

1. Ivashyna L.L. Perspektivy rozvytku restorannoho biznesu yak skladnyka industrii hostynnosti / L.L. Ivashyna // *Ekonomika i suspilstvo*. – 2018. – № 14. – S. 597–600. – URL : http://economyandsociety.in.ua/journal/19_ukr/19_2018.pdf (data zvernennia: 30.05. 2020).
2. Sehedra S. A. Otsinka spozhyvannia osnovnykh prodovolchych produktiv v Ukraini / S. A. Sehedra // *Zbirnyk naukovykh prats VNAU*. – 2012. – № 3. – S. 69–74.
3. Rynok maioneziv ta sousiv. Osoblyvosti i tendentsii v Ukraini. – URL : <https://koloro.ua/ua/blog/issledovaniya/rynok-majoneza-i-sousov-osobennosti-i-tendentsii-v-ukraine.html> (data zvernennia: 30.05. 2020).
4. Diakonova A. K. Perspektivni napriamky rozvytku i rozshyrennia asortymentu sousnoi produktsii na emulsiinii osnovi / A. K. Diakonova, V. S. Stepanova // *Kharchova nauka i tekhnolohiia*. – 2015. – № 4 (9). – C. 3–7. – URL : http://nbuv.gov.ua/UJRN/Khnt_2015_9_4_3.
5. Hansen, T., & Uth Thomsen, T. (2018). The Influence of Consumers Interest in Healthy Eating, Definitions of Healthy Eating, and Personal Values on Perceived Dietary Quality. *Food Policy*, 80, 55-67. URL: <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2018.09.002>
6. Tekhnolohii sousiv solodkykh iz vykorystanniam krokmaliv fizychnoi modyfikatsii : monohrafiia / [S.S. Andrieieva, M. B. Kolesnikova, O. O. Hrynchenko, P. P. Pyvovarov]. – Kharkiv : KhDUKhT, 2017. – 131 s.
7. Telezhenko L. M. Kreatyvni sousy-dresinhy – novi produkty na rynku Ukrainy / L. M. Telezhenko, A.V. Mud // *Kharchova nauka i tekhnolohiia*. – 2010. – № 4. – S. 49–51.
8. Telezhenko L. Tekhnolohiia horikhovykh sousiv zi zbalansovanyim zhyrnokyslotnym skladom / L. Telezhenko // *Tovary i rynky*. – 2014. – № 1. – S. 175– 184. – URL : http://nbuv.gov.ua/UJRN/tovary_2014_1_21.
9. Kravchenko M.F. Plodovo-yahidni systemy yak osnova dlia sousiv / M.F. Kravchenko, A.V. Antonenko, V.S. Mykhailyk. – Kharkiv : KhDUKhT, 2012. – S. 49–55.
10. Jim Smith, Edward Charter. *Functional food product development*. Wiley-Blackwell. 2010. 528 r.
11. Naumova N. L. Formirovanie kachestva majoneza s antioksidantnymi svojstvami v processe okislitelnoj porchi / N. L. Naumova, A. A. Lukin, A. S. Koval // *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. – 2014. – № 6 (116). – S. 133–139.
12. Dzhahangirova G. Z. Funkcionalno-tehnologicheskie svojstva rastitelnyh poroshkov / G.Z. Dzhahangirova // *European research*. – 2016. – № 12. – S. 22–24.
13. Antonechko A.V. Tekhnolohiia sousiv z diietychnymy dobavkamy funktsionalnogo pryznachennia : avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. tekhn. Nauk : 05.18.16 / Antonechko A.V. – Kyiv, 2011. – 23 s
14. Korostyleva L.A. Tykvennye ketchupy / L.A. Korostyleva, L.A. Tekuteva // *Hranenie i pererabotka selhoz syrja*. – 2012. – № 11. – S. 52–54.

15. Maria A. Rojas-Grau^a, Roberto J. Avena-Bustillos^b, Carl Olsen^b, Journal of Food Engineering № 81. 2007. p. 634–641. doi 10.1016/j.jfoodeng.2007.01.007.
16. Davydova U. Yu. Izmenenie kachestva majoneznogo sousa v processe hraneniya / U. Yu. Davydova, N.A. Velichko // Vestnik KrasGAU. – 2017. – № 6. – S. 85–90.
17. Choni I. V. Vykorystannia pryrodnykh stabilizatoriv u tekhnologii emulsiinoi produktsii / I. V. Choni, T.Iu. Sutkovych // Naukovyi visnyk Poltavskoho universytetu ekonomiky i torhivli. – 2015. – № 1 (73). – S. 54–59.
18. Melnykov K.O. Udoskonalennia tekhnologii sousiv emulsiinoho typu za rakhunokvykorystannia vodorostevoi syrovyny / K.O. Melnykov, T.O. Kolisnychenko, Yu.A. Matsuk, T.S. Lystopad // Naukovyi visnyk Lvivskoho Natsionalnoho universytetu veterynarnoi medytsyny ta biotekhnologii im. S. Z. Hzhyskoho. – 2017. – № 80, T. 19. – S. 107-113. – DOI : 10.15421/nvlvet8015.
19. Smertina E. S. Ispolzovanie netraditsionnogo syrya v tekhnologii majoneznoj produktsii s celyu optimizatsii zhirkokislotoznoho sostava / E. S. Smertina, E. A. Kuznecova, L. N. Fedyanina, V.A. Lyah // Pishhevaya promyshlennost. – 2017. – № 5. – S. 35–37.
20. Dejnichenko G.V. Opredelenie soderzhaniya gmo v innovatsionnykh yagodnykh sousah / G.V. Dejnichenko, T.S. Listopad / NamMKI, 28-30 noyabr, 2019 jil, Namangan shaxri. – S. 382–384.
21. Rudavska H. Maioneznyi sous z vykorystanniam nasinnia Ionu / H. Rudavska, N. Annienkova // Prodovolcha industriia APK. – 2011. – № 5 (13). – S. 40–44.
22. Korzun V. N. Tekhnologii sousiv z vykorystanniam fukusu ta nasinnia Ionu / V. N. Korzun, I.Iu. Antoniuk, O. I. Shkira // Naukovi pratsi ONAKhT. – 2013. № 44. – S. 138–142.
23. Dugarova I.K. Kompleksnoe ispolzovanie plodov oblepihi v proizvodstve pishyevykh produktov / I.K. Dugarova, G.C. Cybikova, I.T. Aleksandrova // Izvestiya vuzov. Prikladnaya himiya i biotekhnologiya. – 2016. – T. 6. № 3. – DOI : 10.21285/2227-2925-2016-6-3-128-134

Рецензія/Peer review : 11.5.2020 р.

Надрукована/Printed : 10.6.2020 р.
Прорецензовано редакційною колегією

FORMATION OF POLYMERIC COMPOSITE MATERIALS REINFORCED BY OIL FLAX FIBER

In work the analysis of the previous researches of the mechanism for formation of polymeric composite materials with the use of natural fibers as fillers and the estimated mechanism of the reaction between linen fiber and a polymeric matrix in the course of formation of composites are made. The hypothesis of possible barriers for emergence of adhesion between fiber and a matrix when pressing composites and ways of their overcoming is developed. The aim of the work is to prove experimentally the possibility of the use of fibers of oil flax as a cellulose filler for formation of composites on the basis of phenol formaldehyde polymers, and also, to develop theoretically the mechanism of interaction of oil flax fiber cellulose with a polymeric matrix of phenol formaldehyde resin. The indicators of bending strength and toughness of phenoplast filled with fiber flax is even higher than those of the phenoplast based on cotton linters. Thus, it was found that the quality of the polymer composites is somewhat higher than the quality of composite materials with addition of cotton which are imported to Ukraine. The experimental results confirm the hypothesis stated in the theoretical part of the article that reduction of the mass fraction of pectin, lignin and waxes in linseed flax fibers, increases the adhesion in a polymer matrix during the formation of the composites. The mechanism proposed of oil flax cellulose fiber and phenol formaldehyde polymer interaction makes it possible to claim that to increase adhesion of oil flax cellulose with phenol formaldehyde resin it is necessary to unblock hydroxyl groups of flax cellulose, that is to exempt them from waxes and thus to increase hydrophilicity of flax fiber. Therefore, to receive polymeric composite materials with the use of oil flax fiber as filler, preliminary deep purification of flax fiber from waxes is necessary.

Key words: composites, phenol formaldehyde resin, flax cellulose, adhesion

A. В. СУХОВІЙ, Л. А. ЧУРСІНА, Г. А. ТІХОСОВА, Н. В. НЕЖЛУКЧЕНКО

Херсонський національний технічний університет

ФОРМУВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ, АРМОВАНИХ ВОЛОКНОМ ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО

У роботі проведено аналіз попередніх досліджень щодо механізму формування полімерних композиційних матеріалів з використанням природних волокон у якості наповнювачів та висунутий передбачуваний механізм реакції між лляним волокном та полімерною матрицею в процесі формування композитів. Побудовано гіпотезу щодо можливих перепон для виникнення адгезії між волокном і матрицею під час пресування композитів і шляхів їх подолання. Поставлено завдання експериментально довести можливість використання волокон льону олійного як целюлозного наповнювача для формування композитів на основі фенол-формальдегідних полімерів, а також теоретично розробити механізм взаємодії целюлози волокна льону олійного з полімерною матрицею фенол-формальдегідних смол. Показники міцності при згинанні та ударної в'язкості фенопластів з наповнювачем з волокна льону олійного навіть вищі, ніж характеристики фенопластів на основі бавовняного лінту. Таким чином, встановлено, що якість отриманих полімерних композитів децю вища за якість композиційних матеріалів із додаванням бавовняного волокна, яке імпортується в Україну. Одержані експериментальні результати підтверджують гіпотезу, яку викладено в теоретичній частині даної статті про те, що завдяки зниженню масової частки пектину, лігніну та восків у складі лляного волокна підвищується адгезія лляного волокна до полімерної матриці в процесі формування композитів. Запропонований механізм взаємодії целюлозного волокна льону олійного та фенол-формальдегідного полімеру дає можливість стверджувати, що для підвищення адгезії целюлози льону олійного фенол-формальдегідною смолою, необхідно розблокувати гідроксильні групи лляної целюлози, тобто звільнити їх від восків і таким чином підвищити гідрофільність лляного волокна. Тому, для отримання полімерних композиційних матеріалів з використанням у якості наповнювача волокна льону олійного необхідно попереднє глибоке очищення волокна льону від восків.

Ключові слова: композити, фенол-формальдегідні смоли, лляна целюлоза, адгезія.

Problem statement.

The main materials which are used nowadays as fillers are glass, graphite aluminium, carbon, pine forest and beryllium. But when using natural fibrous fillers in composite polymeric materials, it is possible to reach safer production, more simple utilization and considerably lower raw materials purchase expenses. Therefore, recently it has become actual to use natural fibrous fillers in polymeric composite materials.

For today scientists around the world have achieved certain success in formation of composites with the use of natural cellulose fibers as fillers. In particular, it concerns the research of features of receiving polymeric composite materials with the use of natural fibers as fillers and studying of mechanisms of chemical reactions of fillers with polymeric matrixes in the course of formation of composites as described below.

Recent research and publications analysis.

The scientist Hongsheng Luo of the Polytechnical University of Hong Kong received composites on the basis of nano-whiskers of cellulose and polyacrylic acid (PAA). The scheme of the chemical reaction of formation of polymer with the use of nano-whiskers of cellulose is given in Fig. 1.

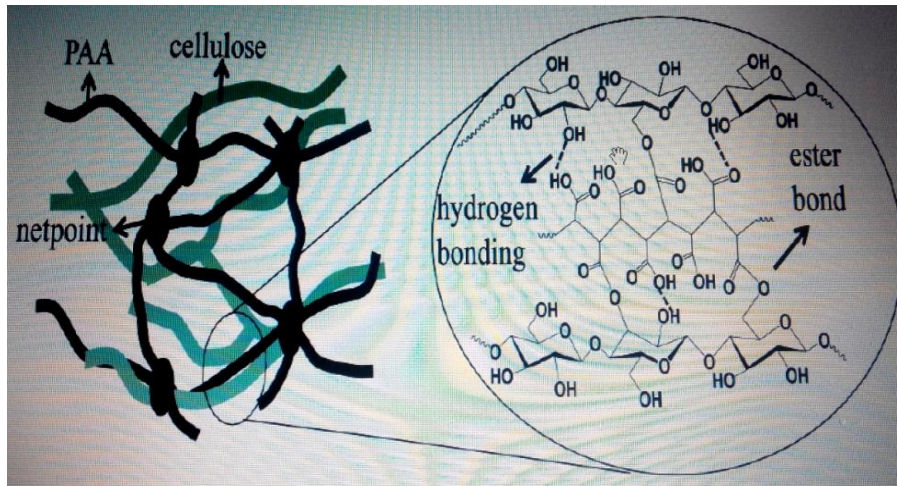


Fig. 1. The chemical reaction of formation of polymer with the use of nano-whiskers of cellulose and polyacrylic acid (PAA) [1]

The American scientists Jaewoong Lee, R. M. Broughton, S. D. Worley, T. S. Huang studied the mechanism of formation of intermolecular communications between the bleached cotton cellulose and m- aramid in the course of formation of a composite, which is shown in Fig. 2.

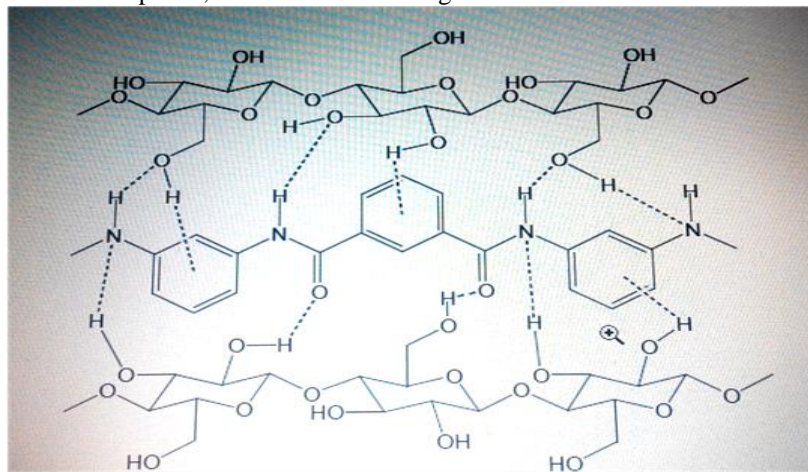


Fig. 2. Intermolecular communications between the cellulose and m-aramid [2]

On the facilities of the LLC "Priluki-Plastmass" Priluki, Chernigov region, polymeric composite materials are received today by pressing of phenol formaldehyde resin and cotton lint which now is scarce import raw material, and therefore, has high cost. In this regard, the question of replacement it with its cheaper and available domestic raw material which is not worse than cotton in physic-mechanical properties is very actual. Consequently, the problem of ensuring broad industrial use of fibrous materials, which can make alternative to cotton, is extremely important. Meanwhile, Ukraine has its own raw natural material containing cellulose, which annually renews, it is oil flax. Due to unique properties of flax, demand for this raw material is actively increasing. In this regard, in recent years around the world, and in particular, in Ukraine, crops of this culture have been considerably increased. It is necessary to notice that fiber of oil flax can be high-quality raw material for receiving cellulose and cellulose semi-finished products, paper, yarn, and also textile materials [3]. Besides, today flax fiber is widely used abroad for reinforcing of composite materials [4]. But there is no such experience in Ukraine. Therefore, the aim of the work is to prove experimentally the possibility of the use of fibers of oil flax as a cellulose filler for formation of composites on the basis of phenol formaldehyde polymers, and also, to develop theoretically the mechanism of interaction of oil flax fiber cellulose with a polymeric matrix of phenol formaldehyde resin.

Theoretical part. We will consider the estimated mechanism of interaction of flax cellulose with a polymeric matrix. The first stage of the process of receiving polymeric composite materials on the basis of flax fiber cellulose and phenol formaldehyde resin is receiving phenol formaldehyde resin. The mechanism of chemical reaction of polycondensation is shown in Fig. 3:

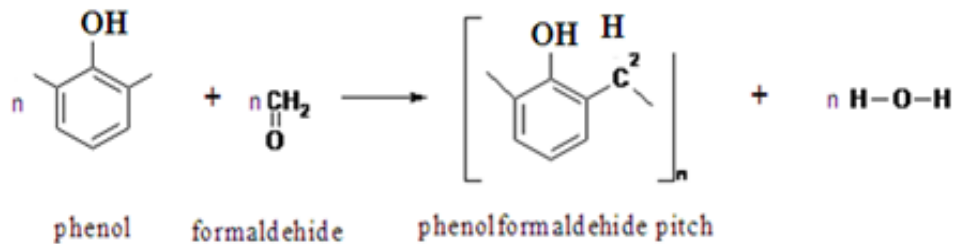


Fig. 3. The chemical reaction of the receiving of phenol formaldehyde resin

The second stage is a chemical reaction of the interaction of linen cellulose and phenol formaldehyde resin that is the formation of polymeric composite materials which may be run under the scheme given in Fig. 4:

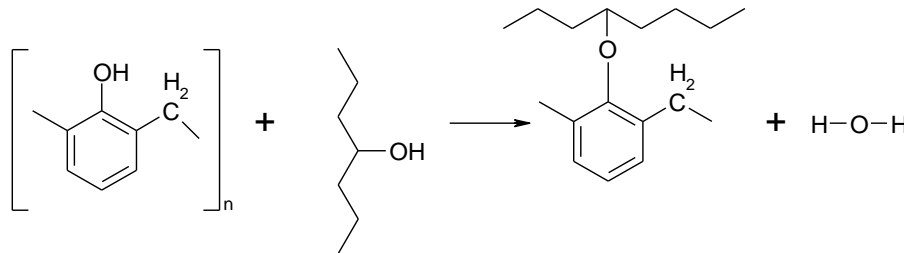


Fig. 4. The scheme of a chemical reaction of the interaction of linen cellulose and phenol formaldehyde resin

Materials and results

On the basis of preliminary theoretical and pilot studies on the facilities of LLC "Priluki-Plastmass" we made experimental samples of composite materials in which they used flax fiber received from stems of oil flax as filler. But in the course of receiving composites there was a stratifying of a polymeric matrix and fiber that is why there was no adhesion between fiber and the matrix. This negative phenomenon might have been caused by impurities in the flax fiber, including waxes which blocked active hydroxyl groups of cellulose. After all, it is known that wax in flax fiber composition causes its water repellence reducing reactionary ability of cellulose. In a result, such flax fiber has low wettability and therefore is unfit for pressing in composites. Thus the hypothesis was developed that preliminary purification of flax fiber from impurities, unlike with cotton fiber which almost doesn't contain them, is necessary for adhesion between flax fiber and a polymeric matrix when forming composites.

After crushing the linen raw materials were subjected to pulping in the laboratory pulping apparatus (Fig. 5.) by an oxidizing method at a temperature of 100 °C of 1 hour. Boiling compounding:

- hydrogen peroxide – 4,0 g/l;
- sodium hydroxide – 10,0 g/l;
- the calcined soda – 2,0 g/l;
- sodium silicate – 1,0 g/l;
- sodium tripolyphosphate – 1,0 g/l;
- penetrating agent – 0,3 g/l.

After pulping solution merges and washing begins: circulation by hot and cold water, processing by sulphuric acid (2 g/l), again washing with cold water and drying.



Fig. 5. Laboratory pulping apparatus

When pulping the main part of impurity passes into solution. But wax-like substances are hydrophobic hydrocarbons, esters of unsaturated acids and alcohols - remain in fiber and can be removed only with their emulsification. For these purposes we add surface-active substances to pulping solution - penetrating agent. At high

temperature wax melt ($T_m = 600\text{ }^\circ\text{C}$), spread on a fiber surface, and the penetrating agent transfers them to a drop-like state and transfers to pulping solution in the form of an emulsion according to the following scheme (fig. 6).

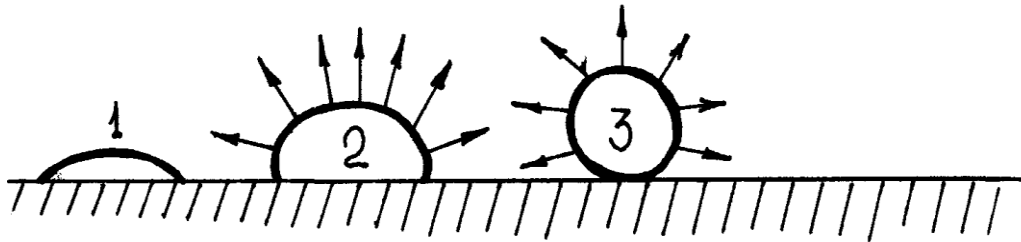


Fig. 6. Mechanism of emulsification of waxy impurity

Previously, using traditional techniques of the chemical analysis, they observed the content of main chemical components of the raw flax fiber and flax fiber after pulping process and wettability of flax fiber samples.

To determine the cellulose content, we used an accelerated method based on the conversion of cellulose to glucose by hydrolysis [5]. This method is based on oxidation of glucose received as the result of hydrolysis by iodine in an alkaline medium. The equation of the reaction is:



50 ml of filtrate containing hydrolyzed cellulose in the form of glucose was taken for titration. The experiment was repeated 5 times. The error of the experiment equaled 0,1 %. The content of the cellulose was calculated by the formula:

$$U = \frac{G_2 \times K}{G_F \times \frac{100 - K}{100}} \quad (2)$$

where G_2 - the mass of glucose in a fiber sample, g;

G_F - initial mass of the fiber, g;

K - ratio of the relative molecular mass of the elementary cellulose and glucose level.

One of the methods most frequently used in determination the content of lignin is hydraulic weighing that was also used in this work. This method is based on the fact that being exposed to vegetable fibers, freed prior from waxes, fats and resins with 72% sulphuric acid, lignin remains intact while all other components of the vegetable tissue change into solution. It makes it possible to separate lignin and determine its amount gravimetrically.

To determine the quantity of lignin there were selected 5 samples of 2 gram flax fiber that were crushed into fluff, weighed up to 0,001g accuracy and processed for 48 hours with 72% sulphuric acid. To achieve a better solution, the mixture was boiled for 2 hours, cooled and filtered afterwards.

The quantity of lignin was calculated in percentage as to the mass of absolutely dry fiber with up to 0,01 g accuracy by the formula:

$$L = \frac{G_L}{G_F} \times 100, \quad (3)$$

where G_L - the mass of the lignin, g;

G_F - the mass of the fiber, g.

It is worth considering the method of determining pectin substances in which pectin substances are determined by iodometric method that substantially speeds the analysis. This very method was used in the work [5]. To determine the quantity of pectin there were selected 5 samples of 2 gram fiber that were weighed up to 0,001g accuracy and then washed on a filter with hot water and treated with ammonium citrate for 2 hours while boiling. After processing, the solution was filtered, and the filtrate was used to determine the quantity of pectin. To do that the filtrate was added with a solution of sodium hydroxide, acetic acid and copper sulfate for sedimentation of copper salt of the polygalacturonic acid. The residue received was filtered and used to determine the quantity of copper by titration with the solution of the polygalacturonic acid.

The quantity of pectin was calculated in percentage by the formula:

$$P = \frac{V_R \times E_M \times K}{G_F} \times 100, \quad (4)$$

V_R - amount of hyposulfite, ml;

E_c - equivalent of the copper

K - coefficient of conversion of certain amount of copper into the calcium salt of the polygalacturonic acid.

The quantity of wax-like substances was determined by extraction of benzene [6]. Purified, crushed and

kept at certain humidity, fibrous material was treated with dried and distilled benzene for 6-8 hours. The amount of wax-like substances was determined as to absolutely dry fiber.

$$W = \frac{M_2}{M_1} \times 100, \quad (5)$$

where M_1 – the mass of the flax fiber before processing, g;
 M_2 – the mass of the flax fiber after processing, g.

Determination of wettability was carried out in accordance with ISO 7213-81. "Cellulose. Sampling for tests". To do the analysis, 15 g of air-dry cellulose of an average sample was taken, weighed with no more than 0,1 g error, formed a sample of the aluminium cylinder size which had been made before according to a sketch. The cellulose was put into the cylinder, weighed before, and compressed up to the internal mark 50 mm. The dust dropped during formation of the cylinder was picked up and put into the cylinder along with cellulose. A crystallization cup was filled with distilled water of $20 \pm 0,5^\circ\text{C}$ hot up to the level no lower than 20mm from the edge. Then the aluminium cylinder was placed inside to the level of the lower external low mark of the cylinder. In 30 seconds the aluminium cylinder with moistened mass was removed from the water and weighed with no more than 0,1 g error.

Wettability (X_2) was calculated in grams by the formula:

$$X_2 = m_1 - (m_2 + m), \quad (6)$$

where m – the mass of air-dry cellulose, g;
 m_1 – the mass of cylinder with cellulose after determination, g;
 m_2 – the mass of empty cylinder, g.

Determination of the mass fraction of ash is carried out in accordance with ISO 1762-74 "Cellulose. Method of Determining the Ash Content" [7]. To carry out the experiment, 5 g of air-dry cellulose was weighed with no more than 0.01 g error. A crucible was heated at the temperature $575 \pm 25^\circ\text{C}$ in a muffle furnace for 15 min, then cooled in a desiccator for 45 min, then weighed with accuracy up to the fourth decimal figure. The sample was placed into that crucible and roasted at a small fire of a gas burner up to complete carbonization, and then the crucible was placed into a muffle furnace and fried until complete combustion of the carbon.

After roasting, as evidenced by the absence of black particles, the crucible along with the content was cooled and weighed to the accuracy of four decimal figures.

Ash content in percent relative to the weight of the sample was calculated by the formula:

$$X_4 = \frac{m_1 \times 100}{m \times (100 - W)} \times 100, \quad (7)$$

where m – the mass of air-dry cellulose, g;
 m_1 – the mass of ash, g;
 W – the humidity of cellulose, %.

Results and discussion

The experimental results of the analysis of the chemical composition of the raw flax fibers and fibers after boiling are shown in Table 1.

Table 1

Chemical composition of flax fiber

	Cellulose, %	Pectin, %	Lignin, %	Ash, %	Waxes, %
Flax fiber	81,79	7,74	5,96	1,48	3,03
Flax fiber	98,22	0,40	0,320	1,06	-

By results of researches it is established that after pulping process wax is completely removed, the content of cellulose in flax fiber is increased by 16,43% in comparison with the raw fiber, the mass fraction of pectin is decreased by 7,34%, and a lignin – by 5,64%, also, during pulping process some decrease in the content of ashes was observed. Wettability of flax fiber after pulping made 105,43 g, and the raw fiber - 1,28 g, thus this indicator grew almost by 10 times. So the fiber of flax received after pulping process has a high content of cellulose and a high rate of wettability that is a powerful factor for formation of a polymeric composite.

To confirm the feasibility of replacing imported cotton with boiled linseed fibers in the manufacture of composites in facilities of "Priluki Plastics", after boiling flax fiber was later used to form the composite in the conditions of the said above enterprise.

Production of composites was the following: selected single samples were stirred and an average sample weighing no less than 1 kg was chosen. The average sample was placed in a clean, dry, moisture-proof package. A label indicating the batch number and the date of sampling was placed inside the package. Test specimens were prepared by compression molding. The main components for press materials were: resin, fibrous filler, hardener or resin curing agent, oils and others. Samples in the form of fiber bars were pressed in one place folding mold form.

As the result of these works, experimental samples of composite materials with the use of flax fiber were received. In the composites obtained, there were discovered the following physical and mechanical properties: strength in bending and impact strength.

Impact test was conducted in accordance with ST SEV 1491-79 "Method of Determining of Impact Strength by Sharpy" [8]. Determination was carried out at the pendulum speed $2.9 \text{ m/s} \pm 10\%$. The experiment was repeated five times.

Determination of the bending stress at fracture was carried out in accordance with ISO 178:2010 "Plastics. Test Method for Static Bending" [9] on bars measuring $80 \times (10 \pm 0,5) \times (4 \pm 0,2) \text{ mm}$ at the temperature of $23 \text{ }^\circ\text{C}$ and 50% relative humidity.

Physic-mechanical properties of cotton-based phenoplast and boiled flax fibers are shown in Table 2.

Table 2

Physico-mechanical characteristics of cotton-based phenoplast and boiled flax fibers

Type of fillers	Physico-mechanical characteristics of phenoplasts with different fillers	
	Bending stress at fracture, MPa	Impact strength, kJ/m ²
Boiled flax fiber	30,1	10,0
Cotton linter	30,0	9,0

The table shows that the indicators of bending strength and toughness of phenoplast filled with fiber flax is even higher than those of the phenoplast based on cotton linters. Thus, it was found that the quality of the polymer composites is somewhat higher than the quality of composite materials with addition of cotton which are imported to Ukraine.

The experimental results confirm the hypothesis stated in the theoretical part of the article that reduction of the mass fraction of pectin, lignin and waxes in linseed flax fibers, increases the adhesion in a polymer matrix during the formation of the composites.

Conclusions. The mechanism proposed of oil flax cellulose fiber and phenol formaldehyde polymer interaction makes it possible to claim that to increase adhesion of oil flax cellulose with phenol formaldehyde resin it is necessary to unblock hydroxyl groups of flax cellulose, that is to exempt them from waxes and thus to increase hydrophilicity of flax fiber. Therefore, to receive polymeric composite materials with the use of oil flax fiber as filler, preliminary deep purification of flax fiber from waxes is necessary.

References

1. Hongsheng Luo. Study on stimulus-responsive cellulose-based polymeric materials. Hong Kong, The Hong Kong Polytechnic University, 2012. 57 p.
2. Jaewoong Lee, R. M. Broughton, S. D. Worley, T. S. Huang, Journal of Engineered Fibers and Fabrics, Volume 2, Issue 4, 2007, 25 p.
3. Chursina L. A., Tikhosova G. A., Golovenko T. M., Myenyailo-Basista I. O.: Innovatsiini tekhnologii oderzhannia netkanykh ta tseliulozovmisnykh materialiv z lonu oliinogo. Kherson, Oldi-plius, 2014. 25-33 pp.
4. Zhivetin V.V., Ginzburg L.N.: Maslichny'i len i ego kompleksnoe razvitie. Moskow, TCNILKA, 2000. 72-89 pp.
5. Chursina L. A., Tikhosova G. A., Gorach O. O., Yanyuk T. I. Naukovi osnovi kompleksnoi pererobki ctebel ta nasinnya l'onu oliinogo. Kherson, Oldi-plius, 2011. 32-37 pp.
6. ISO 595-79. Czellyuloza. Otor prob dlya ispytaniy. (International standart).
7. ISO 1762-74. Czellyuloza. Metod opredeleniya sodержaniya zoly. (International standart)
8. ST SEV 1491-79. Plastmassy. Metod opredeleniya udarnoy vyazkosti po Sharpi. (International standart)
9. ISO 178:2010. Plastmassy. Metod ispytaniya na staticheskij izgib. (International standart).

Рецензія/Peer review : 04.5.2020 р.

Надрукована/Printed :09.6.2020 р.
Рецензент: д. т. н., проф. К.М. Клевцов

Т. О. КОЛЕСНИК, О. А. АНДРЕЄВА
Київський національний університет технологій та дизайну

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВІДМОЧУВАННЯ ШКІРЯНОЇ СИРОВИНИ В ПРИСУТНОСТІ ФЕРМЕНТНИХ ПРЕПАРАТІВ

Досліджено процес відмочування шкіряної сировини з використанням низки ферментних препаратів нового покоління за різних умов. Експериментально встановлено, що найкраще обводнення овчини досягається в присутності 0,5 % ферментного препарату В-2 та 1,5 % карбонату натрію, що дозволяє повністю виключити використання екологічно небезпечного сульфиду натрію. Отримані результати будуть враховані при удосконаленні технології виготовлення шкіряного пергаменту.

Ключові слова: шкіряна сировина, відмочування, ферментні препарати.

T.O. KOLESNYK, O.A. ANDREYEVA
Kyiv National University of Technologies and Design

RESEARCH OF THE PROCESS SOAKING OF LEATHER RAW MATERIAL IN THE PRESENCE OF ENZYME PREPARATIONS

When entering processing enterprises, leather raw materials contains impurities such as dirt, blood, preservatives. Removal of them, as well as compensation of moisture removed at the stage of conservation and storage of raw materials, are carried out during soaking. In practice, various chemical materials are used to speed up soaking. For example, the known technology of soaking skins intended for the manufacture of parchment involves the use of sodium sulfide, which, although it helps to speed up the process and prepare raw materials for further processing, but pollutes industrial effluents with sulfur-containing compounds harmful to aquatic organisms. Therefore, there is a need to search for more environmentally friendly and, at the same time, affordable materials. These materials include enzyme preparations. Taking into account the above, as the object of the study, we chose the process of soaking wet-salted sheepskin intended for the manufacture of parchment, and the subject - the effect of processing conditions (type and consumption of materials, duration) in the presence of five modern industrial enzyme preparations from OROPON TFL (Italy): ON-2, Ribez, Rinazym, KAB, B-2 in different pH ranges. It was experimentally found that the most effective watering of a sheepskin within six hours is achieved when 0,5 % of the enzyme preparation B-2 and 1,5 % of sodium carbonate are used. This result is probably due to the fact that, as a result of the interaction of the enzyme with the substrate, the concentration of hydrogen ions in the region of the active center of the enzyme changes and the pH optimum of its activity shifts with the expansion of the range of pH values at which the enzyme is more active.

Keywords: leather raw materials, soaking, enzyme preparations.

Вступ. Основна складова шкіри та натуральної шкіри – волокнистий колаген є гідрофільним, обмежено набухаючим капілярно-пористим матеріалом. При обводненні абсолютно сухого колагену розпізнають дві основні стадії: поглинання води гідратації та поглинання води набухання. Вода, що поглинається колагеном на першій стадії, міцно зв'язана з активними групами білка молекулярними силами так само, як і під час утворення гідратів, і повністю видалити її з колагену неможливо. Вода, що поглинається на другій стадії, за своїми властивостями не відрізняється від звичайної води, її молекули проникають у структуру колагену завдяки молекулярно-кінетичному рухові та рівномірно розташовуються між структурними елементами [1, 2]. Вода має важливе значення для структури колагену, оскільки стабілізує та пластифікує її, і, крім того, є своєрідним розчинником та засобом для проникнення хімічних матеріалів всередину дерми [3, 4]. Це суттєво впливає на проведення технологічних процесів, властивості напівфабрикату та готової шкіри.

При надходженні на переробні підприємства шкіряна сировина містить сторонні домішки у вигляді бруду, крові, білків, консервантів і т.і. Видалення цих домішок, а також компенсація вологи, втраченої на стадії консервування та зберігання сировини, здійснюються під час відмочування – одного з перших фізико-хімічних процесів шкіряного виробництва. На практиці для прискорення процесу відмочування використовують різноманітні хімічні матеріали, найбільш поширеними з яких є біологічно розкладні поверхнево активні речовини (ПАР), сульфід та карбонат натрію. У деяких методиках рекомендується додавати у відмочувальну рідину гідроксид натрію [5].

Відома технологія відмочування шкіри, призначених для виготовлення шкіряного пергаменту (у подальшому просто пергаменту) [6], передбачає використання сульфиду натрію, що хоча й сприяє прискоренню процесу та підготовці сировини до подальшого оброблення, але забруднює промислові стоки шкідливими для гідробіотів сірковмісними сполуками. Тому виникає потреба пошуку більш екологічно безпечних матеріалів. У наш час до найбільш екологічно безпечних матеріалів, поширених у різних галузях промислового виробництва, належать ферментні препарати. Застосування цих матеріалів у шкіряному виробництві вважається одним з перспективних напрямів розвитку галузі, оскільки забезпечує високу якість готової продукції та зменшує екологічне навантаження на навколишнє середовище [7-11]. З урахуванням викладеного метою роботи стало дослідження можливості використання ферментних препаратів нового покоління у процесі відмочування шкіри, призначених для виготовлення пергаменту.

Об'єкт дослідження – процес відмочування овчини, призначеної для виготовлення пергаменту, предмет – вплив умов оброблення (виду та витрат застосованих матеріалів, тривалості) на ефективність цього процесу.

Експериментальна частина. Для визначення можливості застосування ферментних препаратів при відмочуванні пергаменту у роботі використали шкуру овець (овчину) мокросолоного способу консервування (масова частка вологи 45,5 %) та п'ять сучасних ферментних препаратів фірми OROPON TFL (Італія): ON-2, Ribez, Rinazym, KAB, B-2. За результатами попередніх досліджень встановлено підвищення активності більшості з цих препаратів у слабко-лужному (рН близько 9) середовищі [12], тому відмочування частини дослідних груп провели в присутності карбонату натрію, який володіє поліфункціональною дією. Крім того, утворюване при його застосуванні слабко-лужне середовище (рН близько 9) є достатнім для гальмування розвитку бактерій та виключення різкого перепаду між значеннями рН відмочувальної та зольної рідини (за традиційною технологією ≈ 12), що запобігає появі зольної стяжки [5].

Експеримент проводили у лабораторних умовах у ємності об'ємом 3 дм³ з вмонтованими полицями для перемішування та при безперервному обертанні зі швидкістю 18-20 хв⁻¹. Групи зразків комплектували за методом асиметричної бахроми для виключення впливу топографічних ділянок. Умови оброблення окремих груп відрізнялись видом та витратою застосованих матеріалів: ферментних препаратів та карбонату натрію (табл. 1). Рідинний коефіцієнт (РК) становив 10, температура 35 °С, тривалість 6 год. Спочатку дозували ферментний препарат, а через 10 хв після його розчинення карбонат натрію (за необхідності); витрату матеріалів визначали з урахуванням активності ферментних препаратів [12] та маси зразків. Відмочування *контрольної групи 21к* проводили за вже згаданою технологією відмочування пергаменту [6] в присутності сульфїду натрію.

Таблиця 1

Умови відмочування сировини

Група	Вид ферментного препарату	Витрата, %		
		ферментний препарат	карбонат натрію	сульфід натрію
1	Rinazym	0,1	–	–
2		0,5	–	–
3		0,1	1,5	–
4		0,5	1,5	–
5	KAB	0,1	–	–
6		0,5	–	–
7		0,1	1,5	–
8		0,5	1,5	–
9	Ribez	0,1	–	–
10		0,5	–	–
11		0,1	1,5	–
12		0,5	1,5	–
13	ON-2	0,1	–	–
14		0,5	–	–
15		0,1	1,5	–
16		0,5	1,5	–
17	B-2	0,1	–	–
18		0,5	–	–
19		0,1	1,5	–
20		0,5	1,5	–
21к	–	–	–	0,7

Ніяких ускладнень під час оброблення дослідних груп не виникало. Після відмочування сировина була м'якою по всій площі, молочно-білого кольору у розрізі. Для оцінювання ефективності технологічного режиму визначали зміну масової частки вологи у сировині у часі – після 1, 2, 4 та 6 год відмочування. З цією метою наважку подрібненої сировини зважували на аналітичних вагах у доведеному до постійної маси алюмінієвому бюксі та витримували у сушильній шафі при температурі 170-180 °С протягом 1,0 год. Після охолодження в ексикаторі над прожареним хлоридом кальцію до температури 20 °С бюкс з наважкою зважували. Потім наважку ставили ще на 15 хв у сушильну шафу, після чого знову зважували. Після доведення маси бюксу з наважкою до постійної маси масову частку вологи визначали за формулою:

$$B = \frac{H_1 - H_2}{H_1} \cdot 100, \quad (1)$$

де B – масова частка вологи, %; H_1, H_2 – маса наважки до та після сушіння, г.

Таким чином було виявлено загальну тенденцію підвищення масової частки вологи у всіх зразках внаслідок відмочування. Так, наприклад, вже після 1 год від початку оброблення мало місце зростання цього показника від 45,5 % (вихідна сировина) до 61,5-76,9 % (обводнені зразки), тобто на 16,0-31,4 % абс. (табл. 2). Порівняно з контрольною групою більш ефективно обводнення відбулось у дослідних групах 1-3, 9, 11, 14, 16, 17, 20 (масова частка вологи більше на 0,6-6,3 % абс.).

За відсутності карбонату натрію підвищення витрати ферментів з 0,1 до 0,5 % покращує обводнення сировини протягом 1 год у разі використання препаратів Rinazym, ON-2 та, навпаки, погіршує у разі використання інших препаратів (Ribez, KAB та B-2).

Результати відмочування сировини та рН розчинів

Група	Ферментний препарат	Масова частка вологи, %				рН розчину	
		1,0 год	2,0 год	4,0 год	6,0 год	початковий	кінцевий
1	Rinazym	71,9	77,7	77,9	77,9	7,5	6,5
2		76,5	76,8	77,3	78,0	7,4	6,4
3		72,7	74,2	75,9	77,0	8,8	8,1
4		69,3	77,1	78,4	79,8	8,5	8,0
5	КАВ	68,0	70,2	72,5	74,4	7,3	6,1
6		70,0	72,7	75,3	75,9	7,1	6,0
7		68,9	72,0	76,4	80,7	8,9	8,2
8		64,9	72,1	73,7	75,1	9,0	7,9
9	Ribez	76,9	78,7	79,4	80,4	7,2	6,3
10		69,6	77,0	79,1	79,4	7,0	6,2
11		73,3	75,2	77,6	79,2	8,9	8,1
12		61,5	77,5	79,5	80,7	8,6	7,5
13	ON-2	69,1	73,9	75,4	76,2	7,2	6,3
14		73,2	76,6	79,6	80,4	7,2	6,2
15		70,4	70,6	75,2	77,8	8,9	7,0
16	B-2	71,2	73,8	77,2	79,1	8,9	8,0
17		72,6	72,7	76,1	78,3	7,0	6,7
18		68,4	74,6	77,9	80,6	6,9	6,6
19		71,0	75,5	76,0	77,9	8,8	7,7
20		74,6	76,2	79,6	81,8	8,7	8,2
21к	-	70,6	71,7	74,6	77,9	8,0	7,9

За наявності карбонату натрію при меншій витраті (0,1 %) препаратів Rinazym, Ribez, B-2 масова частка вологи збільшується у порівнянні з контрольною групою на 0,4-2,7 %, а при такій самій витраті препаратів ON-2 та КАВ зменшується на 0,2-1,7 %. При більш високій витраті ферментів (0,5 %) за наявності карбонату натрію підвищення показника на 0,6-4,0 % порівняно з контрольним спостерігається лише у *групах 16, 20* (препарати ON-2, B-2); при використанні трьох інших препаратів (Rinazym, Ribez, КАВ) масова частка вологи зменшується на 1,3-9,1 %.

Як зазначено вище, з підвищенням тривалості оброблення масова частка вологи у сировині поступово зростає і після 6 годин відмочування знаходиться у дослідних групах на рівні 74,4-81,8 % (контрольна група – 77,9 %). При цьому найбільш ефективно обводнення виявлено у *групі 20* при використанні 0,5 % ферментного препарату B-2 та 1,5 % карбонату натрію: після оброблення масова частка вологи на 1,1-7,4 % вище порівняно з іншими дослідними групами та на 3,9 % – з контрольною (*табл. 2*, *рис. 1, 2*). Кращими групами для інших препаратів виявилися *група 7* (0,1 % КАВ + 1,5 % карбонату натрію), *група 12* (0,1 % Ribez) та *група 14* (0,5 % ON-2), у яких остаточний показник вологовмісту знаходиться на рівні 80,4-80,7 % (*рис. 1*).

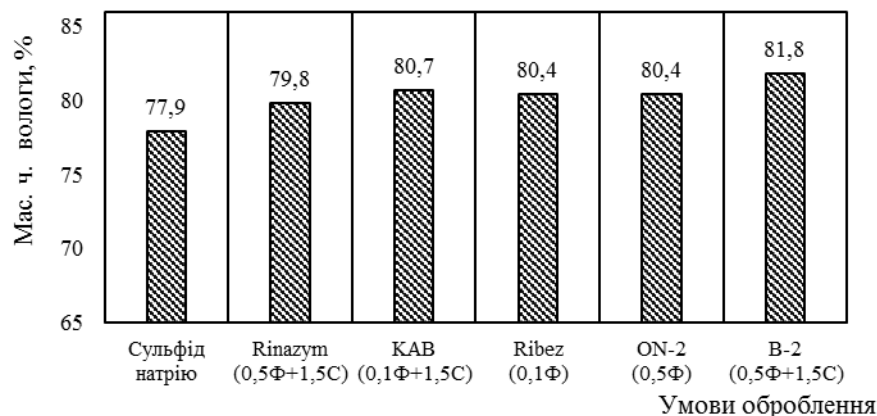


Рис. 1. Масова частка вологи після відмочування сировини протягом 6 год (Ф – ферментний препарат; С – карбонат натрію)

Оскільки одним із факторів, який впливає на каталітичну активність ферментів, є рН середовища (від нього залежить ступінь іонізації активного центру ферменту), за допомогою рН-метра марки РН-013М (похибка $\pm 0,01$ рН) проаналізували рН розчину на початку та наприкінці оброблення. З *табл. 2* видно, що якщо витрата ферментних препаратів суттєво не впливає на цей показник, використання карбонату натрію підвищує його значення на 1,1-1,9 одиниць. Після відмочування дослідних зразків рН розчину зменшується на 0,5-1,9 одиниць (у контрольній групі лише на 0,1 одиниці). Це можна пояснити впливом ферментів, рН водної витяжки яких знаходиться на рівні 5,2-6,5 [12].

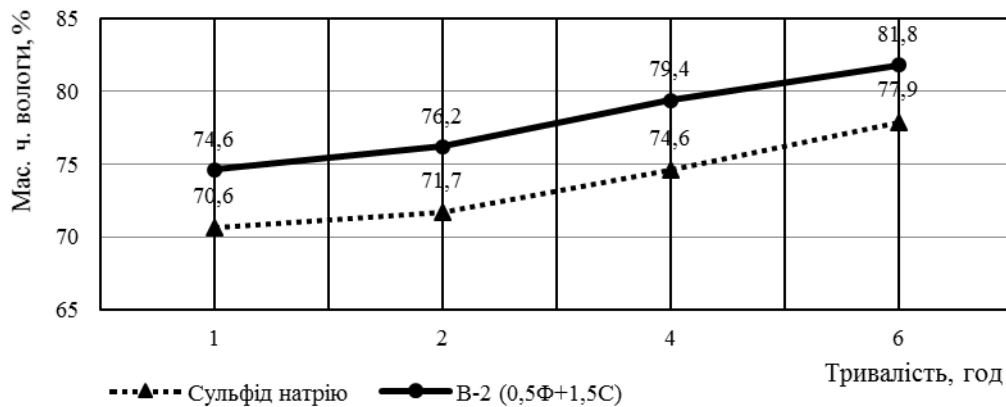


Рис. 2. Зміна показника масової частки вологи у часі

Висновки. Досліджено процес відмочування сировини, призначеної для виготовлення шкіряного пергаменту, в присутності сучасних ферментних препаратів. Експериментально встановлено, що найбільш ефективне обводнення овчини досягається при використанні 0,5 % ферментного препарату В-2 та 1,5 % карбонату натрію.

Отриманий результат, вірогідно, обумовлений тим, що в результаті взаємодії ферменту з субстратом змінюється концентрація іонів водню в області активного центру ферменту і відбувається зміщення рН-оптимуму його активності із розширенням межі значень рН, за яких фермент виявляє більшу активність [13].

Подальші дослідження будуть спрямовані на удосконалення технології виготовлення цього унікального виду шкіри з дотриманням принципів ресурсоощадності та екологізації виробництва.

Література

1. Левенко П. И. Химия и технология отмочно-зольных процессов. Москва : Легкая индустрия, 1976. 200 с.
2. Андреева О. А. Полифункциональна природа колагену як основа одержання та застосування сполук багатопільового призначення для обробки шкір. Вісник КНУТД. 2005. № 3. С. 90–97.
3. Михайлов А. Н. Химия и физика коллагена кожного покрова. Москва : Легкая индустрия, 1980. 232 с.
4. Андреева О. А. Фізика та хімія протеїнів : підручник. Київ : КНУТД, 2003. 224 с.
5. Куциди Д.А. Предупреждение и устранение пороков кож. Москва : Легпромбытиздат, 1990. 144 с.
6. Гайдаров Л. П. Технология кожи. Москва : Легкая индустрия, 1974. 174 с.
7. Feigel T. H. The role of soaking enzymes on collagen destruction in bovin hide. World Leather. 2001. №9. Р. 66–72.
8. Сысоев В. А. Ферменты и их использование в технологии кожи и меха. Казань : Изд-во КГТУ, 2002. 33 с.
9. Берселева М. Ю. Исследование совместного влияния ферментных препаратов и плазменной обработки на процесс отмочки шкур бобра. Кожевенно-обувная промышленность. 2012. № 1. С. 28–30.
10. Чурсин В. И., Шапкирина Н. П. Влияние ферментативной обработки на свойства голя и полуфабриката. Кожевенно-обувная промышленность. 2005. № 5. С. 35–36.
11. Берселева М. Ю., Лутфуллина Г. Г., Абдуллин И. Ш., Солдаткина Е. А., Журавлев Е. А. Ферментативная отмочка шкур бобра. Вестник Казанского технологического университета. 2012. № 13. С. 61–62.
12. Колесник Т. О., Ніконова А. В., Андреева О. А. Дослідження властивостей сучасних ферментних препаратів / Зб. тез XVIII Всеукраїн. науков. конф. молодих учених та студентів «Наукові розробки молоді на сучасному етапі», 18-19 квітня 2019 р. Київ : КНУТД. 2019. С. 414-415.
13. Колпак С. В., Скропишева О. В., Гнідець В. П. Дослідження впливу технологічних умов на активність ферментів. Східно-Європейський журнал передових технологій. 2012. Вип. 2. № 6 (56). С. 47–50.

References

1. Levenko P. I. Himiya i tehnologiya otmochno-zolnyh processov. Moskva : Legkaya industriya, 1976. 200 s.
2. Andreyeva O. A. Polifunkcionalna priroda kolagenu yak osnova oderzhannya ta zastosuvannya spolk bagatocilovogo pryznachennya dlya obrobki shkir. Visnik KNUVD. 2005. № 3. S. 90–97.
3. Mihajlov A. N. Himiya i fizika kollagena kozhnogo pokrova. Moskva : Legkaya industriya, 1980. 232 s.
4. Andreyeva O. A. Fizika ta himiya proteyiniv : pidruchnik. Kiyiv : KNUVD, 2003. 224 s.
5. Kucidi D.A. Preduprezhdenie i ustranenie porokov kozh. Moskva : Legprombytizdat, 1990. 144 s.
6. Gajdarov L. P. Tehnologiya kozhi. Moskva : Legkaya industriya, 1974. 174 s.
7. Feigel T. H. The role of soaking enzymes on collagen destruction in bovin hide. World Leather. 2001. №9. R. 66–72.
8. Sysoev V. A. Fermenty i ih ispolzovanie v tehnologii kozhi i meha. Kazan : Izd-vo KGTU, 2002. 33 s.
9. Berseleva M. Yu. Issledovanie sovmetnogo vliyaniya fermentnyh preparatov i plazmennoj obrabotki na process otmoki shkur bobra. Kozhevenno-obuvnaya promyshlennost. 2012. № 1. S. 28–30.
10. Chursin V. I., Shapkarina N. P. Vliyanie fermentativnoj obrabotki na svojstva golya i polufabrikata. Kozhevenno-obuvnaya promyshlennost. 2005. № 5. S. 35–36.
11. Berseleva M. Yu., Lutfullina G. G., Abdullin I. Sh., Soldatkina E. A., Zhuravlev E. A. Fermentativnaya otmoka shkur bobra. Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta. 2012. № 13. S. 61–62.
12. Kolesnik T. O., Nikonova A. V., Andreyeva O. A. Doslidzhennya vlastivostej suchasnihi fermentnihi preparativ / Zb. tez HVIII Vseukrayin. naukov. konf. molodih uchenih ta studentiv «Naukovi rozrobki molodi na suchasnomu etapi», 18-19 kvitnya 2019 r. Kiyiv : KNUVD. 2019. S. 414-415.
13. Kolpak S. V., Skropisheva O. V., Gnidec V. P. Doslidzhennya vplivu tehnologichnih umov na aktivnist fermentiv. Shidno-Yevropejskij zhurnalпередових tehnologij. 2012. Vip. 2. № 6 (56). S. 47–50.

Рецензія/Peer review : 11.5.2020 р.

Надрукована/Printed :09.6.2020 р.

Рецензент: д. т. н., проф. О.Р. Мокроусова

ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ ДО ПОРІЗУ ТРИКОТАЖУ ДЛЯ ЗАХИСТУ РУК ВІД МЕХАНІЧНИХ УШКОДЖЕНЬ

У статті представлено результати дослідження впливу заправних даних в'язального обладнання та структури переплетення на стійкість до порізу трикотажу підвищеної міцності, призначеного для захисту рук від механічних ушкоджень. У рамках експериментальних досліджень на одно- та двовонтульному круглов'язальному обладнанні малого діаметра 14 класу відповідно переплетенням гладь та ластик вироблено трикотажні полотна із надміцних високомолекулярної поліетиленової та параарамідної ниток у поєднанні з металевою монониткою у різних їх комбінаціях. Встановлено параметри їх структури: кількість петельних рядів та стовпчиків в 100 мм трикотажу (щільність по горизонталі та вертикалі), довжину нитки у петлі та поверхневу густину. Досліджено опір порізу розроблених зразків вздовж лінії петельного стовпчика і петельного ряду. Отримані показники стійкості до порізу дозволяють рекомендувати розроблені трикотажні полотна для виготовлення засобів захисту від дії механічних ушкоджень. Це можуть бути високоміцні рукавичкові вироби, налітніки, наколінники та одяг або вставки до одягу рибалок, мисливців, спортсменів, туристів і т.д.

Ключові слова: надміцний трикотаж, захисні вироби від механічних ушкоджень, поліетиленова нитка, параарамідна нитка, опір порізу.

V. BEZSMERTNA, S. BOBROVA, L. HALAVSKA, A. KRAVCHENKO

Kyiv National University of Technologies and Design

RESEARCH OF CUT RESISTANCE OF KNITWEAR FOR PROTECTION OF HANDS FROM MECHANICAL DAMAGE

The article presents the results of the research of the influence of knitting process data and the knitting structure on the cut-resistance of high strength knitwear, designed to protect hands from mechanical damage. For improving the structure of textile materials to provide reliable protection against possible mechanical injuries in different industrial environments, proposed to use several types of ultra-strong raw materials in combination with metal monofilament. Knitwear for the protection of human limbs is proposed to manufacture on circular knitting equipment of small diameter. As part of the experimental researches, knitted fabrics are produced on 14-gauge machines of two types – single- and double circular knitting machines. For making knitwear samples were used high-molecular-weight polyethylene and para-aramid threads in combination with metal monofilament in their various combinations. Experimental knitwear samples are made of rib 1+1 and plain knitted fabrics. The parameters of their structure were determined: quantity of wales and courses in 100 mm of knit (horizontal and vertical density), loop length and fabric weight. For preliminary estimation of protective properties of the developed samples of knitted fabrics to the action of the cutting factor of the knife blade were used the technique and the device developed at Frantsevich Institute for Problems of Materials Science NASU. This device allows setting the number of cycles that the textile material can withstand until structural destruction. Resistance to the cutting of the developed samples along the line of course and wale directions was investigated. The obtained indices of resistance to cutting allow to recommend the developed knitted fabrics for the production of individual protection means from mechanical damages. These can be high-strength work gloves, sleeves, knee pads, clothing or clothing inserts for fishermen, hunters, athletes, tourists, etc.

Keywords: high-strength knitwear, protective products from mechanical damage, polyethylene thread, para-aramid thread, cut resistance.

Вступ. Використання високоміцних текстильних полотен для виготовлення одягу для певних категорій робітників промислових підприємств, рибалок, мисливців, спортсменів, екстремальних туристів, кухарів, обумовлено необхідністю ефективного захисту людини у виробничих або інших небезпечних умовах від різних механічних травм, коли безпеку неможливо або складно забезпечити іншими засобами захисту. З метою вдосконалення структури текстильних матеріалів, їх захисних характеристик запропоновано вироби для захисту ділянок кінцівок людини виготовляти на круглов'язальному обладнанні з використанням декількох видів надміцної сировини, що забезпечить готовим виробом високі показники міцності для надійного захисту від механічних ушкоджень.

Розробка структури та дослідження фізико-механічних властивостей трикотажних полотен з сировини підвищеної міцності для подальшого їх використання у виготовленні захисних виробів, є актуальним завданням. Найбільш вживані та найбільш численні засоби індивідуального захисту рук є захисні рукавички та нарукавники. Загрозою для рук можуть бути такі ризики як: механічні, хімічні, термальні, біологічні, електричні [1]. Одночасна наявність декількох ризиків вимагають деякої комбінації видів сировини для виготовлення засобів індивідуального захисту рук. Захисні рукавиці та нарукавники розробляють та виготовляють у відповідності до цільового призначення та рівня захисту. Як і всі інші засоби індивідуального захисту, вони мають відповідати вимогам відповідного технічного регламенту. Оцінка відповідності вимогам регламенту залежить від категорії, до якої відносяться захисні рукавичкові вироби [2].

Рівень захисту засобів індивідуального захисту залежить від текстильного матеріалу, з якого його вироблено. Одним із способів виготовлення засобів захисту рук від механічних ушкоджень є в'язання його у вигляді виробу заданої (трубчастої або складної) форми. Захисні характеристики таких виробів залежать від

виду сировини та переплетення для його виготовлення. Тому встановлення впливу виду сировини та структури переплетення на стійкість захисного трикотажу до дії механічних ушкоджень є актуальною задачею, що потребує вирішення.

Постановка задачі. Сфери використання трикотажу для захисту від різних небезпечних впливів з кожним роком розширюються. До такої групи виробів відносять рукавичкові вироби, як засоби індивідуального захисту, що захищають різні ділянки рук від небезпечних впливів механічної дії [2]. Статистика виробничих травм вказує на те, що найбільш поширеними серед них є травми рук, зокрема порізи гострими предметами. Тому захист рук від механічних ушкоджень є важливою частиною безпеки на робочому місці.

Створенню захисних рукавичок нового покоління сприяє поширення використання нових видів надміцної сировини, таких як високомолекулярні поліетиленові та параарамідні нитки. На сучасному етапі розвитку текстильних матеріалів недостатньо вивченими є особливості їх переробки на в'язальному обладнанні, оскільки дана сировина переробляється переважно на ткацьких верстатах. Оскільки високоміцні захисні вироби в Україну як правило імпортуються з-за кордону, це спричинило відставання розвитку технологій в'язання полотен і виробів для захисту рук від механічних ушкоджень [3].

Основним чинником, що сповільнює використання надміцної сировини на в'язальному обладнанні, є особливості її механічних характеристик – жорсткість на згин, коефіцієнт тертя і схильність до суттєвої втрати міцності у процесі в'язання. Таким чином, встановлення оптимальних параметрів в'язання полотен та виробів із надміцної сировини розширить асортимент і підвищить якість захисних виробів від механічних ушкоджень. Так, у роботі [4] встановлено, що для зменшення втрати міцності параарамідної нитки після в'язання за умови сталості її лінійної густини рекомендується збільшення величини глибини кулірування. Збільшення довжини нитки в петлі сприяє збереженню її міцності, оскільки дозволяє зменшити кількість точок перегину параарамідних ниток на одиницю довжини відрізка нитки, що формується в петлю. Авторами роботи також виявлено вплив лінійної густини нитки, глибини кулірування та зусилля відтягування полотна на показник втрати міцності параарамідної нитки після в'язання. Встановлено оптимальні параметри в'язання трикотажу технічного призначення для виготовлення засобів індивідуального захисту, що максимально забезпечують збереження міцнісних характеристик параарамідних ниток після їх переробки у текстильний матеріал.

Автором роботи [5] для виготовлення захисних трикотажних рукавів трубчастій форми запропоновано використати високомолекулярну поліетиленову нитку у комбінації з високорозтяжною поліуретановою для надання виробу достатнього ступеню облягання та еластичності. Зразки трикотажних полотен вироблені при трьох рівнях глибини кулірування. У роботі досліджено вплив рівня глибини кулірування на механічні характеристики трикотажу: розривальне зусилля вздовж лінії петельного стовпчика та розривальне видовження, а також стійкість матеріалу до порізу.

Робота [6] присвячена дослідженню впливу технологічних параметрів роботи в'язальної машини на деформаційні властивості трикотажу та його релаксаційні характеристики. Дослідні зразки трикотажу вироблені з використанням надміцної високомолекулярної поліетиленової нитки у комбінації з високорозтяжною поліуретановою ниткою одинарним футерованим переплетенням на базі гладі при різних заправних даних в'язального обладнання – трьох рівнях глибини кулірування.

Авторами роботи [7] встановлено функціональну залежність між параметрами в'язання, зокрема глибиною кулірування й вхідним натягом ниток та параметрами структури трикотажу, які дозволяють у подальшому виготовляти трикотаж підвищеної міцності з прогнозованими фізико-механічними характеристиками.

У роботі [8] представлено результати досліджень в'язальної здатності високомолекулярних поліетиленових ниток при їх переробці на панчішному автоматі. Встановлено, що поліетиленова нитка переробляється без ускладнень, як у чистому вигляді, так і в комбінації з поліамідною ниткою, що забезпечує збільшення поверхневого заповнення трикотажу. У разі введення у структуру металевої мононитки виникали деякі ускладнення. Зокрема, у процесі виконання операції кулірування металева нитка внаслідок її згинання втрачає міцність, обривається у точках перегину, що і призводить до порушення процесу в'язання. Введення у структуру металевої нитки значно більшої жорсткості на згин порівняно з високомолекулярною поліетиленовою потребує збільшення зусилля відтягування для забезпечення скидання старих петель на нові.













Проведений аналіз наукових публікацій за напрямком досліджень дозволяє стверджувати, що на сьогоднішній день питання впливу виду надміцної сировини та структури переплетення на стійкість трикотажу до порізу не достатньо вивчене. Тому робота, направлена на вирішення питання розробки трикотажних полотен для виготовлення захисних виробів з використанням надміцної сировини у поєднанні з металевою монониткою, встановлення рівня їх стійкості до порізу в залежності від виду переплетення та сировинного складу, є наразі актуальною і представляє інтерес для виробників засобів захисту рук від механічних ушкоджень.

Експериментальна частина. Для досліджень обрано кулірний трикотаж переплетень гладь та ластик 1+1, структура яких характеризується гладкістю лицьової поверхні, що забезпечить готовим полотнам проковзування ріжучої кромки леза ножа та сприятиме рівномірному розподілу силового навантаження порізу на елементах структури трикотажу й відповідно більш надійному захисту від

механічних ушкоджень. Зразки трикотажу вироблено на одно- та двофонтурному круглов'язальному обладнанні малого діаметра 14 класу із високомолекулярної поліетиленової нитки лінійної густини 44 текс, параарамідної нитки 58,5 текс та металевої мононитки діаметра 0,015 мм у різних їх комбінаціях. У таблиці 1 наведено заправні дані дослідних зразків трикотажу.

Таблиця 1

Заправні дані розроблених зразків трикотажу

№ зразка	Вид сировини	Лінійна густина, текс	Структура та вид переплетення	
			лицьова сторона	виворітна сторона
переплетення гладь				
1	поліетиленова нитка	44		
2	поліетиленова нитка металева нитка	44 0,015 мм		
3	параарамідна нитка	58,8		
4	параарамідна нитка металева нитка	58,8 0,015 мм		
переплетення ластик				
5	поліетиленова нитка	44		
6	поліетиленова нитка металева нитка	44 0,015 мм		
7	параарамідна нитка	58,8		
8	параарамідна нитка металева нитка	58,8 0,015 мм		

З використанням стандартизованої методики [9] визначено параметри структури дослідних зразків трикотажу, а саме: кількість петельних рядів та стовпчиків в 100 мм трикотажу, довжину нитки в петлі, товщину та поверхневу густину (табл.2).

Таблиця 2

Параметри структури переплетення гладь

№ зразка	Кількість пет. стовпчиків у 100 мм, N_c	Кількість пет. рядів у 100 мм, N_p	Довжина нитки в петлі l , мм	Товщина трикотажу M , мм	Поверхнева густина на m_s , г/м ²
переплетення гладь					
1	72	108	5,6	0,7	211,2
2	76	94	5	0,52	490
3	74	108	5,02	0,75	109,6
4	94	72	5,2	0,5	488,4
переплетення ластик					
5	162	52	6,34	0,8	210,8
6	72	76	6,18	0,9	374,8
7	152	68	5,6	1,0	209,2
8	112	72	5,48	1,12	369,2

Для попередньої оцінки захисних властивостей розроблених зразків трикотажних полотен до дії ріжучого фактору леза ножа використано методику та пристрій, розроблені в інституті проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України (рис. 1) [10]. Даний пристрій дозволяє встановити кількість циклів, яку витримує текстильний матеріал до моменту прорізування. Принцип роботи пристрою та метод визначення опору порізу відповідає стандартизованому [11].

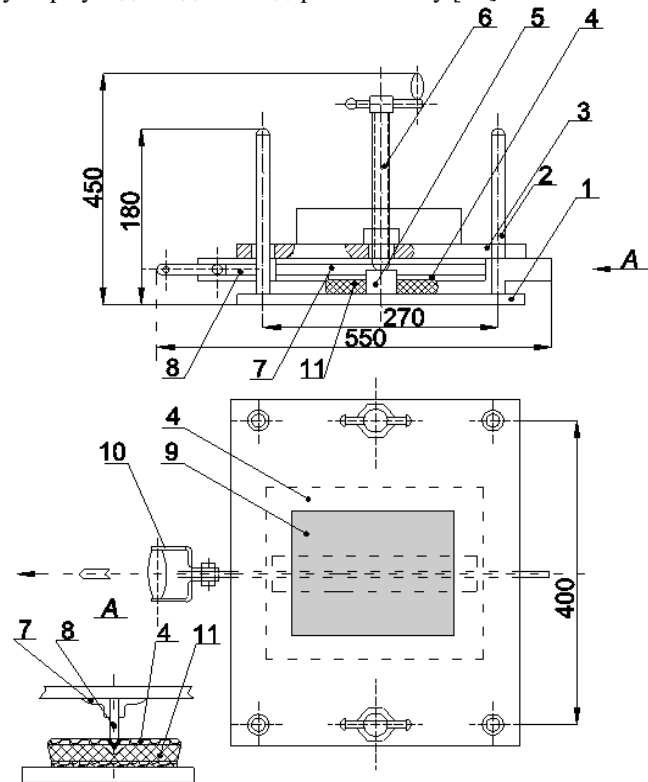


Рис. 1. Пристрій для визначення опору порізу захисних текстильних матеріалів: 1 – плита нерухома; 2 – стійка; 3 – плита рухома; 4 – дослідний зразок трикотажу, 5 – упор; 6 – гвинт; 7 – направляюча, 8 – ніж; 9 – вантаж; 10 – ручка, 11 – текстильна подушка

Кількість циклів до моменту прорізування встановлено наступним чином. Зразок трикотажу 4 розміщували на нерухомій нижній плиті 1 пристрою. На верхній рухомій плиті 3 (в направляючих 7) закріплювали ніж 8, ріжуча кромка леза якого спрямована вниз. Матеріал ножа – сталь 65Г, твердість ножа складала 55–60 HRC. Рухому плиту разом з ножем за допомогою гвинтів опускали по стійкам 2 таким чином, щоб ріжуче лезо ножа опиралось на зразок трикотажу. Під дослідний зразок трикотажу вкладали текстильну подушку 11, яка імітує тіло людини. Верхня плита 3 з вантажем 9 загальною масою 30 кг забезпечують тиск леза ножа на зразок трикотажу. Під час випробувань ніж переміщували за допомогою зусилля руки зі швидкістю $0,5 \pm 1$ м/с. У вихідну позицію рухому плиту 3 піднімали за допомогою регулювальних гвинтів 6. Після чого дослідний зразок виймали та за допомогою лупи проводили огляд щодо порушення цілісності петельної структури. Випробування на кожній пробі проведено тричі. Відстань між лініями порізу складала 50 мм. Захисний виріб вважаємо стійким до порізу та відповідним за рівнем захисту, якщо після залікових влучень під час огляду текстильного матеріалу не спостерігається порушення цілісності петельної структури трикотажу у місці дії леза ножа. У ході досліджень опір порізу встановлено у двох напрямках: вздовж лінії петельного ряду та вздовж лінії петельного стовпчика.

На підставі одержаних результатів досліджень розроблених зразків трикотажних полотен щодо опору порізу побудовано відповідні діаграми, які вказують на кількість циклів, які витримує трикотаж на момент прорізування вздовж лінії петельного стовпчика (рис. 2) та петельного ряду (рис. 3).

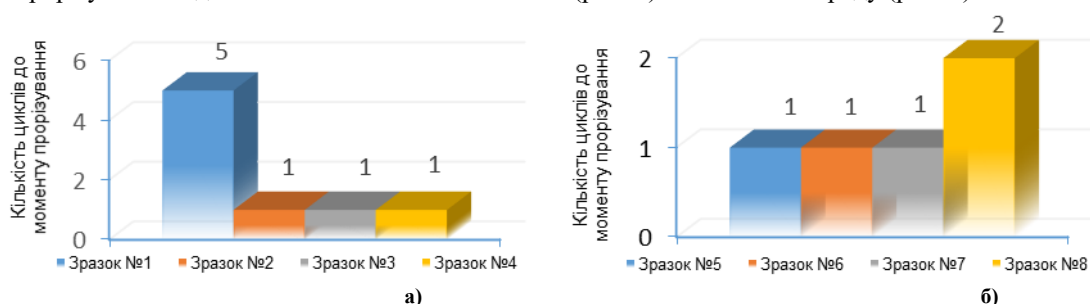


Рис. 2. Результати дослідження опору порізу зразка вздовж лінії петельного стовпчика: а) переплетення гладь, б) переплетення ластик 1+1

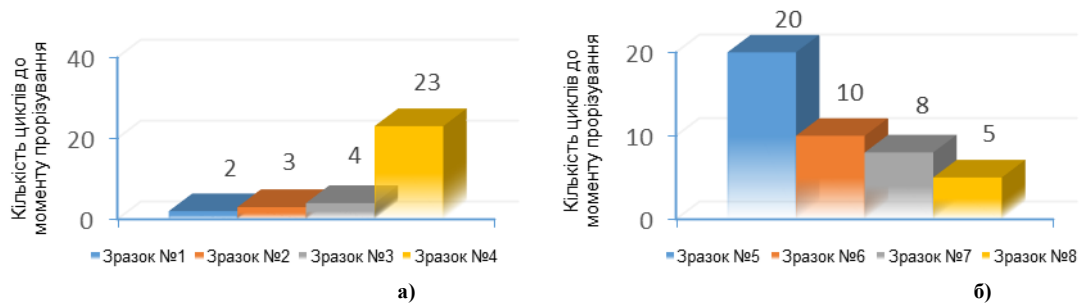


Рис. 3. Результати дослідження опору порізу зразка вздовж лінії петельного ряду:
а) переплетення гладь, б) переплетення ластик 1+1

З наведених на рис. 2 та рис. 3 діаграм видно, що найбільшу кількість циклів опору порізу вздовж лінії петельного стовпчика витримав зразок 1, а вздовж лінії петельного ряду – зразок 4. Більш стійкими до прорізування виявилися зразки трикотажу, вироблені переплетенням ластик 1+1, що пояснюється особливостями структуроутворення. Внаслідок чергування лицьових та виворітних петель в силу прояву пружних властивостей ниток лицьові петлі перекривають виворітні на 0,5 петельного кроку. Таким чином формується два шари петель трикотажу, що чинять опір порізу вздовж лінії петельного ряду. Під час порізу вздовж лінії петельного стовпчика внаслідок створеного тиску леза ножа на текстильний матеріал усувається захід виворітних петель за лицьові і порізу чинить опір один шар петель трикотажу переплетення ластик 1+1.

Одержані результати дозволяють стверджувати, що на опір порізу має вплив і структура переплетення, і вид надмічної сировини. Так, зразок 1 (переплетення гладь) витримує у 5 разів більшу кількість циклів до моменту прорізування вздовж лінії петельного стовпчика ніж зразок 5 (переплетення ластик 1+1). Щодо опору порізу вздовж лінії петельного ряду, спостерігаємо протилежну картину: зразок 5 витримує у 10 разів більшу кількість циклів опору порізу ніж зразок 1. Хоча слід зауважити, що дані зразки мають однаковий сировинний склад.

Зразки 2, 6 та 3, 7 однакові за сировинним складом, але різні за структурою переплетення, витримують лише один цикл до моменту прорізування вздовж лінії петельного стовпчика. На опір порізу зазначених зразків вздовж лінії петельного ряду має вплив структура переплетення. Зразок 6 до моменту прорізування витримує у понад 3 рази більшу кількість циклів, а зразок 7 порівняно зі зразком 3 – у 2 рази більшу. Зразок 4 порівняно зі зразком 8 витримав у 2 рази меншу кількість циклів до моменту прорізування вздовж лінії петельного стовпчика. У разі напрямку прорізування вздовж лінії петельного ряду навпаки, для прорізування зразка 4 необхідно у 4,6 рази більша кількість циклів ніж для зразка 8. Це пояснюється введенням у структуру трикотажу металевої мононитки, яка є жорсткою на згин і не дає можливості параарамідній нитці проявити свої пружні властивості, внаслідок чого відбувається захід виворітних петель за лицьові в структурі ластика. Однак при цьому чергування лицьових та виворітних петельних стовпчиків призводить до формування рельєфної поверхні. Таким чином, в структурі гладі порізу опираються усі петельні стовпчики. А в структурі ластика у першу чергу лише лицьові петельні стовпчики, тобто через один, враховуючи рапорт чергування лицьових та виворітних петельних стовпчиків.

Висновки. Розробка нових трикотажних полотен для засобів захисту рук від механічних ушкоджень є актуальною задачею та має велике соціально-економічне значення, що обумовлено необхідністю ефективного захисту людини у виробничих умовах з метою зниження травматизму.

На круглов'язальному обладнанні малого діаметру вироблено трикотажні полотна із надмічної сировини – параарамідних, високомолекулярних поліетиленових та металевих ниток у різних їх комбінаціях. Визначено параметри структури розроблених зразків трикотажу, а саме поверхневу густину, товщину, щільність по горизонталі та вертикалі, довжину нитки в петлі. Встановлено кількість циклів, яку витримують розроблені зразки трикотажу до моменту прорізування.

За результатами проведеного експерименту виявлено, що усі зразки трикотажу витримують більшу кількість циклів до моменту прорізування вздовж лінії петельного ряду, що обумовлено орієнтацією нитки в петлі. У разі напрямку вздовж лінії петельного стовпчика порізу опираються нитки в області голкових або платинних дуг петель, а у разі руху ножа вздовж лінії петельного ряду порізу опираються палички остовів петель та нитки голкової та платинної дуг петель у точці переплетення. Найбільшу кількість циклів до моменту прорізування вздовж лінії петельного ряду витримав дослідний зразок переплетенням гладь, вироблений з параарамідної нитки у поєднанні з металевою монониткою.

У результаті проведених досліджень встановлено, що зразок, вироблений з високомолекулярної поліетиленової нитки переплетенням ластик та зразок, вироблений шляхом поєднання параарамідної нитки з металевою монониткою переплетенням гладь, показали більш високі показники стійкості трикотажу до порізу, що дає змогу рекомендувати їх для виготовлення засобів індивідуального захисту рук (трикотажних рукавичок та нарукавників), а також іншого асортименту захисних виробів від механічних ушкоджень.

Література

1. Загальні вимоги до рукавиць : ДСТУ EN 420-2001. – [Чинний від 2003-01-07]. – К. : Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики, 2003. – 18 с. – (Національний стандарт України).
2. Рукавички для захисту від механічних ушкоджень. Загальні технічні вимоги та методи випробування : ДСТУ EN 388:2005. – [Чинний від 2003-01-07]. – К. : Держспоживстандарт України, 2008. – 16 с. – (Національний стандарт України).
3. Боброва С.Ю. Розробка балістичних трикотажних полотен для виготовлення засобів бронезахисту / С.Ю. Боброва, Л.Є. Галавська // Вісник КНУТД. – 2015. – № 3(86), – С. 114–120.
4. Безсмертна В.І. Дослідження втрати міцності параарамідних ниток у процесі в'язання кулірного трикотажу / В.І. Безсмертна, Л.Є. Галавська, С.Ю. Боброва // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія Технічні науки. – 2019. – № 2 (132). – С. 51–59.
5. Боброва С.Ю. Розробка трикотажу для захисту рук від механічних небезпек / С.Ю. Боброва // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2018. – № 5(265). – С. 242–246.
6. Боброва С.Ю. Деформаційні властивості трикотажу для захисту рук від механічних ушкоджень / С.Ю. Боброва, Д.О. Шипко, Л.Є. Галавська // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2019. – № 1 (269). – С. 96–99.
7. Боброва С.Ю. Вплив параметрів в'язання на структурні характеристики трикотажу, виготовленого з високомолекулярних поліетиленових ниток / С.Ю. Боброва, Л.Є. Галавська, Л.А. Синькова // Вісник Херсонського національного технічного університету. – 2018. – № 4. – С. 133–138.
8. Кравченко А.В. Розробка трикотажу для захисту рук від механічних ушкоджень / А.В. Кравченко, С.Ю. Боброва // Наукові розробки молоді на сучасному етапі : тези доповідей XVII Всеукраїнської наукової конференції молодих вчених та студентів (26-27 квітня 2018 р., Київ). – Київ : КНУТД, 2018. – Т. 1 : Сучасні матеріали і технології виробництва виробів широкого вжитку та спеціального призначення. – С. 253–254.
9. Полотна и изделия трикотажные. Методы определения линейных размеров, перекоса, числа петельных рядов и петельных столбиков и длины нити в петле : ГОСТ 8846-87. – М. : Издательство стандартов, 1988. – 17 с.
10. Науково-технічні (інноваційні) проекти НАН України: Розробка і впровадження волоконних композиційних матеріалів для одягу із підвищеними антирозрізними і фрикційними властивостями для захисту людини від ріжучого фактору холодної зброї. Опис результатів виконання проекту [Електронний ресурс]. – К. : Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, 2014. – Режим доступу : <http://www1.nas.gov.ua/innovations/ Years/2014/1427/Pages/p2.aspx>.
11. Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту рук, одяг спеціальний і матеріали для їх виготовлення. Методи визначення опору порізу : ДСТУ ГОСТ 12.4.141:2003. – К. : Український науково-дослідний інститут стандартизації, сертифікації та інформатики, 2004. – 11 с.

References

1. Zahalni vymohy do rukavyts : DSTU EN 420-2001. – [Chynnyi vid 2003-01-07]. – K. : Derzhavnyi komitet Ukrainy z pytan tekhnichnoho rehulivannia ta spozhyvchoi polityky, 2003. – 18 s. – (Natsionalnyi standart Ukrainy).
2. Rukavychky dlia zakhystu vid mekhanichnykh ushkodzen. Zahalni tekhnichni vymohy ta metody vyprovuvannia : DSTU EN 388:2005. – [Chynnyi vid 2003-01-07]. – K. : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2008. – 16 s. – (Natsionalnyi standart Ukrainy).
3. Bobrova S.Iu. Rozrobka balistychnykh trykotazhnykh poloten dlia vyhotovlennia zasobiv bronzakhystu / S.Iu. Bobrova, L.Ie. Halavska // Visnyk KNUVD. – 2015. – № 3(86), – S. 114–120.
4. Bezsmertna V.I. Doslidzhennia vtraty mitsnosti paraaramidnykh nytok u protsesi v'iazannia kulirnogo trykotazhu / V.I. Bezsmertna, L.Ie. Halavska, S.Iu. Bobrova // Visnyk Kyivskoho natsionalnogo universytetu tekhnolohii ta dyzainu. Seriiia Tekhnichni nauky. – 2019. – № 2 (132). – S. 51–59.
5. Bobrova S.Iu. Rozrobka trykotazhu dlia zakhystu ruk vid mekhanichnykh nebezpek / S.Iu. Bobrova // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2018. – № 5(265). – S. 242–246.
6. Bobrova S.Iu. Deformatsiini vlastyvoli trykotazhu dlia zakhystu ruk vid mekhanichnykh ushkodzen / S.Iu. Bobrova, D.O. Shypko, L.Ie. Halavska // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2019. – № 1 (269). – S. 96–99.
7. Bobrova S.Iu. Vplyv parametriv v'iazannia na strukturni kharakterystyky trykotazhu, vyhotovlenoho z vysokomolekuliarnykh polietylenovykh nytok / S.Iu. Bobrova, L.Ie. Halavska, L.A. Synkova // Visnyk Khersonskoho natsionalnogo tekhnichnoho universytetu. – 2018. – № 4. – S. 133–138.
8. Kravchenko A.V. Rozrobka trykotazhu dlia zakhystu ruk vid mekhanichnykh ushkodzen / A.V. Kravchenko, S.Iu. Bobrova // Naukovi rozrobky molodi na suchasnomu etapi : tezy dopovidei XVII Vseukrainskoi naukovoї konferentsii molodykh vchenykh ta studentiv (26-27 kvitnia 2018 r., Kyiv). – Kyiv : KNUVD, 2018. – T. 1 : Suchasni materialy i tekhnolohii vyrobnytstva vyrobiv shyrokooho vzhytku ta spetsialnoho pryznachennia. – S. 253–254.
9. Polotna i izdeliya trikotazhnye. Metody opredeleniya lineinykh razmerov, perekosa, chisla petelnykh ryadov i petelnykh stolbikov i dliny niti v petle : GOST 8846-87. – M. : Izdatelstvo standartov, 1988. – 17 s.
10. Naukovo-tekhnichni (innovatsiini) proekty NAN Ukrainy: Rozrobka i vprovadzhenia volokonnykh kompozytsiinykh materialiv dlia odiahu iz pidvyshchenymy antyrozriznymy i fryktsiinyymy vlastyvoliamy dlia zakhystu liudyny vid rizhuchoho faktoru kholodnoi zbroi. Opys rezultativ vykonannia proektu [Elektronnyi resurs]. – K. : Instytut problem materialoznavstva im. I.M. Frantsevycha NAN Ukrainy, 2014. – Rezhym dostupu : <http://www1.nas.gov.ua/innovations/ Years/2014/1427/Pages/p2.aspx>.
11. Systema standartiv bezpeky pratsi. Zasoby indyvidualnogo zakhystu ruk, odiah spetsialnyi i materialy dlia yikh vyhotovlennia. Metody vyznachennia oporu porizu : DSTU HOST 12.4.141:2003. – K. : Ukrainskyi naukovo-doslidnyi instytut standartyzatsii, sertyfikatsii ta informatyky, 2004. – 11 s.

Рецензія/Peer review : 05.5.2020 р.

Надрукована/Printed : 09.6.2020 р.

Рецензент: д. т. н., проф. С.М.Березненко

М. П. МАЗУР, К. С. СОКОЛАН
Хмельницький національний університет

ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУЮВАННЯ ГРЕБІНЧАСТИХ ФРЕЗ ІЗ МЕХАНІЧНИМ КРІПЛЕННЯМ ТВЕРДОСПЛАВНИХ НЕПЕРЕТОЧУВАНИХ ПЛАСТИНОК

В роботі розглядаються особливості проектування пальцевих гребінчастих фрез із механічним кріпленням твердосплавних непереточуваних пластинок. Визначаються параметри встановлення пластинок у корпусі інструмента, обмеження, які виникають при цьому. Показано, що профілювання точних зовнішніх та внутрішніх різьб можливо при виготовленні непереточуваних пластинок, розміри різьбового профілю яких встановлюються розрахунком. Реалізація запропонованої методики дозволяє одержати необхідні дані для виготовлення робочого креслення різних конструкцій гребінчастих фрез.

Ключові слова: гребінчаста фреза, профілювання, непереточувани різьбові пластинки, профіль різі.

M. MAZUR, K. SOKOLAN
Khmelnyskyi National University

CONSTRUCTIONAL DESIGN FEATURES OF MULTIPLE THREAD CUTTERS WITH MECHANICAL MOUNTING OF HARDMETAL DISPOSABLE TIPS

Recently, carbide cutter combs have become widespread in mechanical engineering. They are both monolithic and with mechanical fastening of special non-regrinding plastics. Working with a cutting speed of 100... 300 m / h, they increase productivity by reducing the number of teeth compared to cutters from the high-speed capital.

Constructional design features of shank-type multiple thread cutters with mechanical mounting of hardmetal disposable tips are examined. Mounting parameters for disposable tips in instrument body frame, limitations in the values of face and tool back wedge angles, as a result of indicated conditions are determined. It is shown, that accurate forming of male and female threads is possible under certain manufacturing of disposable tips thread. This calls for determination of thread crest and minimal diameter and thread shape angle of disposable tip in the plane of face of the tip and in the plane, perpendicular to stab flank, which values are determined in accordance with recommended techniques.

Realization of proposed techniques provides receiving of necessary data for production drawing manufacturing of different constructions of multiple thread cutters. With the help of developed technique, it becomes possible to determine parameters of disposable tips mounting in the mill body of shank-type multiple thread cutters and thread profile sizes of disposable tips, necessary for accurate threads forming. Acquaintance of these data is essential for engineering release of different constructions of high-efficiency multiple thread cutters.

Keywords: multiple thread cutter, forming, disposable tips, thread profile.

Постановка проблеми. Останнім часом у машинобудуванні знайшли широке розповсюдження твердосплавні гребінчасті фрези. Вони бувають як монолітні, так і з механічним кріпленням спеціальних непереточуваних пластинок (рис. 1). Працюючи зі швидкостями різання 100...300 м/хв, вони дозволяють значно підвищити продуктивність праці навіть при зменшенні кількості зубів у порівнянні з фрезами зі швидкокорізальної сталі.

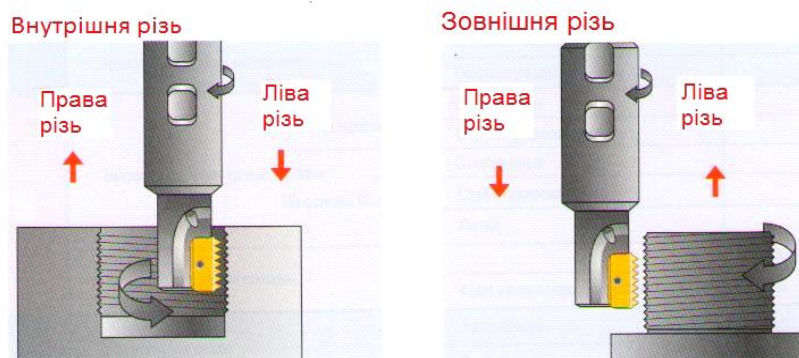


Рис. 1 Схема оброблення внутрішньої й зовнішньої різі на верстаті з ЧПК із використанням програми гвинтової інтерполяції [1]

Особливостями й перевагами використання різьбонарізних гребінчастих фрез із непереточуваними твердосплавними пластинками є:

- можливість одержання точної різі будь-якого діаметра на фрезерних верстатах із ЧПК та обробних центрах, використовуючи програми гвинтової інтерполяції (див. рис. 1);
- одержання прецизійної різі виготовленням точних пластинок;
- немає заклинювань інструмента в отворі через стружку, як при нарізуванні різі мітчиком;
- використання подачі МОР безпосередньо в зону різання через канали в тілі інструмента;
- більша продуктивність і економічність у порівнянні з обробленням різі мітчиком для великих діаметрів;

- немає необхідності в повторних загострюваннях інструмента;
- одна пластинка (або фреза) може бути використана для різних діаметрів різі з однаковим кроком, лівосторонніх і правосторонніх (див. рис. 1);
- оброблення конічної різі не вимагає конічного інструмента, а проводиться тією же фрезою, що й циліндричної;
- немає проблем із добуванням зламаного інструмента, як це буває з мітчиком.

Аналіз останніх джерел. Проте, не дивлячись на видиму простоту гребінчастих фрез із твердосплавними пластинками, в літературі (в т.ч. і зарубіжній) відсутні методики визначення геометричних параметрів і форми профілю непереточувальних пластинок та їх встановлення у корпусі інструмента. Існуючі залежності для гребінчастих затілених фрез [2] непридатні через принципові відмінності в конструкціях.

Виклад основного матеріалу.

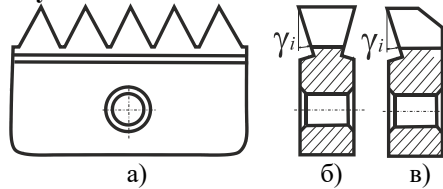


Рис. 2. Основні типи твердосплавних непереточувальних пластинок гребінчастих фрез: б – двосторонніх, в – односторонніх

Для забезпечення мінімальної сили різання при фрезеруванні у непереточувальній пластинки при її виготовленні створюється інструментальний передній кут ($\gamma_i = 12...15^\circ$) (рис.2), якомога більший, що допускається міцністю пластинки у найбільш слабкому перетині.

При встановленні пластинки у корпусі фрези вона повертається відносно вершини, щоб забезпечити статичний задній кут фрези $\alpha \approx 10...16^\circ$ (рис.3). При цьому слід слідкувати, щоб неробоча вершина В двосторонньої пластинки знаходилась нижче траєкторії руху робочої вершини А. Із простих геометричних побудов видно, що ця умова витримується при співвідношенні:

$$\sin \alpha > \frac{b_{пл}}{2R_{фр}}$$

Якщо це неможливо забезпечити для вибраного діаметра фрези і рекомендованого заднього кута, вибирають односторонню пластинку (рис.2,в).

Статичний передній кут γ фрези зі вставною пластинкою визначається як:

$$\gamma = \gamma_i - \alpha.$$

Якщо цей кут не дорівнює нулю, розраховуються висота головки h'_1 , ніжки h'_2 та кут різьбового профілю ε' у площині передньої поверхні фрези (див. рис. 3) у наступній послідовності [3]:

$$\beta_1 = \arcsin \frac{R_{фр} \cdot \sin \gamma}{R_{фр} - h_1},$$

$$\beta_2 = \arcsin \frac{R_{фр} \cdot \sin \gamma}{R_{фр} - (h_1 + h_2)},$$

де $R_{фр}$ - радіус фрези;

h_1 , h_2 і ε - розміри профілю (висота головки і ніжки, кут профілю) різі деталі (і фрези) в осьовому перерізі (вибираються з табл.1). Для кроків, відсутніх у таблиці 1, їх приблизно можна визначити як:

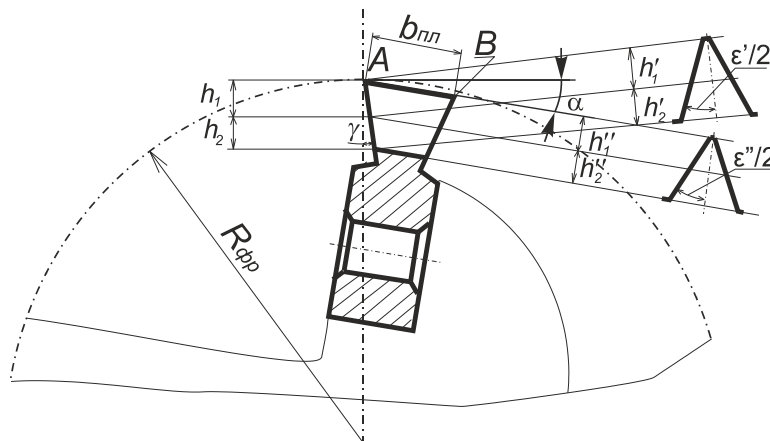


Рис.3. Схема встановлення твердосплавної непереточуваної пластинки у корпусі гребінчастої фрези

$$h_1 = 0,288 \cdot P;$$

$$h_2 = 0,325 \cdot P.$$

Звідси величини h'_1 , h'_2 і половина кута профілю $\varepsilon'/2$ (див. рис. 3) у передній площині фрези визначаються за формулами:

$$h'_1 = \frac{(R_{fp} - h_1) \cdot \sin(\beta_1 - \gamma)}{\sin \gamma};$$

$$h'_2 = \frac{[R_{fp} - (h_1 + h_2)] \cdot \sin(\beta_2 - \beta_1)}{\sin \beta_1};$$

$$\operatorname{tg} \frac{\varepsilon'}{2} = \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2} \cdot \frac{(h_1 + h_2) \cdot \sin \gamma}{[R_{fp} - (h_1 + h_2)] \cdot \sin(\beta_2 - \gamma)}.$$

Таблиця 1

Рекомендовані розміри профілю різі в осьовому перерізі при передньому куті $\gamma=0^\circ$ [3]

Крок різі P, мм	α°	Передній кут $\gamma=0^\circ$					Граничне відхилення половини кута профілю $\varepsilon/2$, хв для ступені точності різі		
		Для зовнішньої різі		Для внутрішньої різі					
		Висота головки h_1 , мм	Висота ніжки h_2 , мм	Висота головки h_1 , мм		Висота ніжки h_2 , мм	6g; 6H	8g; 7H	
<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>min</i>	<i>max</i>					
0,50	0°	0,144	0,169	0,162	0,178	0,203	0,144	±45	±55
0,60		0,173	0,200	0,195	0,213	0,240	0,173	±40	±50
0,70		0,202	0,230	0,227	0,249	0,277	0,202	±35	±45
0,75		0,216	0,245	0,243	0,267	0,296	0,216		
0,80		0,231	0,261	0,260	0,284	0,314	0,231	±30	±40
1,00		0,288	0,320	0,325	0,355	0,387	0,288		
1,25		0,360	0,395	0,406	0,443	0,478	0,360	±25	±35
1,50		0,433	0,470	0,487	0,532	0,569	0,433		
1,75		0,504	0,543	0,568	0,621	0,660	0,504	±20	±30
2,00		0,577	0,617	0,650	0,710	0,750	0,577		
2,50		0,721	0,764	0,812	0,888	0,931	0,721		
3,00		0,864	0,910	0,974	1,065	1,111	0,864		
3,50		1,008	1,057	1,132	1,242	1,291	1,008	±15	±25
4,00		1,152	1,203	1,299	1,420	1,471	1,152		
4,50		1,296	1,349	1,462	1,597	1,650	1,296		
5,00		1,440	1,495	1,625	1,775	1,830	1,440		
5,50		1,584	1,640	1,787	1,953	2,009	1,584	±20	
6,00		1,728	1,786	1,950	2,130	2,188	1,728		

Висота головки, ніжки та кут різьбового профілю в осьовій площині та у площині передньої поверхні забезпечуються виготовленням непереточуваної пластинки із відповідним профілем різі. Для цього необхідно знати висоту головки h''_1 , ніжки h''_2 та половину кута різьбового профілю $\varepsilon''/2$ у площині, перпендикулярній до задньої поверхні пластинки (див. рис. 3). Із очевидних геометричних побудов їх значення розраховуються за формулами:

$$h''_1 = h'_1 \cdot \cos \gamma_i; \quad (1)$$

$$h''_2 = h'_2 \cdot \cos \gamma_i; \quad (2)$$

$$\operatorname{tg} \frac{\varepsilon''}{2} = \operatorname{tg} \frac{\varepsilon'}{2} \cdot \frac{(h'_1 + h'_2)}{(h''_1 + h''_2)}. \quad (3)$$

Якщо статичний передній кут γ фрези дорівнює нулю, то у формули (1)...(3) підставляються h_1 , h_2 і ε - розміри профілю (висота головки і ніжки, кут профілю) різі деталі (і фрези) в осьовому перерізі, вибрані із табл.1.

Висновки. За допомогою розробленої методики стає можливим визначити параметри встановлення пластинок у корпусі гребінчастої фрези та розміри різьбового профілю непереточуваних пластинок, необхідних для профілювання точних різьб. Знання цих даних необхідно для виготовлення робочого креслення різних конструкцій високопродуктивних гребінчастих фрез.

Література

1. Каталог металлорежущих инструментов фирмы TaeguTec.
2. Нефедов Н.А. Сборник задач и примеров по резанию металлов и режущему инструменту / Н.А. Нефедов, К.А. Осипов. - 4-е изд., перераб. и доп. - М. : Машиностроение, 1984. - 400 с.
3. Справочник инструментальщика-конструктора / В.И. Климов, А.С. Лернер, М.Д. Пекарский. - М. : Mashgiz, 1958. – 608 с.

References

1. Metal-cutting tools catalogue of TaeguTec Company.
2. Nefedov N.A. Problem book and examples of metal cutting and metal-cutting tools / N.A. Nefedov, K.A. Osipov. – 4th issue, revised and corrected edition. – М.: Mechanic engineering, 1984. – 400 p.
3. Book of references for instrument designer / V.I. Klimov, A.S. Lerner, M.D. PekarSKIY. – М.: Mashgiz, 1958. – 608 p.

Рецензія/Peer review : 05.4.2020 р.

Надрукована/Printed :09.6.2020 р.
Рецензент: д. т. н., проф. А. І. Гордєєв

За зміст повідомлень редакція відповідальності не несе

Повні вимоги до оформлення рукопису
<http://journals.khnu.km.ua/vestnik/support.htm>

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол № 9 від 28.05.2020 р.**

Підп. до друку 27.06.2020 р. Ум.друк.арк. 30,69 Обл.-вид.арк. 28,63
Формат 30x42/4, папір офсетний. Друк різнографією.
Наклад 100, зам. № _____

Тиражування здійснено з оригінал-макету, виготовленого
редакцією журналу “Вісник Хмельницького національного університету”
редакційно-видавничим центром Хмельницького національного університету
29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 7/1. тел (0382) 72-83-63