

ISSN 2307-5732

DOI 10.31891/2307-5732

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

1.2020

ВІСНИК

Хмельницького

національного

університету

Технічні науки

Technical sciences

SCIENTIFIC JOURNAL

HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2020, Issue 1, Volume 281

Хмельницький

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

Затверджений як фахове видання (перереєстрація)
Категорія «Б», РІШЕННЯ АТЕСТАЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ № 1643 ВІД 28.12.2019

Засновано в липні 1997 р.

Виходить 6 разів на рік

Хмельницький, 2020, № 1 (281)

**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=aIUP9OYAAAAAJ
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	Гуляєва В. О. , завідувач відділом інтелектуальної власності і трансферу технологій 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., **Каргашов 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., **Сарібєкова Д.Г.**, д.т.н., **Семенко А.І.**, д.т.н., **Славінська А.Л.**, д.т.н., **Сорокатиї 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, **Бубуліс Альгімантас**, доктор наук (Литва), **Елсаєд Ахмед Ельнашар**, доктор наук (Єгипет), **Кальчинські Томаш**, доктор наук (Польща), **Коробко Євгенія Вікторівна**, д.т.н. (Білорусія), **Лунтовський Андрій Олегович**, д.т.н. (Німеччина), **Матушевський Мацей**, доктор наук (Польща), **Мушлевський Лукаш**, доктор наук (Польща), **Мушял Януш**, доктор наук (Польща), **Натріашвілі Тамаз Мамієвич**, д.т.н., (Грузія), **Попов Валентин**, доктор природничих наук (Німеччина)

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

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол № 7 від 30.01.2020 р.**

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

т	(038-2) 67-51-08	web:	http://journals.khnu.km.ua/vestnik
e-mail:	visnyk.khnu@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.М. РАДУК APPLICATION OF A GENETIC ALGORITHM TO SEARCH FOR THE OPTIMAL CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK ARCHITECTURE WITH WEIGHT DISTRIBUTION	7
YEVGENIYA SULEMA, CONSTANTINE RUDENKO A METHOD OF ARTIFACT COMPENSATION FOR DUAL QUATERNION SKINNING AND ITS APPLICATION IN DIGITAL TWIN MODELS	12
Р.В. АМБАРЦУМЯНЦ, С.А. РОМАШКЕВИЧ КИНЕТОСТАТИКА ГРУППИ АССУРА ЧЕТВЕРТОГО КЛАССА ВТОРОГО ПОРЯДКА С ДВУМЯ ПОСТУПАТЕЛЬНИМИ ПАРАМИ	20
О.В. БАРМАК, О.Д. КАЛИТА, Е.А. МАНЗЮК МОДЕЛЬ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ МІМІЧНИХ ПРОЯВІВ ЕМОЦІЙ	25
К.В. БОРАК, І.С. КРУК ВПЛИВ ШВИДКОСТІ РУХУ ҐРУНТООБРОБНИХ АГРЕГАТИВ НА ІНТЕНСИВНІСТЬ ЗНОШУВАННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ	30
О.В. БОРОВИК, Л.В. БОРОВИК, А.С. ДІВЦЬКИЙ, І.П. НІКОЛАЄВ ПРОГРАМНО-АЛГОРИТМІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МЕТОДИКИ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРЕВЕЗЕНЬ КОЛОНОЮ ТЕХНІКИ.....	37
Г.Г. БОРТНИК, М.В. ВАСИЛЬКІВСЬКИЙ, Р.М. ВІТЕР МЕТОД РОЗШИРЕННЯ ДИНАМІЧНОГО ДІАПАЗОНУ АНАЛОГО-ЦИФРОВИХ ТРАКТІВ ЗАСОБІВ ЦИФРОВОГО ОБРОБЛЕННЯ РАДІОСИГНАЛІВ	48
О.П. БОХОНЬКО, Г.Є. ЛОБАНОВА, О.Д. ЗАРИЦЬКИЙ ЗАГАЛЬНІ ПІДХОДИ ДО КЛАСИФІКАЦІЇ ТЕРМІНІВ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ ТА ТЕРМІНІВ ЗІ СТАНДАРТИЗАЦІЇ	52
А. Г. ВАСЕНКО, Е. А. ЦИТЛИШВИЛИ, Ю. В. СВИРИДОВ, В. В. БРУК ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТОЧЕЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА КАЧЕСТВО ВОДЫ УКРАИНСКОЙ ЧАСТИ ДЕЛЬТЫ ДУНАЯ	57
А.Я. ГАНЗЮК ОЧИЩЕННЯ ВУГЛЕВОДНЕВИХ СУМІШЕЙ ЗА ДОПОМОГОЮ ГРАНУЛЬОВАНИХ СОРБЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ	63
А.Л. ГАНЗЮК, О.В. КРАВЧУК, М.Б. ШАРШОНЬ, А.І. ГОРДЄЄВ, В.О. ГОРОХОВСЬКИЙ СПЕЦІАЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ СТАТИЧНИХ ВИПРОБУВАНЬ КОРОТКО-КЛИНКОВОЇ ХОЛОДНОЇ ЗБРОЇ	71
Т.О. ГОВОРУЩЕНКО, О.О. ПАВЛОВА, М.М. ТОНЕНЬКА СТРУКТУРА АГЕНТНО-ОРІЄНТОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОЦІНЮВАННЯ ПОЧАТКОВИХ ЕТАПІВ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ОСНОВІ ОНТОЛОГІЧНОГО ПІДХОДУ	77
В.В. ГУЗЕНКО, Н.В. ТІТОВА, Г.М. НОВЦЬКИЙ АНАЛІЗ ВЗАЄМОДІЇ РАДІОІМПУЛЬСНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ З БІОЛОГІЧНО АКТИВНИМИ ТОЧКАМИ ТВАРИН	82
Л.Б. ДЕМИДЧУК, Д.І. САПОЖНИК ВПЛИВ СКЛАДУ ЗАХИСНОГО ПОКРИТТЯ БУДІВЕЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ ІЗ ЗАЛІЗОБЕТОНУ НА ЙОГО АТМОСФЕРОСТІЙКІСТЬ	89
В.М. ДЖУЛІЙ, Ю.П. КЛЬОЦ, І.В. МУЛЯР, В.М. ЧЕШУН ІТЕРАЦІЙНО-ГЕОМЕТРИЧНИЙ МЕТОД ДЛЯ СТІЙКОГО ПЕРЦЕПТУАЛЬНОГО ХЕШУВАННЯ ЗОБРАЖЕННЯ	94

О.М. ДМИТРИК, В.І. БЕЗСМЕРТНА, Л.Є. ГАЛАВСЬКА ВПЛИВ ТИПУ ПЛОСКОВ'ЯЗАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ НА ПЕТЕЛЬНУ СТРУКТУРУ ТРИКОТАЖУ, ВИРОБЛЕНОГО З СИРОВИНИ ПІДВИЩЕНОЇ МІЦНОСТІ ТА У ПОЄДНАННІ З МЕТАЛЕВОЮ МОНОНИТКОЮ	98
А.В. ДУДАТЬЄВ, О.П. ВОЙТОВИЧ, В.В. МИРОНЮК ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНІ ЦЕНТРИ В УПРАВЛІННІ ІНФОРМАЦІЙНОЮ БЕЗПЕКОЮ ДЕРЖАВИ	105
О.В. КАЛАШНИК, С.Є. МОРОЗ, О.В. КИРИЧЕНКО ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ БАЗ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ КОСМЕТИЧНИХ ЗАСОБІВ	110
С.Є. КАМЕНЕЦЬ, А.І. ТІХОВА ДОСЛІДЖЕННЯ ВІДПОВІДНОСТІ ФУНКЦІОНАЛЬНО-СПОЖИВЧИМ ВИМОГАМ ВИРОБІВ З НОВИХ ЕКОЛОГІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ЇХ ПРОСТОРОВИЙ ДИЗАЙН	117
В.Т. КОНДРАТОВ ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ МЕТРОЛОГИЯ: МАГНИТОПОЛЕВАЯ ТЕОРИЯ ИЗМЕРЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА ЭНЕРГИИ И ИНФОРМАЦИИ СКВОЗЬ МАТЕРИАЛ ИЛИ ВЕЩЕСТВО. Часть 10. Преобразование потенциальной энергии материала в электроэнергию	124
С.А. ЛУПЕНКО, Я.В. ЛИТВИНЕНКО, Г.М. ОСУХІВСЬКА, Н.Б. СТАДНИК, А.С. СВЕРСТЮК МОДИФІКАЦІЯ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИЗНАЧЕННЯ МОРФОЛОГІЧНИХ ТА РИТМІЧНИХ ДІАГНОСТИЧНИХ ОЗНАК ЗА ЕЛЕКТРОКАРДІОСИГНАЛАМИ.....	137
О.В. МАЗУРЕЦЬ, Т.К. СКРИПНИК, А.В. ІЗОТОВ ФАСЕТКОВИЙ МЕТОД ПЕРЕТВОРЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОГО РОЗПІЗНАВАННЯ	147
Т.Б. МАРТИНЮК, А.Г. БУДА, А.В. КОЖЕМ'ЯКО, Л.М. КУПЕРШТЕЙН ОСОБЛИВОСТІ ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЇ В РОБОТОТЕХНІЦІ ТА СИСТЕМАХ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ	154
І. А. МАРТИРОСЯН, О. В. БОЧАРОВА, О. В. ПАХОЛЮК ВПЛИВ НОВОЇ ТІОСУЛЬФОНАТНОЇ АНТИМІКРОБНОЇ ОБРОБКИ НА СТІЙКІСТЬ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ	158
В. П. МІХАЛЕВСЬКИЙ, Г. І. МІХАЛЕВСЬКА РОЗВИТОК ІНФОРМАЦІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ НАДБУДОВИ ІНФОРМАЦІЙНОГО СУСПІЛЬСТВА	163
О.А. МЯСІЩЕВ МОЖЛИВОСТІ ПОЛЬОТНОГО КОНТРОЛЛЕРА ССЗД З ПРОШИВКОЮ INAV	171
О.В. НАХАЙЧУК, Е.А. ЗАХАРОВА, А.А. МІЗРАХ, В.С. ГОРОБЧИШИНА ВПЛИВ ПОКАЗНИКІВ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ НА КОМПРЕСІЙНИЙ ТИСК В СИСТЕМІ «ФІГУРА – СУКНЯ»	180
А.О. НІЧЕПОРУК, А.А. НІЧЕПОРУК, О.В. ФЕГИР, А.Д. КАЗАНЦЕВ, Ю.О. НІЧЕПОРУК МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ DDOS АТАК НА ІОТ МЕРЕЖІ.....	184
О.В. ОСАДЧУК, В.С. ОСАДЧУК, Я.О. ОСАДЧУК ТЕНЗОРЕАКТИВНИЙ ЕФЕКТ В БІПОЛЯРНИХ ТРАНЗИСТОРАХ	192
Л.В. ПЕЛИК, Ю.А. ПЕЛЕХ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАБИВНИХ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ СУБЛІМАЦІЇ	199

Н.В. ПЕРВАЯ, О.А. АНДРЕЄВА, В.Ю. ЩЕРБАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ ВЕРХУ ВЗУТТЯ	203
А.Л. ПЕРЕДЕРКО МЕТОД КОМПЕНСАЦІЇ ЗМІЩЕННЯ НУЛЯ В П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИХ ВІБРАЦІЙНИХ ГІРОСКОПАХ	210
О.С. ПИВОВАР ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ СЕГМЕНТОВАНОЇ КАБЕЛЬНОЇ ЛІНІЇ У МЕТОДІ НЕЛІНІЙНОЇ РЕАКЦІЇ	214
Н.І. ПРАВОРСЬКА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕЧНОГО ОБМІНУ ІНФОРМАЦІЇ В МЕРЕЖІ ЕЛЕМЕНТІВ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ	219
І.О. РОЗЛОМІЙ МЕТОДИ ПІДСИЛЕННЯ ХЕШ-ФУНКЦІЇ ПАРОЛЮ ПРИ АВТОРИЗАЦІЇ КОРИСТУВАЧІВ	225
А.С. СВЕРСТЮК, В.М. АРХИПОВА, К.В. СТЕПУРСЬКА, В.П. МАРЦЕНЮК, І.В. БОЙКО, С.В. ДЗЯДЕВИЧ РОЗРОБКА ТА ВЕРИФІКАЦІЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПОТЕНЦІОМЕТРИЧНОГО БІОСЕНСУРУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ α -ЧАКОНІНУ	230
В.В. СТАЦЕНКО, О.П. БУРМІСТЕНКОВ, Т.Я. БІЛА ВИЗНАЧЕННЯ РОЗПОДІЛЕННЯ ЧАСТИНОК СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ ПІД ЧАС ПЕРЕМІЩУВАННЯ У РОТОРІ ВІДЦЕНТРОВОГО ЗМІШУВАЧА БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ	238
В.В. СТРЕЛЬБИЦЬКИЙ, О.О. НЕМЧУК ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НАПРАЦЮВАННЯ ТА АСИМЕТРІЇ ЦИКЛУ НА ТРИЩИНОСТІЙКІСТЬ СТАЛЕЙ ПОРТАЛЬНИХ КРАНІВ	245
М.Є. СКИБА, М.С. СТЕЧИШИН, В.В. ЛЮХОВЕЦЬ, Н.М. СТЕЧИШИНА, М.В. ЛУК'ЯНИЮК КАВІТАЦІЙНО-ЕРОЗІЙНА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ АЗОТОВАНИХ В ТІЛЮЧОМУ РОЗРЯДІ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ	249
Н.Ю. ТЕРЕЩЕНКО, О.Ю. КУРСЕНКО, О.І. ХИЖАН, Л.О. КОВШУН КЕЙС-МЕТОД НАВЧАННЯ МЕТОДОЛОГІЇ ВИМІРЮВАННЯ ВМІСТУ КСЕНОБІОТИКІВ ХРОМАТОГРАФІЧНИМИ МЕТОДАМИ.....	258
Ю.В. ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ, О.В. ОГНЄВИЙ ПРОГНОЗУВАННЯ РИЗИКІВ ЗАВАДОСТІЙКОЇ ПЕРЕДАЧІ ТА ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ	264
В.П. ХОРОЛЬСЬКИЙ, О.К. КОПАЙГОРА, Ю.С. ГАВРИШКЕВИЧ, А.О. БОЙЧЕНКО СИСТЕМА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯМ ВИРОБНИЦТВА ХЛІБА	269
А.В. ШЕВЧЕНКО, А.А. ВИДМИШ, А.А. ШТУЦЬ ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ЗАДАЧІ ТРАСУВАННЯ ЛІНІЙНИХ ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД.....	279
В.Ю. ЩЕРБАНЬ, А.К. ПЕТКО, О.З. КОЛИСКО, Ю.Ю. ЩЕРБАНЬ, М.І. ШОЛУДЬКО СТРУКТУРА КОМП'ЮТЕРНОЇ ПРОГРАМИ РЕАЛІЗАЦІЇ АЛГОРИТМУ РЕКУРСІЇ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗУСИЛЬ	286

APPLICATION OF A GENETIC ALGORITHM TO SEARCH FOR THE OPTIMAL CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK ARCHITECTURE WITH WEIGHT DISTRIBUTION

In the past decade, a new way in neural networks research called Network architectures search has demonstrated noticeable results in the design of architectures for image segmentation and classification. Despite the considerable success of the architecture search in image segmentation and classification, it is still an unresolved and urgent problem. Moreover, the neural architecture search is also a highly computationally expensive task. This work proposes a new approach based on a genetic algorithm to search for the optimal convolutional neural network architecture. We integrated a genetic algorithm with standard stochastic gradient descent that implements weight distribution across all architecture solutions. This approach utilises a genetic algorithm to design a sub-graph of a convolution cell, which maximises the accuracy on the validation set. We show the performance of our approach on the CIFAR-10 and CIFAR-100 datasets with a final accuracy of 93.21% and 78.89%, respectively. The main scientific contribution of our work is the combination of genetic algorithm with weight distribution in the architecture search tasks that achieve similar to state-of-the-art results on a single GPU.

Keywords: convolutional neural networks, genetic algorithms, weight distribution, ablation study.

П.М. РАДЮК
Хмельницький національний університет

ЗАСТОСУВАННЯ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ ДЛЯ ПОШУКУ ОПТИМАЛЬНОЇ АРХІТЕКТУРИ ЗГОРТКОВОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ З РОЗПОДІЛЕННЯМ ВАГ

За останнє десятиліття новий спосіб дослідження нейронних мереж під назвою «Пошук мережевих архітектур» продемонстрував позитивні результати в розробці архітектур для сегментації та класифікації зображень. Незважаючи на значний успіх пошуку архітектур в задачах сегментації та класифікації зображень, він все ще є невирішеною і актуальною проблемою. Більше того, пошук архітектур нейронних мереж є також дуже витратим з точки зору обчислювальних ресурсів. У цій роботі пропонується новий підхід на основі генетичного алгоритму для пошуку оптимальної архітектури згорткової нейронної мережі. Ми інтегрували генетичний алгоритм зі стандартним стохастичним градієнтом, що реалізує розподіл ваг у всіх архітектурних рішеннях. Цей підхід використовує генетичний алгоритм для проектування частини графу в якості згорткового шару, що забезпечує максимальну точність на валідаційному наборі даних. У цій роботі ми демонструємо ефективність нашого підходу на наборах даних CIFAR-10 та CIFAR-100 з кінцевою точністю 93,21 % та 78,89 % відповідно. Основним науковим внеском нашої роботи є поєднання генетичного алгоритму з розподілом ваг в задачах пошуку архітектури, що досягає точності класифікації зображення з використанням одного графічного процесора близької до найсучасніших результатів.

Ключові слова: згорткові нейронні мережі, генетичні алгоритми, розподілення ваг, абляція дослідження.

Introduction

In recent decades, artificial neural networks have produced outstanding results in computer vision with a wide variety of applied tasks such as object detection, image segmentation and classification and others. The design of neural network architectures for a specific task or dataset usually requires specific approaches and a large number of computational resources [1, 2]. Recently, a new way in neural networks research called Network Architectures Search (NAS) has demonstrated noticeable results in the design of architectures for image segmentation and classification. NAS approaches use a recurrent neural network (RNN) controller to generate a candidate network architecture, called child model, which is then trained to converge. After the training, researchers measure the performance of the trained network architecture on the desired task or dataset. RNN controller receives the performance measurement as a signal to explore for a better architecture. After that, this process repeats over many computationally expensive iterations.

Analysis of recent research

Despite the considerable success of NAS in classification tasks, it is still highly computationally expensive. Recently, many studies have used the idea of parameter sharing [3] across all child models to reduce the need for training each child model from scratch, thereby eliminating most computational costs. Weight distribution, the analogue of parameter sharing for convolutional cells, has shown prominent result utilising reinforcement-based and gradient-based methods. The first method is an effective search for neural architecture using parameter sharing (ENAS) [4] based on reinforcement training with the RNN controller to create the candidate architecture. The second method is called a differentiable architecture search with various modifications (DARTS) [5], where each compound has a gradient-updating probability function. However, none of the publications has yet combined GAs with parameter sharing or its analogies to NAS.

Genetic algorithm (GA) is a search method based on natural selection and genetics [6]. GAs consist of four fundamental concepts: selection, cross-over, mutation, and replacement. Population, another essential component of GA, is utilised to generate new candidate solutions. A new generation is created in each iteration, using a three-step process of selection, cross-over and mutation. The next generation is then inserted into the population through the replacement phase. The algorithm starts with a random set that is evaluated at the beginning of training.

Evolution-based method for NAS has been used in lots of works, for instance [7] and [8], but without weight distribution. This study presents a genetic approach to optimise the convolutional neural network architecture on the validation set. Our work utilises the search space, defined by [4], and presents a convolution cell as a directed acyclic graph (DAG) with a fixed-length list of integers that are used to describe the DAG structure [9].

Benchmark datasets

The data used in the experiment is CIFAR-10, and CIFAR-100 datasets [10]. The CIFAR-10 dataset consists of 60000 32×32 colour images in 10 classes, with 6000 images per class. The CIFAR-100 dataset is just like the CIFAR-10, except it has 100 classes containing 600 images each with 500 training images and 100 testing images per class. We pre-processed the data by normalising all images. Fig. 1 introduces instances of datasets.

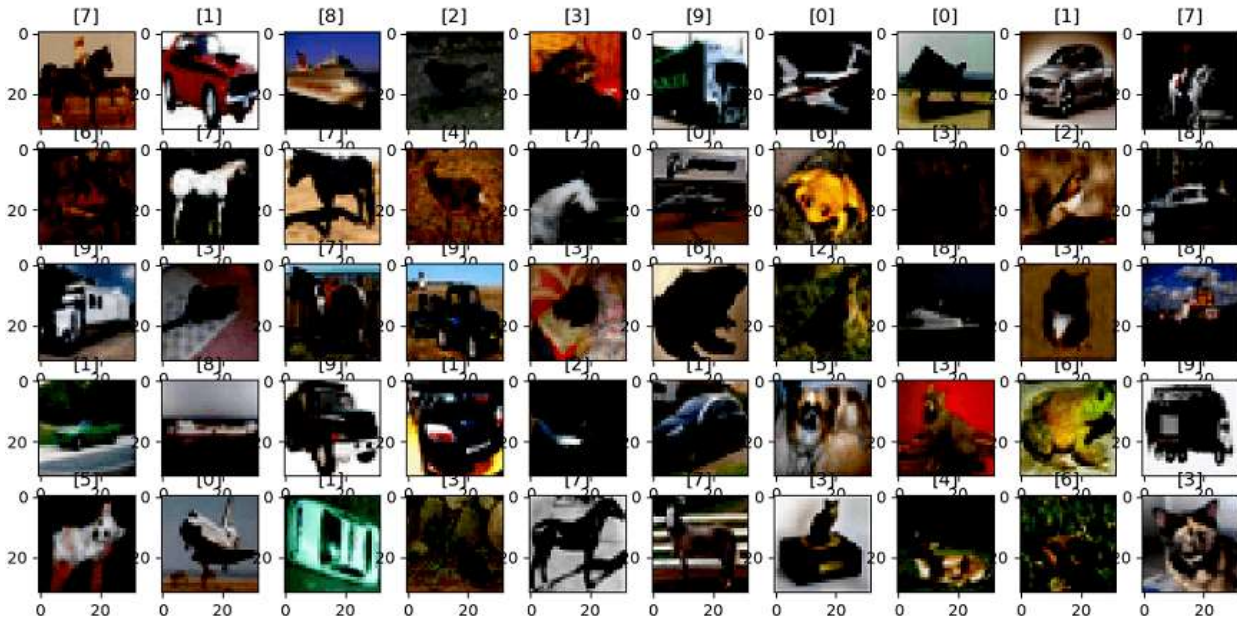


Fig. 1. Instances of the CIFAR-10 and CIFAR-100 datasets

A genetic approach to an architecture search

The main idea of our application is to combine evolution search with weight distribution. Having used ENAS search space, we present a convolutional cell as DAG, where each node represents an operation, and the edges – tensors. Additionally, we utilised the ENAS’s primary attribute – parameter sharing, however, applied it only to the weights across all the child networks. The convolution search space exploits the idea that the same cell repeats several times, which is a standard practice in NAS [11].

```

Data: current_population  $x_p$ ;
Result: sampled_individual  $x_s$ ;
 $x_0, x_1 = \text{sampling}(x_p)$ ;
 $x_0, x_1 = \text{crossover}(x_0, x_1)$ ;
 $x_s = \text{mutation}(x_0)$ .
    
```

Fig. 2. The process of sampling

```

Data: import dataset;
Result: initialise network_architecture_weights;
for each_epoch do
    for each_batch do
        sample random_child_model from population;
        forward_pass;
        backward_pass;
    end
    generate next_generation from population;
    for each_child in next_generation do
        set child_architecture;
        evaluate architecture_accuracy;
    end
    update population using replacement;
end
    
```

Fig. 3. Application of the GA

We integrated the GA search with an SGD algorithm, for efficient architecture search. We also utilised weight distribution in order to reduce the number of training all child networks from scratch. The weight distribution requires the model coefficient to be adaptable to network architecture change. Such an approach requires an update of all the weights. We provide a sampling of different architectures from the current population in each batch to achieve the weights update. The process of sampling consists of three steps: 1) select randomly two individuals from the current population, 2) provide cross-over followed by a mutation that applied to the first offspring and 3) return a result. Fig. 2 presents the algorithm of the sampling process of our approach.

After completing the training process of one epoch, a new generation is created from the current population, using the following three steps: selection, crossing, and mutation. Once all individuals are established, the current population is then updated with the replacement method [12]. Fig. 3 shows the training process for our approach.

Training

First of all, we present an ablation study of genetic search on the CIFAR-10 dataset. Then, we show the performance of our application on the CIFAR-10 and CIFAR-100 datasets and describe the process of an architecture search. All calculations are performed with a single NVIDIA GTX 1080 graphics processing unit using machine learning framework TensorFlow v. 1.13.0 [13]. We applied a weight decay of 0.0001 with dropout probability of 0.3 [14]. The batch size is set to 256 images per gradient update [15].

The implementation of ablation study

The ablation study [16] was performed on CIFAR-10 dataset with a small model with convolutional cells of 2. In the first cell, the number of channels is 20. The momentum of the SGD optimiser is 0.9. To design a convolutional cell, we set 5 blocks. We also randomly selected 1000 images from the validation set to evaluate each individual from the total generation, which size is 20. On the whole, the training process took 320 epochs. Fig. 4 demonstrates the results of ablation study.

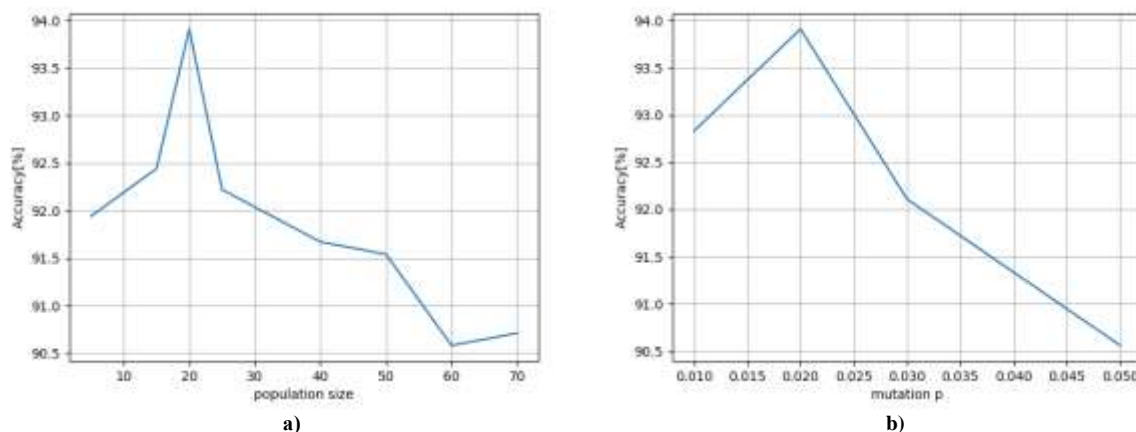


Fig. 4. Final search result over different parameters of the genetic algorithm: a) population size; b) mutation

Fig. 4,a shows the accuracy distribution depending on the population size. Higher population value leads to lower performance, which is caused by high population variability. However, low population size also leads to a decrease in accuracy, which reduces the ability of GA to explore new solutions. Fig. 4,b shows the result of a search depending on various mutation probabilities. From fig. 4, b, a high probability of mutation leads to poor performance. In terms of architecture search, the high probability of mutation increases the variability of the convolutional architecture, which also reduces the ability of GA to explore better solutions. Both population size and mutation probabilities represent a compromise between exploration and exploitation. Not only this trade-off affects the genetic search but also that SGD optimisation since we sample a different architecture for each gradient update from the current population.

Results of the experiments

Foremost, we provided experiments on the CIFAR-10 dataset. The hyper-parameters selected are based on the ablation study, where the mutation probability is 0.02, and the population size is 20. The values of other hyperparameters are equal to the results of the ablation study.

Fig. 5,a shows the distribution of min accuracy, max accuracy and mean accuracy of the population depending on the numbers of epochs. Error bar points the standard deviation of the population accuracy on the subset of the validation set. Fig. 5,b presents the number of new individuals inserted into the population at the end of each epoch. Having found the best architecture, we train the model from scratch for 600 epochs in total. The model in the final stage has four convolutional cells. The number of channels is increased to 48. For regularisation, we apply drop-path with a drop probability of 0.9. Table 1 presents the result of the final training.

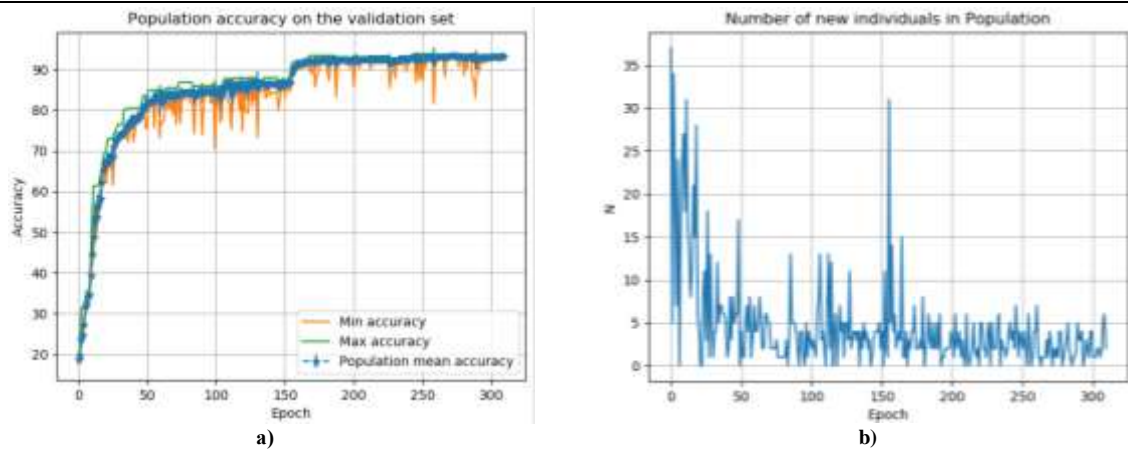


Fig. 5. The architecture search on the CIFAR-10 dataset: a) population mean accuracy; b) number of updates in population

Table 1

Compare CIFAR-10 Validation Accuracy

Model	Accuracy
BayesNAS [2]	95.63%
Single-Path NAS [11]	96.37%
ENAS [4]	96.46%
DART+ [5]	97.06%
Our model	93.21%

Table 1 compares the result on CIFAR-10 on a set of different human-designed networks and a set of search algorithms. We achieved an accuracy of 93.21% on the validation-set of CIFAR-10 dataset.

We performed the same architecture search on the CIFAR-100 dataset with the same hyperparameters as in the previous experiment. In order to fit into GPU memory, the number of channels in the search was to 48, and the batch size was reduced to 128. Fig. 6 describes the search results.

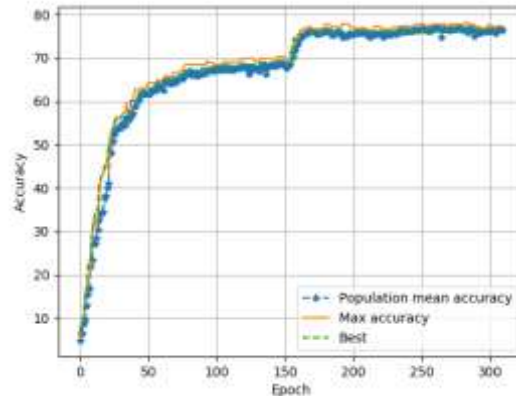


Fig. 6. Compare a population metric on a subset of a validation dataset to the best model's accuracy across the entire validation CIFAR-100 dataset

Fig. 6 shows a slight difference between the maximum accuracy of the population measured on a subset of a validation set and the best accuracy measured on a whole validation set. This slight difference indicates the high accuracy of prediction on a subset of the validation dataset. After finding the optimal architecture, we conducted a final training session with the same hyperparameters used on the CIFAR-10 dataset. The result of the final training on the CIFAR-100 dataset is 78.89%.

Conclusion

This study proposes a new approach based on genetic algorithms to search for optimal convolutional neural network architectures. In order to reduce search time, we implemented weight distribution to the approach. In this work, we also utilised ablation study to compromise exploration and exploitation that are inherent in genetic algorithms. Our work shows that ablation study demonstrates a significant effect on the validation accuracy, which can be considered as regularisation. We conducted experiments on the CIFAR-10 and CIFAR-100 datasets and achieved a final accuracy of 93.21% and 78.89% on the CIFAR-10 and CIFAR100 validation sets, respectively. The main contribution of our work is the combination of genetic algorithm with weight distribution in the architecture search tasks that achieve similar to state-of-the-art results on a single GPU.

References

1. Romanuke V.V. An efficient technique for size reduction of convolutional neural networks after transfer learning for scene recognition tasks / V.V. Romanuke // *Applied Computer Systems*. – 2018. – Volume 23. – Issue 2. – P. 141–149. – DOI: <https://doi.org/10.2478/acss-2018-0018>
2. Zhou H. BayesNAS: A bayesian approach for neural architecture search / H. Zhou, M. Yang, J. Wang // 2019 International Conference on Machine Learning, arXiv:1905.04919 [cs.LG]. – 2019. – P. 7603–7613.
3. Savarese P. Learning implicitly recurrent CNNs through parameter sharing / P. Savarese, M. Maire // 2019 International Conference on Learning Representations, arXiv:1902.09701 [cs.LG]. – 2019.
4. Pham H. Efficient neural architecture search via parameter sharing / H. Pham, M.Y. Guan, B. Zoph // 35th International Conference on Machine Learning, arXiv:1802.03268 [cs.LG]. – ICML, 2018. – Volume 80. – P. 6522–6531.
5. Liang H. DARTS+: Improved differentiable architecture search with early stopping / H. Liang, S. Zhang, J. Sun, X. He, W. Huang, K. Zhuang, Z. Li // arXiv:1909.06035 [cs.CV]. – 2019.
6. Deb K. Introduction to genetic algorithms / K. Deb // *Sadhana*. – Academy Proceedings in Engineering Sciences, 1999. – Volume 24. – No. 4. – P. 293–315. – DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02823145>
7. Chen Y. Reinforced evolutionary neural architecture search / Y. Chen, Q. Zhang, Ch. Huang, L. Mu, G. Meng, X. Wang // arXiv:1808.00193 [cs.NE]. – 2018.
8. Litzinger S. Compute-efficient neural network architecture optimisation by a genetic algorithm / S. Litzinger, A. Klos, W. Schiffmann // *Artificial Neural Networks and Machine Learning*. – ICANN, 2019: Deep Learning. ICANN 2019. Lecture Notes in Computer Science, Springer, Cham, 2019. – Volume 11728. – DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-30484-3_32
9. Costa M.G.F. Using convolutional neural networks with direct acyclic graph architecture in segmentation of breast lesions in US images / M.G.F. Costa, J.P.C. Mendes, W.C. A Pereira, C.F.F.C. Filho // VIII Latin American Conference on Biomedical Engineering and XLII National Conference on Biomedical Engineering. CLAIB 2019. IFMBE Proceedings, Springer, Cham, 2019. – Volume 75. – DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-30648-9_99
10. Krizhevsky A. Learning multiple layers of features from tiny images / A. Krizhevsky – 2009. – URL: <https://www.cs.toronto.edu/~kriz/CIFAR-.html>
11. Stamoulis D. Single-Path NAS: Designing hardware-efficient ConvNets in less than 4 hours / D. Stamoulis, R. Ding, D. Wang, D. Lymberopoulos, B. Priyantha, J. Liu, D. Marculescu // arXiv:1904.02877 [cs.LG]. – 2019.
12. Lozano M. Replacement strategies to maintain useful diversity in steady-state genetic algorithms / M. Lozano, F. Herrera, J.R. Cano // *Advances in Soft Computing*. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2005. – Volume 32. – DOI: https://doi.org/10.1007/3-540-32400-3_7
13. Abadi M. TensorFlow: Large-scale machine learning on heterogeneous distributed systems / M. Abadi, A. Agarwal, P. Barham. // OSDI'16 Proceedings of the 12th USENIX conference on Operating Systems Design and Implementation. – 2016. – P. 265–283. – ISBN: 978-1-931971-33-1.
14. Romanuke V.V. Appropriateness of DropOut layers and allocation of their 0.5 rates across convolutional neural networks for CIFAR-10, EEACL26, and NORB datasets / V.V. Romanuke // *Applied Computer Systems*. – 2017. – Volume 22. – Issue 1. – P. 54–63. – DOI: <https://doi.org/10.1515/acss-2017-0018>
15. Radiuk P.M. Impact of training set batch size on the performance of convolutional neural networks for diverse datasets / P.M. Radiuk // *Information Technology and Management Science*. – 2017. – Volume 20. – Issue 1. – P. 20–24. – DOI: <https://doi.org/10.1515/itms-2017-0003>
16. Meyes R. Ablation Studies in artificial neural networks / R. Meyes, L. Melanie, C.W. de Puiseau, T. Meisen // arXiv:1901.08644 [cs.NE]. – 2019.

Рецензія/Peer review : 17.1.2020 р.

Надрукована/Printed : 14.2.2020 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

YEVGENIYA SULEMA, CONSTANTINE RUDENKO
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

A METHOD OF ARTIFACT COMPENSATION FOR DUAL QUATERNION SKINNING AND ITS APPLICATION IN DIGITAL TWIN MODELS

This paper is devoted to the task of realistic 3D model visualization. It presents a method which allows to avoid undesired deformations of 3D model. The proposed method allows to significantly reduce the bulging joint artifact which appears as a result of dual quaternion skinning. Dual quaternion skinning is a real-time skeletal animation technique, developed as an alternative to linear skinning. Unlike linear skinning, dual quaternion skinning does not suffer from loss of volume during deformations, but introduces a new type of artifact, namely, joints bulging outward during bending. The paper proposes a method of approximating the undesired deformation. The proposed method only takes into account the bulging, introduced by blending the poses of the first two bones (in order of decreasing weights) affecting the given vertex, and is designed to prevent discontinuities, which can arise from such approach, by smoothly decreasing the amount of bulging compensation around problematic zones, while improving the animation in areas, where bulging artifact is most noticeable. The developed method can be used for 3D model creation and visualization in digital twin technology. The paper presents an architecture of digital twin technology for medical information systems.

Keywords: skeletal animation, skinning, dual quaternions, digital twins

Є. С. СУЛЕМА, К. П. РУДЕНКО

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

МЕТОД КОМПЕНСАЦІЇ АРТЕФАКТІВ DUAL QUATERNION SKINNING ТА ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ ДО МОДЕЛЕЙ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ

В статті вирішується проблема реалістичної візуалізації 3D моделей. Запропоновано метод, який дозволяє уникати небажаних деформацій 3D моделей, що виникають при застосуванні процедури Dual Quaternion Skinning. Процедура Dual Quaternion Skinning дозволяє перетворення у реальному часі скелету тривимірної моделі на реалістичну модель, зовнішній вигляд якої забезпечується полігональною сіткою, проте вона вносить небажані артефакти, такі як "роздування" суглоба моделі при згинанні. В даній статті пропонується метод апроксимації цього дефекту, що дозволяє значно зменшити небажану деформацію. Запропонований метод враховує дефект, спричинений інтерполяцією поз перших двох кісток (в порядку спадання коефіцієнтів ваги), що впливають на суглоб моделі, та запобігає створенню розривів шляхом плавного зменшення інтенсивності компенсації дефекту навколо проблемних зон, при цьому покращуючи якість анімації в зонах, де дефект найбільш помітний. Розроблений метод може бути застосований при створенні та візуалізації моделей у технології цифрових двійників. В статті пропонується архітектура технології цифрових двійників для медичних інформаційних систем.

Ключові слова: скелетна анімація, скінінг, дуальні кватерніони, цифрові двійники.

Introduction

Realistic 3D animation is required for many applications where a certain object, subject, or process need to be visualized while changing in course of time. Skeletal animation is a technique of animation, in which the model is represented in two parts: polygonal mesh and a skeleton. The animator controls the motions of the skeleton, while the polygonal mesh is wrapped around it through the process of skinning. Skinning is the process of deforming a polygonal mesh, based on the current pose of the skeleton and the vertex weight coefficients, which determine the amount of influence each bone has on the given vertex.

Several techniques of real-time skinning are currently available [1-10]. Linear skinning and dual quaternion skinning are examples of such techniques. Each skinning technique introduces its own type of artifacts. For example, the linear skinning models suffer from loss of volume during deformations. At the same time, dual quaternion skinning, which was developed as an alternative to linear skinning, does not produce such artifact, but it introduces another one, namely, joints bulging outward during bending. Thus, the development of a method of artifact compensation for dual quaternion skinning is a topical task.

The method described in this paper is similar in principle to using corrective blend shapes to fix the bulging artifact of dual quaternion skinning, but instead of the animator manually creating the blend shapes, they are estimated in real-time, based on the data already available. A model of undesired deformation is created, and the inverse transformation is applied after the skinning, reducing the artifact.

The proposed method has a significant importance for creation of 3D models for digital twin technology. A digital twin is a virtual replica of its physical twin in terms of both behaviour and appearance. The technology of digital twins [11] has been introduced quite recently. It has been developed to help business in enhancing the processes of products and services development [12].

However, this technology can be also implemented in other areas where analysis, modelling, and prediction of an object (subject, process, phenomenon) future states, conditions, or behaviour is necessary. One of such new application areas are healthcare and medicine [13, 14]. For such applications, there are high requirements to visualization quality in order to ensure correspondence between a digital twin and its physical twin. Therefore, the developed method of artifact compensation for dual quaternion skinning can help to satisfy the requirements to the digital twin 3D model visualization.

Literature Review

One method of combating the bulging joint artifact of dual quaternion skinning was proposed by Kim and Han [1]. In order to prevent bulging, the distance between each vertex of the model and its nearest bone segment is calculated and stored. After performing the dual quaternion skinning, the vertices that moved away from respective bones are re-projected to maintain the stored distances. This approach effectively prevents joint bulging, but may create discontinuities in areas like knuckles, or crotch area (Fig. 1).

Another approach to reducing skinning artifacts is using different centres of rotations for different joints, as the bulging artifact arises from using the same centre of rotation for all vertices near a joint [2]. These centres of rotation can be pre-computed and stored, thus having little impact on real-time performance. However, for best results this method requires optimized set of skinning weights, while editing weights requires re-calculating optimized centres of rotation, which cannot be done in real-time.

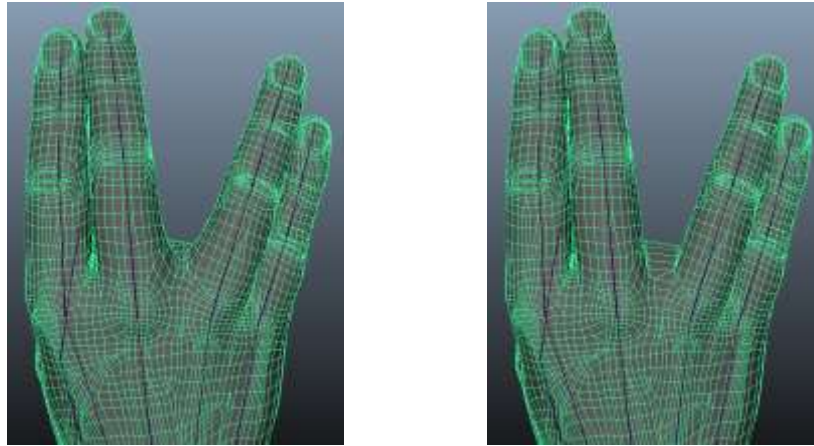


Fig. 1. Dual quaternion skinning (left) and bulging-free dual quaternion skinning (right) [1]

Apart from skinning techniques, bulging artifact can be reduced using corrective blend shapes. Corrective blend shapes are designed to improve the model's deformation in a particular problematic pose (e.g., raised arm). As the model approaches this target pose, the weight coefficient on respective blend shape is increased and vice versa. Corrective blend shapes allow for precise tweaking of animations and simulating effects, like skin contact, skin sliding and muscle bulging, but must be created manually, which significantly increases the amount of time spent on creating animations.

Multi-weight enveloping [6] and animation space skinning [7] avoid the artifacts of traditional linear skinning by utilizing multiple weights for every bone-vertex pair, but this makes manual painting of weights infeasible, requiring a set of example poses for parameter fitting, which takes additional time and effort to create.

Research Objective

The objective of this research is to develop a method of artifact compensation for dual quaternion skinning and to employ it to 3D model creation and processing within the digital twin information technology.

Proposed Method

The idea behind the proposed method is to create an approximated model of undesired deformation (i.e., joint bulging) and apply an inverse transformation after the dual quaternion skinning is performed. In order to make such approximation possible, several assumptions are made about the target model:

- Weights are smooth on the surface of the model;
- The bone that has the greatest skinning weight for any given vertex is the nearest bone to this vertex;
- The length of transition between areas affected by neighbouring bones is roughly proportional to the radius of the joint.

Current method only takes into account two bones with greatest weights that affect any given vertex. Considering that the sum of their weights cannot be less than 0.5 (in the worst-case scenario with 4 bones) and most vertices of the model are usually affected by less than four bones, such simplification can still provide satisfactory results.

The bulging artifact is approximated as a motion of vertices along the bisector of the angle, created by the two bones that have the greatest weights for the given vertex (Fig. 2a).

Bones of the skeleton must be sorted, so that in any given pair of bones, the bone, that is further away in hierarchy from the root bone, will have higher index. If the bone with greatest weight coefficient in the given pair has smaller index, then the direction of deformation is inverted. Without this inversion, all the vertices would move in the same direction, instead of compressing the bulged joint back into proper shape.

Notice that such inversion does not create a discontinuity, as in the middle of transition zone (where both bones of the pair have equal weights) there is no undesired deformation to compensate. So, while there is a discontinuity in direction, the length of the offset is zero (Fig. 2b).

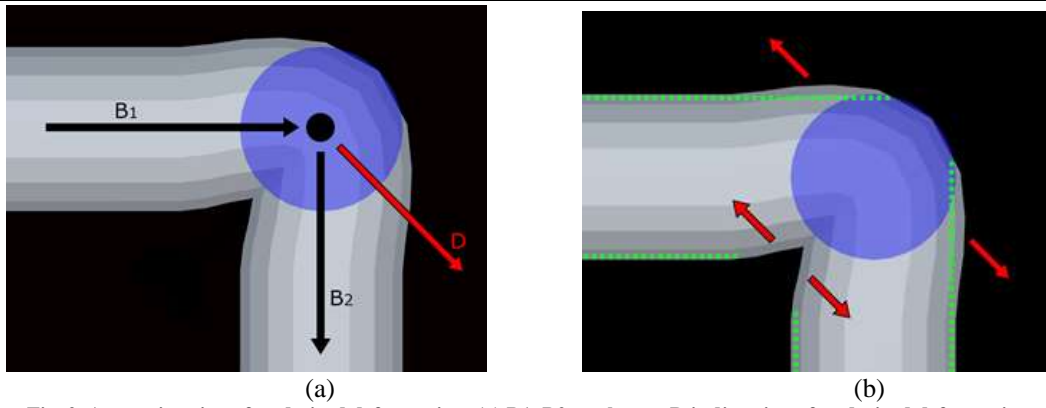


Fig. 2. Approximation of undesired deformation: (a) B1, B2 are bones, D is direction of undesired deformation; (b) Discontinuity in direction of deformation

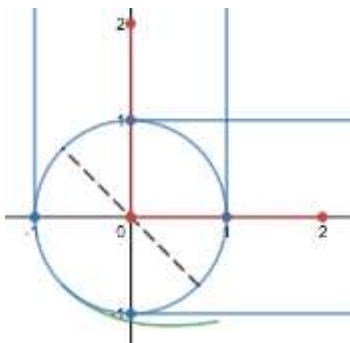


Fig. 3. The 2D model of a bent joint. Red lines represent bones, blue is surface of the model, green is bulging deformation introduced by dual quaternion skinning, dotted black is the direction of deformation

The length of the deformation vector is determined, based on the angle between current poses of the involved bones (relative to their bind poses) and the radius of the joint (which is calculated as the distance between the vertex and the nearest bone segment). In order to derive the length of the deformation vector, a 2-dimensional model of the bent joint was used (Fig. 3).

A unit step function convolved with Gaussian function was used for the weight transition falloff (Fig. 4):

$$H(x) = \frac{d}{dx} \max\{x, 0\} \tag{1}$$

$$g(x) = \frac{e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}}{\sigma\sqrt{2\pi}} \tag{2}$$

$$w_1(x) = \int_{-\infty}^{\infty} g(t)H(t-x)dt \tag{3}$$

$$w_2(x) = \int_{-\infty}^{\infty} g(t)H(x-t)dt \tag{4}$$

$$w_1(x) + w_2(x) = 1 \tag{5}$$

where $H(x)$ is the unit step function; $g(x)$ is Gaussian function; $w_1(x)$ and $w_2(x)$ are bone weight coefficients for the vertex at horizontal position x .

The parameters were chosen empirically. Different values of standard deviation for Gaussian function were tested, as well as linear weight falloff. Best results were acquired with $\sigma = 0.63$.

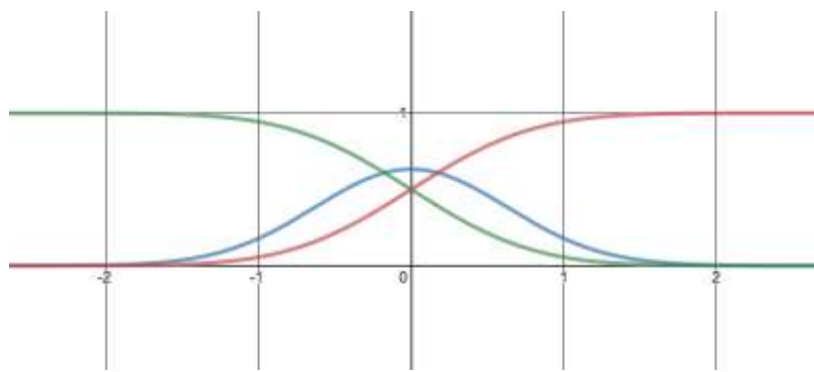


Fig. 4. Blue is Gaussian function ($\sigma=0.63$), red and green is weight coefficients for bones b_1 and b_2

The relationship between the length of translation along the deformation direction, required to make the bulging joint match the idealized circular shape during a 90° bend, and the weight coefficient of the second bone, was approximated with a cubic polynomial (Fig. 6), enforcing no deformation on the edges of transition area and in its centre: $f(0) = 0; f(0.5) = 0$. These restrictions meant that two of the four coefficients in the polynomial were fixed:

$$f(w_2) = c_0 + c_1x + c_2x^2 + c_3x^3 \tag{6}$$

$$\begin{cases} c_0 = 0 \\ c_3 = -4c_1 - 2c_2 \end{cases} \tag{7}$$

where $f(w_2)$ is an approximating polynomial; w_2 is weight coefficient of the second bone.

Second bone was chosen, because its weight lies in range $[0; 0.5]$, thus the restriction of no deformation at the edges of transition can be enforced by simply equating c_0 to zero.

Having only two free coefficients allowed for manual adjustments and experimentation, which resulted in a slightly different polynomial and smoother deformations (Fig. 5).

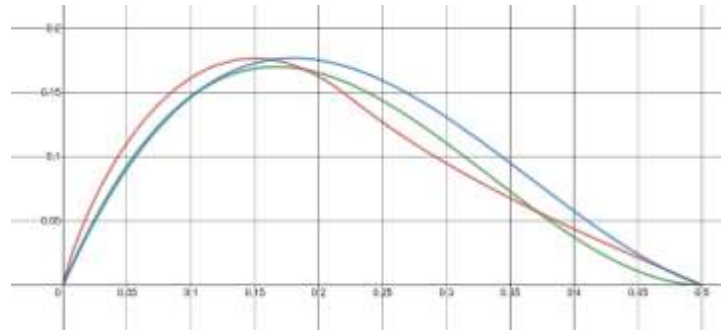


Fig. 5. Red is relationship between bulging deformation offset length (vertical) and weight coefficient of the second bone (horizontal), green is approximating polynomial, blue is manually adjusted polynomial

The polynomials are:

$$f_{orig}(w_2) = 2.29x - 9.14x^2 + 9.12x^3 \quad (8)$$

$$f_{manual}(w_2) = 2.2x - 8.1x^2 + 7.4x^3 \quad (9)$$

where f_{orig} is original approximating polynomial; f_{manual} is manually adjusted approximating polynomial.

Polynomials given above can be used in a manner, similar to blend shapes, without requiring additional work from the animator. The direction of deformation is determined using previously described algorithm, while the length of deformation vector is determined by the formula:

$$l = f(w_2) \cdot r \cdot \min \left\{ 1, 2 \sqrt{1 - \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \right\} \quad (10)$$

where l is length coefficient for deformation vector; f is polynomial, approximating the length of deformation offset, based on the second bone weight coefficient; r is radius of the joint (distance from vertex to the nearest bone segment); α is angle of rotation between current poses (relative to the bind pose) of the first and second bones (with greatest weights) that affect the given vertex.

The last term uses $\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)$, because this value can be extracted from the quaternion representation of the rotation, without additional calculations. This term is meant to act as a blend shape weight. Exact shape of the transition is not greatly important, above variant appears to have a good compromise between visually pleasing deformation and computational simplicity.

The proposed approximation has several limitations, which can be improved upon. The first limitation comes from expecting only two bones to affect the joint. In order to correctly determine the length of the deformation vector, the weights of first and second bone must be normalized (as if they are the only bones affecting given vertex). Thus, instead of directly using w_2 (weight coefficient of the second bone), following term must be used:

$$w_{2normalized} = \frac{w_2}{w_1 + w_2} \quad (11)$$

where w_1 is weight coefficient of the first bone; w_2 is weight coefficient of the second bone.

The second limitation is the artifact that arises when bending and twisting the joint simultaneously (Fig. 6a).

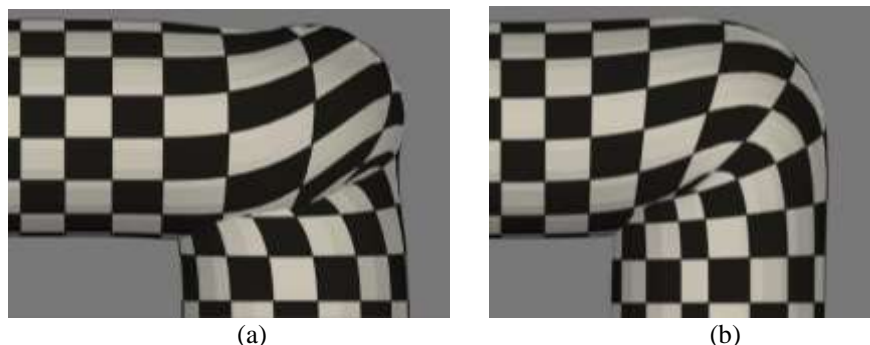


Fig. 6. Left is an artifact, that arises, when bending and twisting same the joint simultaneously.

Right is reducing bulge-compensation, when twisting is introduced

A more advanced model of artifact approximation might solve this issue, but currently we propose using an additional term that determines the degree of twisting involved and decreases the amount of bulging compensation accordingly. These types of deformations are quite rare, and the bulging artifact is not as noticeable on them, so the overall visual quality of animation does not suffer much (Fig. 6b).

One possible approach is to multiply the deformation vector by the sine of the angle between the deformation vector and the axis of rotation between current poses of the first two bones affecting the given vertex (relative to their bind poses).

Alternatively, the vector representing mentioned axis can be multiplied by its dot product with the normalized deformation direction vector and the result subtracted from the normalized deformation direction vector, before multiplying it by further terms. Thus, yielding:

$$v_{deformation} = [(v_{bisector} - v_{axis}(v_{axis} \cdot v_{bisector})) \cdot l] \tag{12}$$

where $v_{deformation}$ is deformation vector, $v_{bisector}$ is normalized bisector of the angle between first two bones affecting the given vertex; v_{axis} is normalized vector, representing the axis of rotation between current poses of the first two bones affecting the given vertex (relative to their bind poses); l is length coefficient.

This way, when there is no twisting $(v_{axis} \cdot v_{bisector} = 0)$, $v_{deformation}$ will be equal to $v_{bisector}$. And when $v_{axis} \cdot v_{bisector} = 1$, the axis and bisector are two unit vectors with same direction, thus subtracting one from the other yields zero (no bulge-compensation).

Third limitation is the discontinuity, which is created, when the second and the third bones switch places in the area, affected by more than two bones (Fig. 7a):



Fig. 7. Left is discontinuity, caused by the third and second bones switching places in order of greatest weights. Right is discontinuity removed by introducing additional coefficient to deformation vector length

This discontinuity can be removed by smoothly decreasing the bulging compensation strength around areas, where the weights of 2nd and 3rd bones are close to being equal:

$$k_{arabonfix} = 1 - \frac{w_3}{w_2} \tag{13}$$

where $k_{arabonfix}$ is additional multiplier for deformation vector length, indented to fix the discontinuity; w_3 and w_2 is weight coefficients of the third and second bone, respectively.

Applying such multiplier to the deformation vector successfully removed the discontinuity (Fig. 7b).

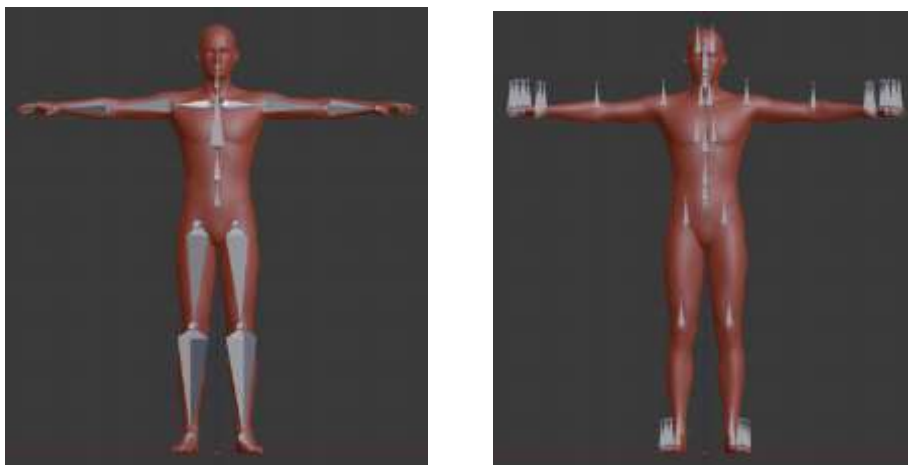


Fig. 8. Skeletons with bones aligned (left) and not aligned (right) along the limbs

Method Implementation

The proposed method can be implemented as an additional step after applying dual quaternion skinning to every vertex (Algorithm 1). However, several additional requirements are introduced:

- The bones of the skeleton must be sorted in such a way, so that for every given pair of bones, the bone, that is further away from the root bone, has greater index;
- The bones of the skeleton must be aligned with one local axis (consistent across the skeleton) running along the limbs (Fig. 8);
- World-space directional vectors of the bones must be provided to the skinning algorithm.

Algorithm 1. Applying bulging compensation to a vertex after dual quaternion skinning

Input:

rotation quaternions RQ_1 and RQ_2 , representing world space rotations of first and second bone, respectively;

unit vectors V_{bone1} and V_{bone2} , representing world-space directions of the first and second bone, respectively;

I_1 and I_2 are indices of the first and second bone, respectively

w_1, w_2, w_3 are weight coefficients for first, second and third bone, respectively;
is a coefficient for manual adjustment of bulging compensation strength;

V_{orig} is an original position of the vertex V after dual-quaternion skinning.

Output: bulge-compensated vertex position V

$$RQ = RQ_1 \cdot RQ_2^{-1}$$

$$V_{axis} = \text{normalize}(RQ.xyz)$$

$$V_{bisector} = \text{normalize}(V_{bone1} + V_{bone2})$$

$$\text{if } (I_2 > I_1) \text{ then:}$$

$$V_{bisector} = -V_{bisector}$$

$$\text{end if}$$

$$V_{offset} = V_{bisector} - V_{axis} \cdot (V_{axis} \cdot V_{bisector})$$

$$w = \frac{w_2}{w_1 + w_2}$$

$$l = (2.2w - 8.1w^2 + 7.4w^3) \cdot \min(1, 2\sqrt{1 - RQ.W}) \cdot (w_1 + w_2) \cdot \left(1 - \frac{w_3}{w_2}\right) \cdot s$$

$$V = V_{orig} + \llbracket (V_{offset} \cdot l) \rrbracket$$

The comparison of dual quaternion skinning with and without applying the proposed method of bulging compensation is demonstrated in Fig. 9.

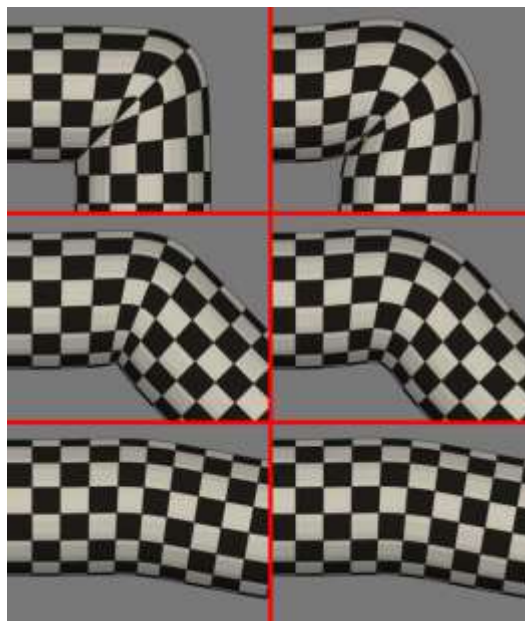


Fig. 9. Dual quaternion skinning with (left) and without (right) applying the proposed method of bulging compensation

The proposed method significantly decreases unwanted joint bulging from dual quaternion skinning without introducing new artifacts.

Method Application for Digital Twin Technology

The digital twin technology enables analysis, modelling, and prediction of a physical twin’s possible states and behaviour by experimenting on its digital twin. In this way, the technology helps to avoid critical situations for the twinned physical object (subject, process, phenomenon). It makes this technology a promising solution for medical and healthcare applications. It can create a special value in many areas of medicine including orthopaedics, cardiology, surgery, orthodontics, etc.

Since the physical twin can be characterized by both behaviour and appearance, its digital twin needs to represent them both. The source of the physical twin data includes different general-purpose and special-purpose (medical) devices. The data, which is obtained as a result of measuring or estimation and describing the physical twin, needs to be processed according to the general scheme of the digital twin technology architecture (Fig. 10). This data can be of two types: behavioural data and appearance data. The former is necessary for creation of a mathematical model of the digital twin behaviour and the latter is used for visual modelling of the physical twin.

To simplify the visual modelling, a template model can be used. For example, a human body model or its parts (e.g. a leg, an arm, a heart, etc.) can be such a template. Based on real measurements and medical investigations carried out on a certain patient, this template needs to be individualized by changing sizes and proportions. One of the modelling process stages is the skinning. It is highly important to ensure that the individualize model is accurate and corresponds to the specific patient. Thus, the proposed method of artifact compensation for dual quaternion skinning can be employed.

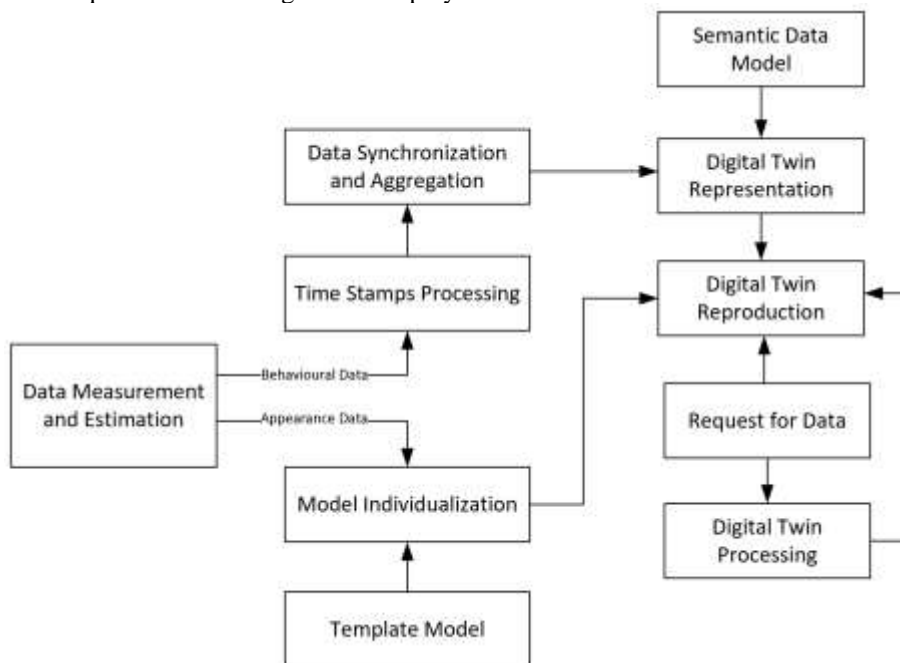


Fig. 10. An architecture of the digital twin technology for medicine and healthcare applications

Behavioural data includes multimodal parameters of the physical twin. This data can be obtained by means of a wide range of devices and tools. It is important that this data needs to be accompanied with temporal data (time stamps). These temporal data can be obtained either from the device used for measuring the data of a certain modality, or they can be added manually. The time stamps indicate moments when data of a certain modality is measured. These stamps enable data synchronization. When data is synchronized, it needs to be aggregated to represent the multi-image of the physical twin. Both the visual model and the multi-image represent the digital twin which is a subject of further processing depending on the requests for data retrieval and analysis.

Conclusions

The proposed method smoothly decreases the amount of bulging compensation in potentially problematic areas, to avoid creating artifacts due to its limited ability to model undesired deformations. These problematic areas include those affected by more than two bones, and joints, which are being bent and twisted simultaneously. A more advanced model of undesired deformation would allow to further reduce bulging in such areas. The proposed method was not designed to work with joint scaling, as dual quaternion skinning is not capable of handling non-rigid deformations. Additional research is needed to ensure the compatibility with the approach, proposed in [8] for handling non-rigid deformations.

The method presented in this paper can be used in many applications. The promising application area is 3D model creation and visualization for digital twin technology in medicine and healthcare. The architecture of such specific digital twin technology is proposed and discussed in this paper, as well.

References

1. Kim Y, Han J. Bulging - free dual quaternion skinning, in *Computer Animation and Virtual Worlds*, 2014, Vol. 25 (No 3-4), pp. 323–331.
2. Binh Huy Le, Jessica K. Hodgins. Real-time skeletal skinning with optimized centers of rotation, in *ACM Transactions on Graphics*, 2016, Vol. 35(4), pp. 1–10.
3. Kavan L., Collins S., Žára J., O'Sullivan C. Geometric skinning with approximate dual quaternion blending, in *ACM Transactions on Graphics*, 2008, Vol. 27(4), pp. 1–23.
4. Kavan L., Collins S., Žára J., O'Sullivan C. Skinning with dual quaternions, in *proceedings of the symposium on Interactive 3D graphics and games*, 2007, pp. 39–46.
5. Kavan L., Collins S., O'Sullivan C., Zára J. Dual quaternions for rigid transformation blending, in *Tech. Rep. TCD-CS-2006–46Trinity*, College Dublin, 2006.
6. Wang X. C., Phillips C. Multi-weight enveloping: least-squares approximation techniques for skin animation, in *proceedings of the ACM SIGGRAPH / Eurographics symposium on Computer animation*, 2002, pp. 129–138.
7. Merry B., Marais P., Gain J. Animation space: A truly linear framework for character animation, in *ACM Transactions on Graphics*, 2006, Vol. 25(4), pp. 1400–1423.
8. Lee G. S., Lin A., Schiller M., Peters S., Mc Laughlin M., Hanner F., Studios WD. Enhanced dual quaternion skinning for production use, in *SIGGRAPH Talks*, 2013, pp. 1–9.
9. Kenwright B. A beginners guide to dual-quaternions, in *Winter School of Computer Graphics 2012*, Vol. 2.
10. Aidan Fuller, Zhong Fan, Charles Day, *Digital Twin: Enabling Technology, Challenges and Open Research*, in *Computers and Society*, 2016, arXiv: 1911.01276.
11. Michael Grieves, John Vickers. *Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems*, in book *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems*, Springer, 2017, pp. 85–113.
12. Elisa Negria, Luca Fumagalli, Marco Macchi. A review of the roles of Digital Twin in CPS-based production systems, in *Procedia Manufacturing*, Vol. 11, 2017, pp. 939–948.
13. *Digital twin for personalized therapies*, Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology, 2019.
14. Ivan Dychka, Yevgeniya Sulema, Iurii Bukhtiarov. *Digital Twin Information Technology for Biomedical Data Complex Representation and Processing*. *Visnyk of Kherson National Technical University*, Vol. 3(70), 2019, pp. 112–119.

Рецензія/Peer review : 14.1.2020 р.

Надрукована/Printed : 14.2.2020 р.
Рецензент: д.т.н., проф. О.Р. Чертов

КИНЕТОСТАТИКА ГРУППЫ АССУРА ЧЕТВЕРТОГО КЛАССА ВТОРОГО ПОРЯДКА С ДВУМЯ ПОСТУПАТЕЛЬНЫМИ ПАРАМИ

Работа посвящена кинестатическому исследованию двух модификаций шарнирной группы Ассура четвертого класса, второго порядка с двумя поступательными парами. Обоснована актуальность такой задачи в свете более широких функциональных возможностей такой группы и отсутствием простых инженерных методов исследования как в учебной, так и технической и научной литературе. Метод базируется на графоаналитическом способе, что более удобно для инженерной практики проектирования и легко выполняется на современных компьютерах и достигается высокая точность. Составлена строгая последовательность проведения отдельных этапов силового исследования с использованием особых точек.

Ключевые слова: поступательная кинематическая пара, кинестатика, сила, момент силы, составляющие реакции, статическое равновесие, план сил.

ROBERT VACHAGANOVICH AMBARTSUMYANTS, SERGEY ALEKSANDROVICH ROMASHKEVICH

Odessa National Academy of Food Technologies

DYNAMIC FORCE RESEARCH OF ASSUR GROUP OF THE FOURTH CLASS OF THE SECOND ORDER WITH TWO KINEMATIC PAIR

Dynamic force analysis of mechanisms is one of the determining stages of their projecting and it allows to carry out calculation for strength and rigidity of elements of the kinematic pairs, units them – selves and prepare the basis for constructing. The work is devoted to dynamic force research of Assur group of the two modification fourth class of the second order with two slider and four turning kinematic pairs. The urgency of this task in terms of wider functional possibilities of such group and absence of simple engineering methods in educational, technical and scientific literature has been substantiated. The method is based on the analytical – tabular methods, and that is more comfortable for engineering practice of projecting. The strict sequence of carrying out separate stages of power research with application special dots has been composed. The force research is completed with verifying construction, which allows to make a conclusion about correctness of calculating operation and graphic plotting's. The numerical example was carried out on a personal computer with application of graphic plotting "Compass". It has been established that application of the second sign of accuracy, when determining arms of corresponding forces in the equations of forces moment balance, allows to get the solution practically without errors.

Keywords: slider kinematic pair, dynamic force research, force moment, reaction components, static equilibrium, force plan.

Для проектирования любого механизма обязательным этапом является, кроме структурного и кинематического исследования, полномасштабное силовое исследование, что позволяет осуществить необходимые расчеты на прочность, жесткость отдельных звеньев и осуществить его конструирование. В учебной, научной и технической литературе в полном объеме изложены вопросы исследования групп Ассура второго класса [1, 2 и др.], благодаря чему, механизмы, синтезированные на их базе, нашли широкое применение в технике. В научной и технической литературе меньше внимания уделено группам Ассура 3-го и 4-го классов, чем объясняется их ограниченное применение в технике.

В работе [3] предложен метод кинестатического исследования шарнирной группы Ассура 4-го класса второго порядка, а в работе [4] – кинестатическое исследование модификации этой же группы с одной поступательной кинематической парой.

Целью данной работы является разработка методов кинестатического исследования группы Ассура четвертого класса второго порядка с двумя поступательными кинематическими парами. Число возможных модификаций рассматриваемой группы $M = C_6^2 = 15$. В виду большого количества разновидностей модификаций в данной работе рассматриваются только две их разновидности, представленные на рис. 1, а, б.

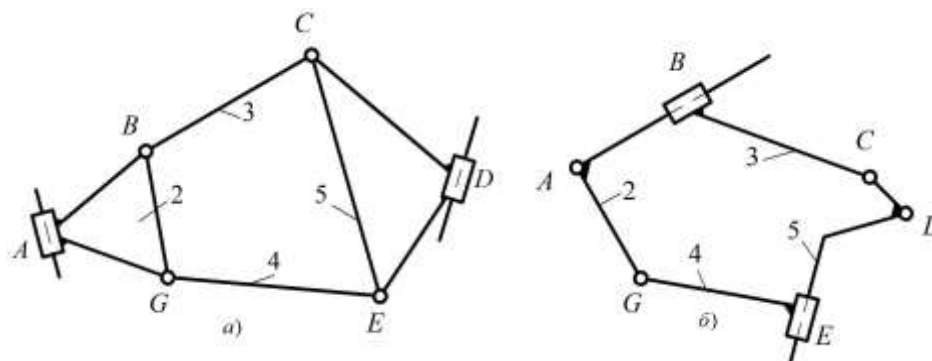


Рис. 1. Модификации группы Ассура четвертого класса второго порядка с двумя поступательными кинематическими парами

Кинестатика остальных модификаций рассматриваемой группы будет представлена в последующих работах авторов.

При решении поставленных задач принимаем известными массо-инерционные показатели всех звеньев, их кинематические показатели, а именно, положения, скорости и ускорения как линейных, так и угловых. Также принимаем то, что линии перемещения поступательных кинематических пар не параллельны между собой. На первом этапе силового исследования силы трения не учитываем, а при их необходимости воспользуемся методом последовательных приближений [1].

Задача 1. Модификация группы Ассур четвертого класса с двумя концевыми поступательными кинематическими парами (рис. 1, а).

Звенья группы нагружены равнодействующими силами $\bar{F}_i (i = 2, \dots, 5)$ от внешних сил, сил тяжести, сил инерции, производственных сил. Также звенья нагружены равнодействующими моментами $\bar{M}_i (i = 2, \dots, 5)$ от внешних моментов, моментов от сил инерции и др. Предполагаем, что продольные оси шатунов BC и GE группы ни в одном положении группы не параллельны, и они пересекаются в особой точке S (рис. 2, а). На первом этапе силового исследования рассматриваемой группы силы трения не учитываем, считаем идеальность всех кинематических пар, т.е. зазоры в них отсутствуют.

Отметим, что в случае необходимости учета сил трения, после выполнения первого этапа силового исследования, можно применить метод последовательных приближений [1].

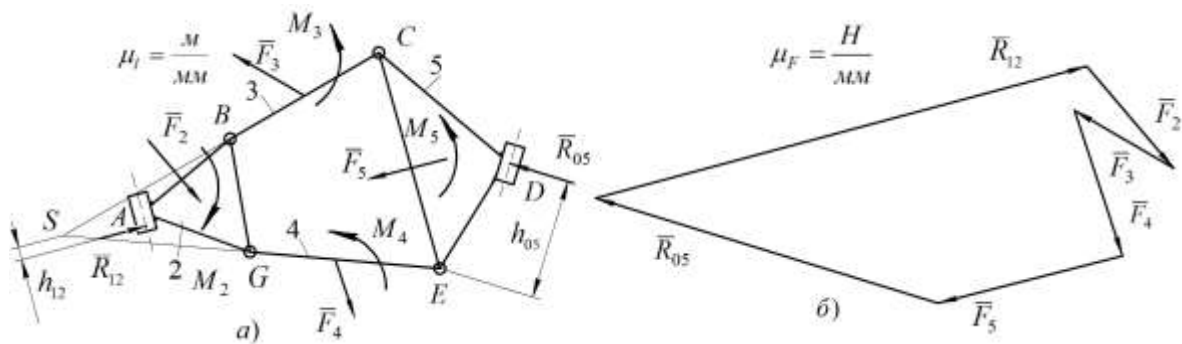


Рис. 2. Модификация группы Ассур с двумя концевыми поступательными кинематическими парами: расчетная модель кинестатики группы – а), план сил группы – б)

На рассматриваемой группе извне действуют внешние неизвестные реакции \bar{R}_{12} и \bar{R}_{05} , где \bar{R}_{12} и \bar{R}_{05} направлены перпендикулярно к направляющим. Неизвестными являются также точки приложения реакций \bar{R}_{12} и \bar{R}_{05} , а также расстояния h_{12} и h_{05} . Для определения значения названных неизвестных, а также полные реакции в шарнирных соединениях B, C, E, G предлагаем следующую последовательность решения.

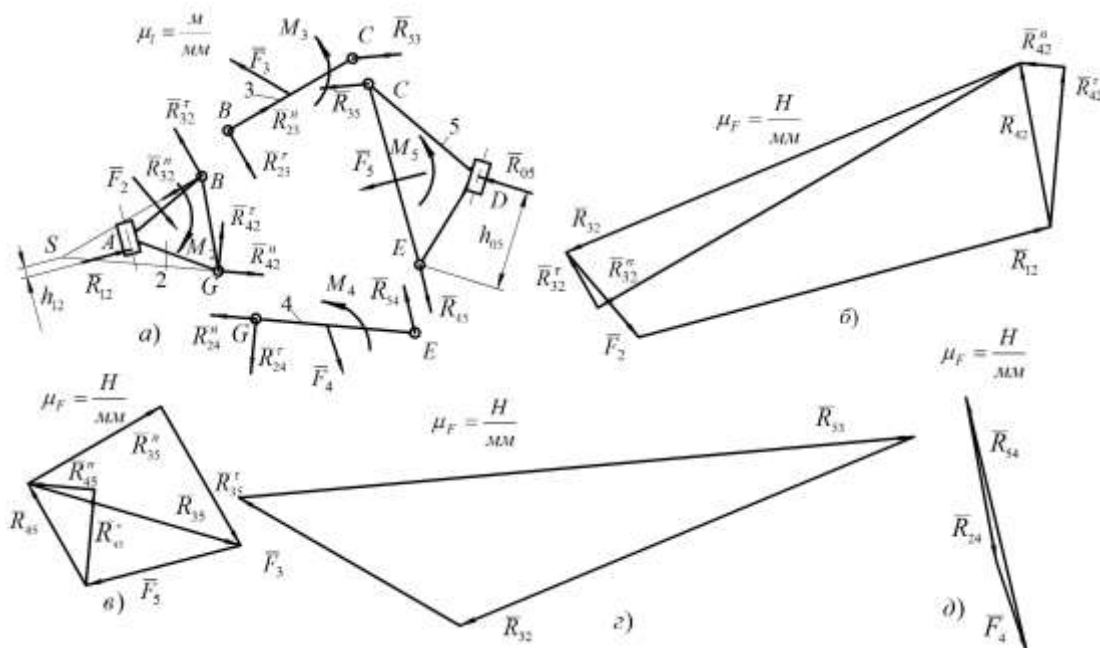


Рис. 3. Расчетная схема кинестатики группы – а); планы сил: звена 2 – б), звена 5 – в), звена 3 – г), звена 4 – д)

Предлагается следующий алгоритм решения поставленной задачи:

1. Разрываем связи в шарнирных соединениях B , C , E , G и представим расчетную модель силового исследования в виде на рис. 3, а. В шарнирах B , G , реакции разлагаем на составляющие – перпендикулярно и по продольной оси звеньев 3 и 4 соответственно: $\bar{R}_{23} = \bar{R}_{23}^\tau + \bar{R}_{23}^n$; $\bar{R}_{24} = \bar{R}_{24}^\tau + \bar{R}_{24}^n$. В шарнирных соединениях C , E возникают реакции \bar{R}_{53} и \bar{R}_{54} соответственно, которых также следует определить. Отметим, что аналогичные реакции возникают и действуют на звеньях 2 и 5 (см. рис. 3, а), согласно третьему закону Ньютона.

2. Рассматриваем равновесие всей группы. Для этого составляем векторное уравнение равновесия сил группы

$$\sum \bar{F}^{2P} = \bar{R}_{12} + \bar{F}_2 + \bar{F}_3 + \bar{F}_4 + \bar{F}_5 + \bar{R}_{05} = 0. \quad (1)$$

На основании векторного уравнения (1) строим план сил (рис. 2, б) откуда находим неизвестные реакции \bar{R}_{12} , \bar{R}_{05} .

3. Составляем уравнения равновесия моментов сил, действующих на звеньях 3 и 4 относительно центров шарнирных соединений C , E соответственно (рис. 3, а). Имеем

$$\sum M_C^{(3)}(\bar{F}) = -R_{23}^\tau \cdot l_{BC} + F_3 h_3 \mu_l - M_3 = 0; \quad (2)$$

$$\sum M_E^{(4)}(\bar{F}) = -R_{42}^\tau \cdot l_{GE} - F_4 h_4 \mu_l - M_4 = 0, \quad (3)$$

где l_{BC} , l_{GE} – длины звеньев 3 и 4 соответственно,

h_3 , h_4 – плечи соответствующих сил до центров шарнирных соединений C и E ,

μ_l – линейный масштабный коэффициент построения расчетной модели.

Из решения линейных уравнений (2), (3) находим модули составляющих реакций \bar{R}_{23}^τ , \bar{R}_{42}^τ и уточняем их направления – положительный знак составляющего означает правильность выбранного направления. В противном случае изменяем направление вектора в противоположную сторону.

4. Рассматриваем равновесие второго звена, нагруженного внешними силами, моментами и реакциями связей (рис. 3, а). Составляем векторное уравнение равновесия сил звена 2

$$\sum \bar{F}^{(2)} = \bar{R}_{32}^n + \bar{R}_{32}^\tau + \bar{F}_2 + \bar{R}_{12} + \bar{R}_{42}^\tau + \bar{R}_{42}^n = 0, \quad (4)$$

На основании векторного уравнения (4) строим план сил (рис. 3, б) откуда находим неизвестные реакции \bar{R}_{32}^n и \bar{R}_{42}^n .

5. В пересечении линий действия векторов $\bar{R}_{32}^n = -\bar{R}_{23}^n$ и $\bar{R}_{42}^n = -\bar{R}_{24}^n$ находим особую точку S (см. рис. 3, а). Рассматриваем равновесие 2 звена, на котором осталось неизвестным расстояние h_{12} определяющей точку приложения реакции \bar{R}_{12} . Составляем уравнение равновесия моментов сил, действующих на звено 2 относительно особой точки S . Имеем

$$\sum M_S^{(2)}(\bar{F}) = -R_{32}^\tau \cdot l_{BS} - F_2 h_2 \mu_l + R_{42}^\tau l_{GS} - M_2 + R_{12} h_{12} \mu_l = 0; \quad (5)$$

где l_{BS} , l_{GS} – расстояния от точек B и G до особой точки Ассур S соответственно,

h_2 – плечо силы \bar{F}_2 до особой точки Ассур S .

Из решения уравнения (5) находим значение h_{12} .

6. Рассматриваем равновесие 3-го звена и строим его план сил (рис. 3, г) на основании векторного уравнения $\bar{R}_{23} + \bar{F}_3 + \bar{R}_{53} = 0$ и находим вектор $\bar{R}_{53} = -\bar{R}_{35}$.

7. Рассматриваем равновесие 4-го звена. Записываем условие равновесия сил $\bar{F}_{24} + \bar{F}_4 + \bar{R}_{54} = 0$ и строим план сил (рис. 3, д) откуда находим $\bar{R}_{45} = -\bar{R}_{54}$.

8. Составляем уравнение равновесия моментов сил звена 5 относительно центра шарнирного соединения, например, E .

$$\sum M_E^{(5)}(\bar{F}) = -R_{05} \cdot h_{05} \cdot \mu_l + R_{35}^n \cdot h_{51} \cdot \mu_l + \bar{R}_{35}^\tau h_{52} \mu_l - F_5 \cdot h_{53} \cdot \mu_l - M_5 = 0, \quad (6)$$

где h_{05} – расстояние, определяющее точку приложения реакции \bar{R}_{05} ,

h_{51} , h_{52} , h_{53} – плечи соответствующих сил относительно точки E .

Из решения уравнения (6) находим значение h_{05} .

Задача 2. Модификация группы Ассур 4-го класса с двумя поступательными парами по рис. 1, б.

Как и в предыдущей задаче, звенья группы загружены равнодействующими $\bar{F}_i (i = 2, \dots, 5)$ внешних сил, сил трения, сил инерции и моментов сил инерции $\bar{M}_i (i = 2, \dots, 5)$, а также реакциями связей.

Предлагается следующий алгоритм для определения реакций в кинематических парах группы.

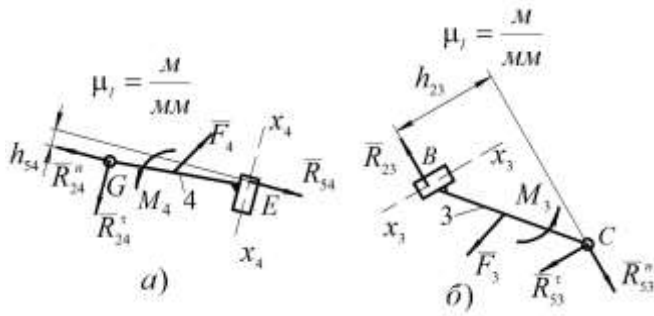


Рис. 4. Расчетные схемы кинестатики звеньев: 4 – а); 3 – б)

1. Рассматриваем равновесие 4-го и 3-го звеньев (рис. 4, а, б)

Обозначим линии перемещения ползунов E и B через $x_4 - x_4$, $x_3 - x_3$ соответственно. Реакцию в шарнире G разлагаем на составляющие $\bar{R}_{24} = \bar{R}_{24}^\tau + \bar{R}_{24}^n$, направив нормальную составляющую \bar{R}_{24}^n перпендикулярно $x_4 - x_4$, а \bar{R}_{24}^τ – параллельно $x_4 - x_4$. Аналогично поступаем с реакцией \bar{R}_{53}

в шарнире C : $\bar{R}_{53} = \bar{R}_{53}^\tau + \bar{R}_{53}^n$. Составляем уравнение равновесия проекций сил звеньев 3 и 4 на направление $x_3 - x_3$ и $x_4 - x_4$: $\sum_{np} (F)_{x_3 x_3}^{(3)} = 0$, и $\sum_{np} (F)_{x_4 x_4}^{(4)} = 0$. Из решения этих уравнений находим модули и направления составляющих реакций \bar{R}_{24}^τ и \bar{R}_{53}^τ .

2. Рассматриваем равновесие всей группы (рис. 5, а). Реакцию в шарнире A разлагаем на составляющие $\bar{R}_{12} = \bar{R}_{12}^\tau + \bar{R}_{12}^n$. Нормальную составляющую \bar{R}_{12}^n направим по прямой AD , а тангенциальную \bar{R}_{12}^τ – перпендикулярно к прямой AD .

Составляем уравнение равновесия моментов сил группы относительно центра шарнира D $\sum M_D^{(ep)}(\bar{F}) = 0$, из решения которого находим модуль и направление составляющей \bar{R}_{12}^τ .

3. Рассматриваем кинематическую цепь 2 – 3 (рис. 5, б)

В пересечении линий действия составляющих реакций \bar{R}_{53}^n и \bar{R}_{24}^n находим точку S и составляем уравнение равновесия моментов сил кинематической цепи 2 – 3 относительно этой точки $\sum M_S^{(2,3)}(\bar{F}) = 0$, из решения которого находим модуль и направление составляющей \bar{R}_{12}^n .

Составляем векторное уравнение равновесия сил кинематической цепи 2 – 3

$$\sum \bar{F}^{(2,3)} = \bar{R}_{12}^n + \bar{R}_{12}^\tau + \bar{F}_2 + \bar{F}_3 + \bar{R}_{24}^\tau + \bar{R}_{24}^n + \bar{R}_{53}^\tau + \bar{R}_{53}^n = 0 \quad (7)$$

На основании (7) строим план сил (рис. 5, в) и находим составляющие \bar{R}_{53}^n , \bar{R}_{24}^n и соответственно полные реакции в шарнирах C и G – \bar{R}_{53} и \bar{R}_{24} .

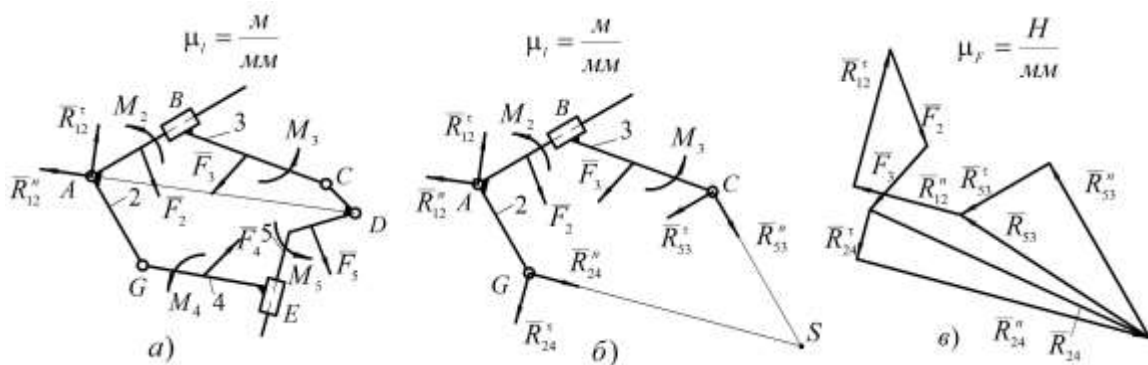


Рис. 5. Расчетная схема кинестатики группы – а); расчетная схема кинестатики кинематической цепи 2 – 3 – б); план сил кинематической цепи 2 – 3 – в)

4. Составляем уравнение равновесия проекций сил звеньев 3 и 4 на направления, перпендикулярные, $x_3 - x_3$, $x_4 - x_4$ (см. рис. 4 а, б) $\sum_{np} (F)_{x_3 x_3}^{(3)} = 0$, и $\sum_{np} (F)_{x_4 x_4}^{(4)} = 0$ и из решения этих уравнений находим реакции \bar{R}_{24} и \bar{R}_{54} .

5. Составляем уравнения равновесия моментов сил, действующих на звено 3 относительно центра шарнира C (см. рис. 4, б) $\sum M_C^{(3)}(\bar{F}) = 0$, из решения которого находим плечо h_{24} и, следовательно, точку приложения реакции \bar{R}_{24} .

6. Составляем уравнение равновесия моментов сил, действующих на звено 4 относительно центра шарнира G $\sum M_G^{(4)}(\bar{F}) = 0$, из решения которого находим плечо h_{54} , что определяет точку приложения реакции \bar{R}_{54} .

7. Рассмотрим равновесие звена 5 (рис. 6, а). Поскольку реакции в кинематических парах C и E найдены, а именно $\bar{R}_{35} = -\bar{R}_{53}$ и $\bar{R}_{45} = -\bar{R}_{54}$, то неизвестным остается только реакция в шарнире D . Для ее определения составляем векторное уравнение равновесия сил, действующих на звено 5

$$\sum \bar{F}^{(5)} = \bar{F}_5 + \bar{R}_{45} + \bar{R}_{35} + \bar{R}_{05} = 0. \quad (8)$$

На основании (8), построив план сил, находим реакцию \bar{R}_{05} (рис. 6, б).

Еще раз напоминаем: учет сил трения, что особенно важно при наличии поступательных кинематических пар, можно осуществить методом последовательных приближений используя предложенный метод и добавляя внешним силам силы трения в кинематических парах, значения которых определяют согласно закону Кулона, принимая во внимание значения реакций, определенные на первом этапе.

Заключение. Надеемся, что представленные решения задачи по кинестатике модификации группы 4-го класса заинтересуют инженеров конструкторов для широкого применения таких групп в современных технологических машинах. Также более широкого применения в перспективных шагающих машинах, необходимых как для сельского хозяйства, так и для непроходимых для человека местностей.

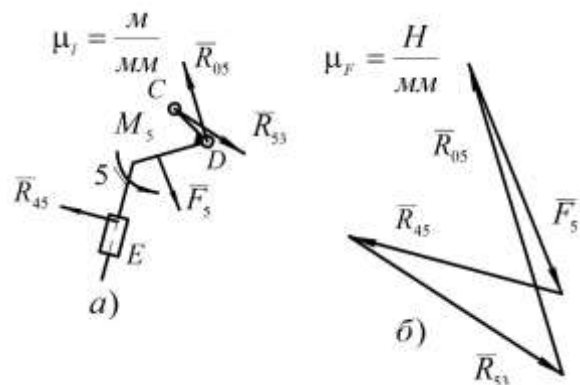


Рис. 6. Расчетная схема кинестатики звена 5 – а); план сил звена 5 – б)

Литература

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин : учеб. для вузов / И.И. Артоболевский. – 4-е изд., перераб. и допол. – М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. литературы, 1988. – 640 с.
2. Левитский Н. И. Теория механизмов и машин / Н. И. Левитский. – М. : Наука, 1990. – 592 с.
3. Амбарцумянц Р. В. Кинестатическое исследование шарнирной группы Ассур четвертого класса второго порядка / Р.В. Амбарцумянц, А.П. Липин, С.А. Ромашкевич // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2019. – № 1. – С. 12–16.
4. Амбарцумянц Р. В. Кинестатика группы Ассур четвертого класса второго порядка с одной поступательной парой / Р.В. Амбарцумянц, С.А. Ромашкевич, А.П. Липин // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2019. – № 5. – С. 24–29.

References

1. Artobolevskij I.I. Teoriya mehanizmov i mashin : ucheb. dlya vuzov / I.I. Artobolevskij. – 4-e izd., pererab. i dopol. – M. : Nauka. Gl. red. fiz.-mat. literatury, 1988. – 640 s.
2. Levitskij N. I. Teoriya mehanizmov i mashin / N. I. Levitskij. – M. : Nauka, 1990. – 592 s.
3. Ambarcumyanc R. V. Kinetostaticheskoe issledovanie sharnirnoj grupy Assura chetvertogo klassa vtorogo poryadka / R.V. Ambarcumyanc, A.P. Lipin, S.A. Romashkevich // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2019. – № 1. – S. 12–16.
4. Ambarcumyanc R. V. Kinetostatika grupy Assura chetvertogo klassa vtorogo poryadka s odnoy postupatelnoy paroj / R.V. Ambarcumyanc, S.A. Romashkevich, A.P. Lipin // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2019. – № 5. – S. 24–29.

Рецензія/Peer review : 18.12.2019 р.

Надрукована/Printed : 14.2.2020 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Гладушняк А.К.

МОДЕЛЬ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ МІМІЧНИХ ПРОЯВІВ ЕМОЦІЙ

В статті запропоновано підхід до отримання спрощеної моделі, за допомогою якої стане можливою реалізація розпізнавання емоційних проявів на обличчі швидким чином. У моделі реалізована гіперплощинна класифікація мімичних проявів основних емоційних станів. Основною перевагою запропонованого підходу є невелика обчислювальна складність, що дасть змогу реалізувати розпізнавання змін емоційного стану людини за мімичними проявами без використання спеціалізованого обладнання (для відеокамер з низькою роздільною здатністю або на великій відстані). Сфера застосування – контроль за водієм під час керування транспортом, оператором складного виробництва тощо. Проведення дослідження та обробка зібраних даних дозволили виділити основні ділянки обличчя, що впливають на відображення емоційних станів. До них відносяться ділянки обличчя з бровами, очима та ротом. Виділення множин якісних характеристик зміщень точок стало заключним етапом. Для визначення форм групування станів як відображення сукупності ознак було застосовано підхід, що дозволив використати методи візуалізації даних. Це було необхідно для наочного відображення характерних форм групування даних. Ці груповані дані і визначають класи емоційних проявів. Можливість встановлення границь розділення класів, тобто емоційних станів, була важливим аспектом. Розташування границь може коректуватися залежно від якості та кількості даних. Така форма адаптації дозволила застосовувати технологію розпізнавання мімичних проявів емоцій більш гнучко та адаптувати її. Незважаючи на те, що мімичні прояви в силу фізіологічних особливостей є типовими проявами емоції, границі розділення даних необхідно коректувати для точного розмежування класів емоцій. Це дозволяє гіперплощинна класифікація. Невелика обчислювальна здатність виступила основною перевагою запропонованого підходу. Це дало змогу реалізувати розпізнавання змін емоційного стану людини за мімичними проявами на обличчі без використання спеціалізованого обладнання.

Ключові слова: розпізнавання мімичних проявів емоції, гіперплощинна класифікація, спрощена модель.

O. BARMAK, O. KALYTA, E. MANZIUK

Khmelnitsky National University

SIMPLIFIED MODEL FOR RECOGNITION FACIAL EMOTIONS

There is a suggested approach for getting a simplified model to enable the realization of fast facial emotion recognition. The model realizes the hyperplane classification of mimic expressions of the main facial emotional states. The main advantage of this approach is small computational complexity, which will allow realizing the recognition of the changes in people's emotional state without any special equipment (for low-resolution or long-distance video cameras). The sphere of application is control over the drivers in the process of driving the vehicle, complex production operators, etc. As a result of the research and processing of the collected data, the main areas of the face were identified, in which changes in facial expressions directly affect the reflection of emotional states. These are areas with eyebrows, eyes, and lips. The final stage of the study was the definition of the variety of qualitative characteristics of the displacements of marks or groups of marks. To determine the forms of grouping states as a reflection of a set of features, we apply the approach proposed in the paper [9]. The approach allows the use of data visualization techniques to visually display characteristic forms of data grouping. These grouped data determine the classes of emotional displays. An important aspect is the ability to set the boundaries of class division, in our case, emotional states. The location of borders can be adjusted depending on the quality and quantity of data. This form of adaptation allows a more flexible application of the technology of recognition of mimic expressions of emotions and adaptation to the data body. Although mimic displays due to physiological particularities are typical displays of emotions, the boundaries of data separation need to be adjusted for accurate distinguishment of classes of emotions. This allows the use of hyperplane classification. The validity of the proposed model is suggested to test on the synthesized data. This is possible because the real input will belong to the same intervals as artificially created. The main advantage of the proposed approach is the small computational complexity that will allow the recognition of changes in the human emotional state by facial expressions without the use of specialized equipment (for low-resolution or long-distance video cameras).

Keywords: facial emotion recognition, hyperplane classification, simplified model.

Вступ

В результаті дослідження та обробки зібраних даних були виділені основні ділянки обличчя, зміни міміки яких прямо впливають на відображення емоційних станів [1]. Це ділянки обличчя з бровами, очима та ротом. Заключним етапом дослідження стало виділення множин якісних характеристик зміщень точок або груп точок, які наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Якісні характеристики ділянок обличчя

Емоції	Брови	Очі	Губи
Гнів	опущені	без змін	стиснуті
Горе	без змін	опущені верхні повіки	Опущені кутики
Задоволення	без змін	злегка опущені верхні повіки	Без змін
Страх	сильно підняті	підняті верхні повіки	підняті кутики губ
Радість	без змін	підняті зовнішні кутики очей	злегка підняті кутики губ

Метою статті є оприлюднення результатів дослідження з побудови спрощеної моделі, за допомогою якої можлива реалізація розпізнавання емоційних проявів на обличчі швидким чином. У моделі реалізована гіперплощинна класифікація мімичних проявів основних емоційних станів. Основною перевагою

запропонованого підходу є невелика обчислювальна складність, що дає змогу реалізувати розпізнавання змін емоційного стану людини за мимічними проявами без використання спеціалізованого обладнання (для відеокамер з низькою роздільною здатністю або на великій відстані). Сфера застосування – контроль за водієм під час керування транспортом, оператором складного виробництва тощо.

Синтез моделі

Виходячи з потреби ідентифікації мимічних проявів засобами звичайних камер із невисокою роздільною здатністю або на великій відстані та за результатами з таблиці 1, введемо наступну градацію для ділянок обличчя:

- очі (розплющені, примружені, нормальні);
- губи (розтягнуті, зжаті, нормальні);
- брови (підняті, опущені, нормальні).

За наведеною градацією отримані у дослідженні мимічні прояви емоцій подаються наступним чином (таблиця 2).

Таблиця 2

Подання мимічних проявів емоцій якісними характеристиками

	<i>Радість</i>	<i>Горе</i>	<i>Страх</i>	<i>Гнів</i>	<i>Задоволення</i>
<i>очі</i>	нормальні	нормальні	розплющені	примружені	нормальні
<i>губи</i>	розтягнуті	зжаті	нормальні	нормальні	розтягнуті
<i>брови</i>	підняті	опущені	підняті	опущені	опущені

Наведене у таблиці 2 подання мимічних проявів у розрізі емоційних станів слугуватиме основою для наступного синтезу моделі, за якою буде проводитися ідентифікація. Визначені емпіричним шляхом ознаки формально надамо наступним чином:

- x_1 – ознака миміки ділянки обличчя з очима;
- x_2 – ознака миміки ділянки обличчя з губами;
- x_3 – ознака миміки ділянки обличчя з бровами.

$x_1, x_2, x_3 \in [0,1]$, причому $x_1 \in [0,0.2]$ – для примружених очей; $x_1 \in [0.4,0.6]$ – для нормальних очей; $x_1 \in [0.8,1]$ – для розплющених очей; $x_2 \in [0,0.2]$ – для зжатих губ; $x_2 \in [0.4,0.6]$ – для нормальних губ; $x_2 \in [0.8,1]$ – для розтягнутих губ; $x_3 \in [0,0.2]$ – для опущених брів; $x_3 \in [0.4,0.6]$ – для нормальних брів; $x_3 \in [0.8,1]$ – для піднятих брів. Існуючі у запропонованій синтетичній моделі проміжки, що не використовуються ($]0.2,0.4[$, $]0.6,0.8[$) служать для моделювання хорошої роздільності між різними емоційними станами при їх класифікації.

Гіперплощинна класифікація

Сформовані сукупності характерних ознак для визначення відповідних емоційних станів. Мимічні прояви природно мають граничні стани і в той же час характеризуються типовою сукупністю ознак зовнішніх проявів цих станів. Відповідно до цього і було емпірично визначено межі проявів ознак. Однак слід зазначити, що існує природний розподіл і вказані межі відповідають найбільш типовим проявам. Для визначення форм групування станів як відображення сукупності ознак застосуємо підхід, запропонований у роботі [2]. Підхід дозволяє використати методи візуалізації даних для наочного відображення характерних форм групування даних. Ці групувані дані і визначають класи емоційних проявів. Важливим аспектом є можливість встановлення границь розділення класів, у нашому випадку, емоційних станів. Розташування границь може коректуватися залежно від якості та кількості даних. Така форма адаптація дозволяє більш гнучко застосовувати технологію розпізнавання мимічних проявів емоцій та адаптувати до корпусу даних. Хоча мимічні прояви в силу фізіологічних особливостей є типовими проявами емоцій, однак границі розділення даних необхідно коректувати для точного розмежування класів емоцій. Це дозволяє використання гіперплощинна класифікація. Адаптуємо застосування технології гіперпросторового розділення до розпізнавання емоційних проявів.

Вхідні дані, а саме їх ознаки необхідно трансформувати наступним чином:

- 1) зниження багатовимірного простору ознак до двовимірного; за невеликої кількості ознак мінімізується втрата інформативності даних при пониженні розмірності;
- 2) візуальне представлення даних у двовимірному просторі із застосуванням програмних інструментів;
- 3) побудова границь розділення класів групованих даних;
- 4) встановлення відповідностей груп даних мимічним емоційним станам;
- 5) відображення границь класів емоційних станів у вихідному мірному просторі ознак у вигляді гіперплощин;
- 6) встановлення просторових гіпероб'ємів обмежених гіперплощинами з даними, що належать цим гіперкубам;
- 7) побудова правил визначення приналежності нового елемента даних для певного класу як знаходження його просторового положення відносно гіперплощин.

Для пониження мірності простору ознак використовується метод багатомірного шкалювання

(multidimensional scaling – MDS) [3, 4]. За розмірну характеристику приймається відносне розтушування об'єктів один відносно іншого за сукупністю ознак. Міра віддалення об'єкти використовується як міра відмінності.

Вихідні дані подаються у вигляді матриці «об'єкт-ознака» та визначається відстань між i -м і j -м об'єктом, яку позначимо $\delta_{ij} = d(X_i, X_j)$. Положення об'єктів в багатовимірному просторі визначається таким чином $X_i = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}\}$, $i = 1..n$. Розмірність простору встановлюємо відповідно до кількості вибраних нами характеристик емоційних проявів мімічного характеру.

Застосуємо Евклідову метрику для обрахунку відстаней між об'єктами:

$$\text{dist}(X_i, X_j) = \left(\sum_{k=1}^n (x_{ik} - x_{jk})^2 \right)^{0.5} \quad (1)$$

При шкалюванні простору, особливо високої розмірності, можливе спотворення та втрата інформативності даних. Для мінімізації цього впливу використаємо таку міру якості відображення, як стрес, та запишемо її у вигляді функції найменших квадратів:

$$\sigma = \sum_{i < j} w_{ij} \left(d(Y_i, Y_j) - \delta_{ij} \right)^2 \quad (2)$$

Такий запис дозволяє відобразити мінімізацію відмінності відстаней між даними в редукованому та вихідному просторі. Так як забезпечити мінімізацію цієї функції в загальному випадку досить складно, скористаємось наближеним методом заміни вихідної функції більш просторою та керованою сурогатною функцією. Це реалізується на базі ітеративного використання алгоритму SMACOF [5]. Відповідно до цього забезпечується мінімізація функції втрат при пониженні простору.

Для забезпечення оптимізації та ефективності пониження простору використаємо наступні етапи. Спочатку сформуємо матрицю попарних відстаней вхідних даних. Далі необхідно сформувати матрицю загальних відстаней між об'єктами. Для отриманої матриці з метою оптимального відображення даних відносного розташування необхідно провести подвійне центрування. В цьому випадку візуальне відображення буде оптимально відцентроване по відношенню до даних. Визначаються власні значення та власні вектори матриці. Наступним кроком є оптимізація розташування положення даних із застосування сурогатної функції.

За мету ставиться отримання даних з координатними, які можна відобразити на площині тобто у двовимірному просторі. Отримані дані будуть мати дві узагальнені координати. Так як використовуємо дані для того щоб отримати модель розпізнавання емоційних проявів використовуємо навчальну вибірку. Тобто дані у нас попередньо розмічені. Таким чином на візуальній площині ми можемо спостерігати групування даних та встановити за якими емоційними проявами ці дані групуються. Найбільш важливим аспектом є можливість розділити ці групи даних. Чим краще вони роздільні і чим між цими групами є більша відстань тим більший допуск можемо дати на розсіювання значень ознак. Таким чином важлива роздільність даних за сукупністю ознак. Перевагою застосування візуалізації є можливість провести ефективний аналіз даних на роздільність, наявність викидів, та формування границь класів з ефективними допусками за розсіюванням узагальнених ознак. У відповідності до групування даних встановлюємо класи та графічно проводимо границі цих класів.

Границі класів визначаються використовуючи кусочно-лінійні розділювачі. Використання дискримінантної лінійної функції обумовлено необхідністю вирішення завдання проєкції в початковий простір ознак.

Лінійний класифікатор $d(\bar{x})$ визначається $d(\bar{x}) = \bar{W}^T \bar{x} + w_n$, де $\bar{x} = (x_0, x_1, \dots, x_{n-1})^T$ – вектор ознак, який визначає образ об'єкту класифікації; $W = (w_0, w_1, \dots, w_{n-1})^T$ – вектор вагових коефіцієнтів класифікатора; w_n – порогове значення.

Належність до класу визначається правилом відношення до класифікатора. Тобто визначається розташування об'єкту відносно лінії класу.

Кусочно-лінійний підхід з формування границі класу дозволяє утворити будь-яку форму шляхом комбінації лінійних елементів. Якщо просторова конфігурація групи об'єктів складна, кількість лінійних елементів границі збільшується. Однак це не порушує загального підходу використання лінійного розділювача. Таким чином є можливість сформувати загальну нелінійність границі класу, застосовуючи локальну лінійну роздільність із обмеження самої локалізації. Локалізація лінійного розмежування визначається методами візуального аналізу, що і є перевагою застосування запропонованого підходу.

Далі, відповідно, лінійні елементи границь проєктуються у вихідний простір та утворюють у ньому гіперплощини. У гіперпросторі гіперплощини перетинаються та формують гіперкуби. Саме ці гіперкуби є просторовими об'ємами класів.

Для того щоб визначити належність нового об'єкту до класу немає необхідності знаходження перетинів площин. Важливим є утворення границь у двовимірному візуальному просторі та відповідних їм елементів гіперплощин і вихідному просторі. В двовимірному просторі визначається границя класу, тобто певний контур. Новий об'єкт по відношенню до цього контуру розташовується так, як і усі інші елементи цього класу. Таким чином можна сформувати правила відношення до класу, правила встановлення розташування об'єктів класу по відношенню до кусочно-лінійного контуру границі класу.

Встановлення розташування об'єктів класу по відношенню до границь класу відбувається у

відповідності з правилами дерева рішення. Застосування дерева рішень дозволяє забезпечити швидкий процес класифікації при отриманій моделі.

Застосування візуального аналізу визначення границь групованих об'єктів є ключовим елементом формування моделі класифікації. Використання кусочно-лінійних контурів границь класів дозволяє сформувати дискримінантні розділювачі досить складної нелінійної залежності. Візуальне визначення границь також дає можливість оптимізувати обчислення під час формування моделі мінімізуючи кількість лінійних елементів та залежить від досвіду та кваліфікації аналітика. За необхідності як межі класів, так і кількість лінійних елементів може бути змінена. Найбільш оптимальних є забезпечення мінімально необхідними границями класів.

Ключовим елементом застосування запропонованого підходу є участь аналітика у процесі навчання моделі класифікації. Аналітик застосовуючи необхідний інструментарій визначає границі класів, звичайно базуючись на візуалізованих даних. Надалі навчена система розпізнавання емоцій працює самостійно і є повністю автоматичною.

Навчена модель класифікації даних є дерево рішень відносного розташування об'єктів даних відносно границь класів. За цими правилами і визначається положення нового об'єкта у просторі ознак відносно границь класів, а, відповідно і класифікується новий об'єкт.

Результати синтезу моделі

Валідність запропонованої моделі пропонується перевірити на синтезованих даних. Це можливо тому, що реальні вхідні дані будуть належати тим же проміжкам, що і штучно створені.

За наведеними у таблиці 2 емоційними проявами і відповідними їм проміжками для x_1, x_2, x_3 згенеровано вхідні дані та візуалізовано їх у двомірному просторі за запропонованим підходом (рис. 1).

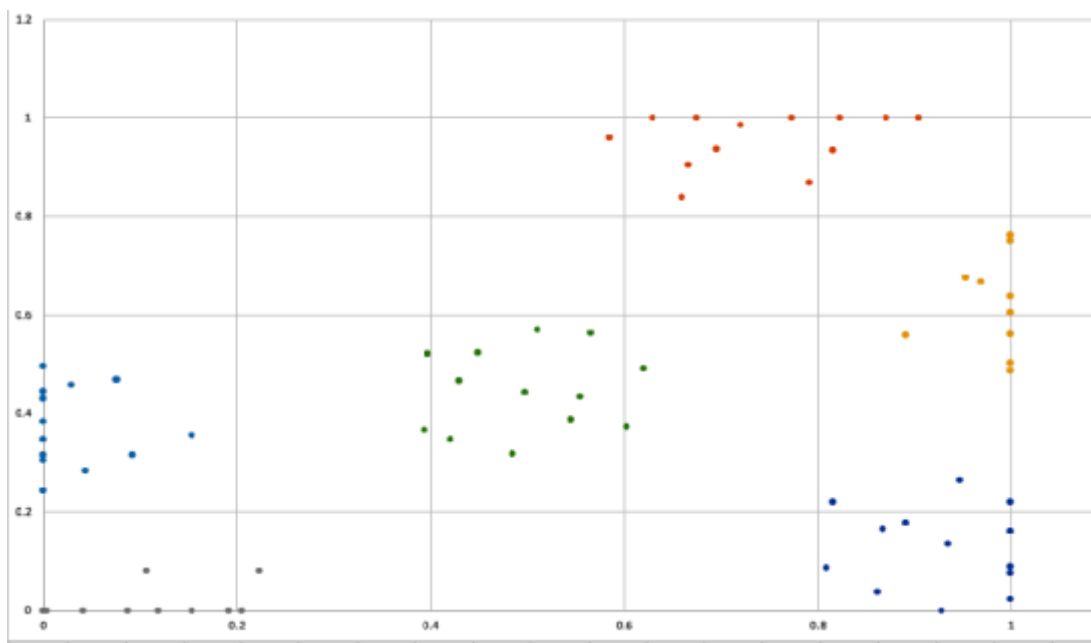


Рис. 1. Візуалізація емоційних станів

Як видно з малюнку, синтезовані дані згруповані за емоціями, що підтверджує спроможність запропонованої моделі використовуватись для класифікації емоційних станів.

Далі, слідуючи кроками запропонованого підходу, вказані кусочно-лінійні розділювачі для класів, що відповідають емоційним станам (рис. 2).

Слідуючи далі, згідно з запропонованим підходом, отримано параметри гіперплощин – аналогів ліній, наведених на рис. 2.

За допомогою отриманих параметрів гіперплощин побудовано дерево рішень для гіперплощинної класифікації мімічних проявів емоційних станів.

Висновки

У роботі запропоновано підхід до отримання спрощеної моделі за допомогою якої стане можливим реалізація розпізнавання емоційних проявів на обличчі швидким чином. У моделі реалізована гіперплощина класифікація мімічних проявів основних емоційних станів на обличчі. Основною перевагою запропонованого підходу є невелика обчислювальна складність, що дасть змогу реалізувати розпізнавання змін емоційного стану людини за мімічними проявами на обличчі без використання спеціалізованого обладнання (для відеокамер з низькою роздільною здатністю або на великій відстані). Сфера застосування запропонованого підходу – використання у системах контролю за водієм під час керування транспортом, оператором складного виробництва тощо.

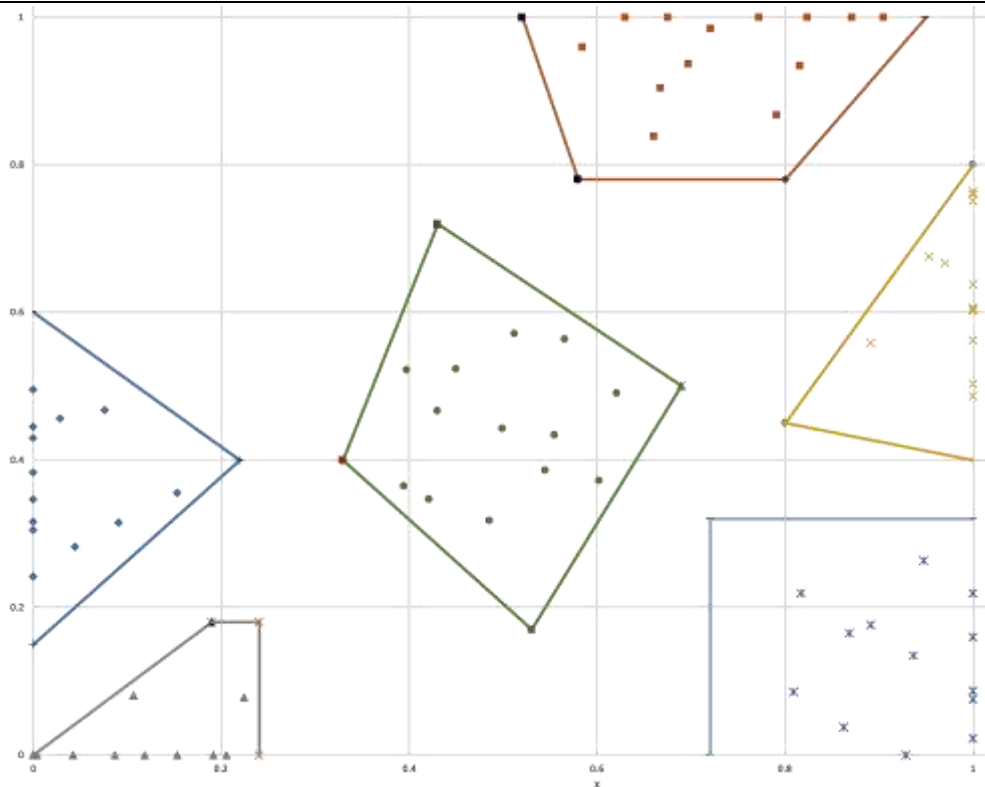


Рис. 2. Кусочно-лінійні роздільники класів

Подальші дослідження направлені на виявлення на зображенні обличчя, отриманого з відеокамер з низькою роздільною здатністю або на великій відстані, параметрів моделі у потрібному форматі та створення відповідних інформаційних систем.

Література

1. Бармак О.В. Інформаційна технологія визначення критеріїв ділянок обличчя, що відтворюють емоційну міміку / О. В. Бармак, О.Д. Калита, Т.О. Гащук, Т.К. Скрипник // Вісник Хмельницького національного університету. Сер.: Технічні науки. Хмельницький. – 2018. – № 6(2). – С. 130–134.
2. Intel® RealSense™ Depth Camera D435 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.intelrealsense.com/depth-camera-d435/>.
3. Krak I., Barmak O., Manziuk E., Kuliash A. (2020) Data Classification Based on the Features Reduction and Piecewise Linear Separation. In: Vasant P., Zelinka I., Weber GW. (eds) Intelligent Computing and Optimization. ICO 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1072. Springer, Cham.
4. Cox T.F., Cox M.A.A.: Multidimensional scaling, 2nd edn. Chapman and Hall. CRC, Boca Raton, 2001.
5. van der Maaten, L.J.P., Postma, E.O., van den Herik, H.J.: Dimensionality reduction: a comparative review. Technical report TiCC-TR 2009-005. Tilburg University 2009.

References

1. BARMAK, O. V., KALYTA O.D., HASHCHUK T.O. & SKRYPNYK, T. K. (2018) Information technology for determining the criteria of facial areas that reproduce emotional facial expressions // Herald of Khmelnytskyi national university. Technical Sciences, Issue 6, 2018 (2). p. 130-134.
2. INTEL® REALSENSE™ Depth Camera D435. [Online] Available from: <https://www.intelrealsense.com/depth-camera-d435/> [Accessed: 15 January 2020].
3. KRAK I., BARMAK O., MANZIUK E., KULIASH A. (2020) Data Classification Based on the Features Reduction and Piecewise Linear Separation. In: Vasant P., Zelinka I., Weber GW. (eds) Intelligent Computing and Optimization. ICO 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1072. Springer, Cham.
4. COX T.F., COX M.A.A.: Multidimensional scaling, 2nd edn. Chapman and Hall / CRC, Boca Raton, 2001.
5. VAN DER MAATEN, L.J.P., POSTMA, E.O., VAN DEN HERIK, H.J.: Dimensionality reduction: a comparative review. Technical report TiCC-TR 2009-005. Tilburg University, 2009.

Рецензія/Peer review : 12.01.2020 р.

Надрукована/Printed : 14.1.2020 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Сорокати́й Р. В.

К.В. БОРАК

Житомирський агротехнічний коледж

І.С. КРУК

Білоруський державний аграрний технічний університет

ВПЛИВ ШВИДКОСТІ РУХУ ҐРУНТООБРОБНИХ АГРЕГАТІВ НА ІНТЕНСИВНІСТЬ ЗНОШУВАННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ

В роботі досліджено вплив швидкості руху ґрунтообробних агрегатів на інтенсивність зношування найбільш розповсюджених робочих органів ґрунтообробних машин: леміша, стрілкової лапи та дискового робочого органу. В результаті отримано аналітичну залежність впливу швидкості руху ґрунтообробних агрегатів на інтенсивність зношування робочих органів та експериментально встановлені коефіцієнти, які характеризують абразивні властивості ґрунтового середовища. Встановлено, що збільшення швидкості руху ґрунтообробного агрегату призводить до інтенсифікації та зміни характеру абразивного зношування робочих органів ґрунтообробної техніки.

Ключові слова: швидкість, робочий орган, ґрунт, ступінь закріплення, інтенсивність зношування, ґрунтообробна машина.

K. V. BORAK

Zhytomyr Agrarian and Technical College, Ukraine

I. S. KRYK

Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk

THE EFFECTS OF TILLERS MOTION SPEED ON THE INTENSITY OF IMPLEMENTS WEAR-OUT

The abrasion wearing-out is one of the most wide-spread kinds of wear-out which results in a machine disability. In agriculture the tillers' implements are most affected by abrasion wear-out. The intensity of their wear-out is caused by: soil and climatic conditions, physical and machine properties of the implements material, as well as by and operating conditions. The motion speed of a tiller is the main operational factor which affects the wear-out intensity of the implements. The research has established that the increase of a tiller motion speed results in the intensification as well as in the nature of changes of the implements wear-out. The increase of a tiller motion speed promotes to the intensification of the abrasion wearing-out process when operating a tiller on sandy soils and the wear-out process slows down on light clay. The implements wear-out intensity, which were made of high-quality wear-resistant steel 28MnB5 and Hardox 500, is less as compared to a commercial implements made of steel 65G. When operating the tillers on soft formations, the wear-out intensity of the nose of a plowshare is not observed when the tiller motion speed increases, it is because the specific pressure in a contact zone of a nose part does not increase. It is identical for the center hoes and disk-shaped implements. When operating the tillers on soft soils, the wear-out intensity of a nose part of a plowshare is not observed when the tiller motion speed increases, it is because the specific pressure in a contact zone of a nose part does not increase. It is identical for the center hoes and disk-shaped implements. The increase of motion speed results in wear-out intensity of disk-shaped implements as compared to plowshare-hoes implements. The wear-out intensity of tiller implements, depending on a tiller motion speed, can be analytically described by a second order polynomial.

Key words: speed, implement, soil, degree of fixation, wear-out intensity, tiller.

Постановка проблеми

Ґрунтообробні машини займають одне з провідних місць в машинно-тракторному парку сучасних сільськогосподарських підприємств. За останні 50 років швидкість їх роботи виросла в 2 рази. Так, в 60 роках минулого століття швидкість оранки складала в межах 5 км/год, зараз вона складає 8...10 км/год [1]. В сучасних плугів робоча швидкість може сягати до 12 км/год, в дискових борін та культиваторі – до 15 км/год. Зростання швидкості руху ґрунтообробних агрегатів призводить до зміни характеру та інтенсивності абразивного зношування, тому встановлення закономірностей впливу швидкості руху агрегату на інтенсивність зношування є безумовно актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Фундаментальні дослідження впливу швидкості на інтенсивність та особливості зношування робочих органів ґрунтообробних машин були проведені М.М. Северньовим в умовах Республіки Білорусь [2]. В результаті проведених досліджень встановлено, що інтенсивність масового зношування з ростом швидкості ґрунтообробних агрегатів суттєво зростає табл. 1.

Таблиця 1

Інтенсивність зношування леміша, г/га [2]

Тип ґрунту	Швидкість оранки, м/с				
	1,25	1,55	2,22	2,77	3,33
Піщаний	51	75	82	91	97
Супіщаний важкий	45	45	56	68	68
Суглинок легкий	30	36	47	50	53

Як бачимо, при зміні швидкості з 1,25 м/с до 3,33 м/с інтенсивність зношування леміша зростає в 1,5...1,9 рази. Слід відмітити, що сучасні ґрунтообробні машини не працюють на маленьких швидкостях

(1,25 м/с, 1,55 м/с та 2,22 м/с), тому результати випробувань на перших трьох швидкостях не потрібно враховувати. Виходячи з реальних умов експлуатації зростання інтенсивності зношування знаходиться в межах 6...6,5%.

Зміна швидкості призводить до зміни характеру зношування робочих органів ґрунтообробних машин, а саме до інтенсифікації зношування частин робочих органів, які перші взаємодіють з середовищем ґрунту [2].

Проведені дослідження мають велике практичне і теоретичне значення, але слід відмітити ряд недоліків:

- швидкості при яких проводили дослідження не відповідають сучасним реаліям;
- не з'ясовано вплив матеріалу на зміну інтенсивності абразивного зношування робочих органів ґрунтообробних машин при рості швидкості руху агрегату;
- в процесі досліджень використовувались тільки робочі органи плуга (леміш, відвал і польова дошка);
- не враховано вплив ступеня закріплення абразивних частинок ґрунту на зміну інтенсивності зношування робочих органів ґрунтообробних машин при зміні швидкості руху агрегату;
- відсутні дослідження на глиняних ґрунтах, які доволі розповсюджені на території України.

В більш пізніх дослідженнях впливу швидкості руху ґрунтообробних агрегатів на інтенсивність зношування робочих органів відсутні результати експлуатаційних досліджень, а автори обмежуються теоретичними [3, 4], лабораторними або стендовими дослідженнями [5]. Результати даних робіт неможливо використовувати при прогнозуванні інтенсивності зношування робочих органів ґрунтообробних машин в реальних умовах експлуатації.

Мета роботи – дослідити вплив швидкості руху ґрунтообробних агрегатів на інтенсивність зношування робочих органів з урахуванням характеристик ґрунтового середовища та фізико-механічних властивостей матеріалу робочих органів.

Матеріали та методи дослідження.

Дослідження проводили згідно діючих державних та галузевих стандартів в умовах аграрних підприємств Житомирської та Вінницької області на ґрунтообробних машинах представлених в табл. 2.

Таблиця 2

Робочі органи, які використовувались в процесі дослідження

Ґрунтообробна машина	Тип ґрунту	Робочий орган	Матеріал робочого органу + нанесений зносостійкий матеріал
Культиватор John Deere 2210	Супіщаний	Стрілчаста лапа	28MnB5
	Середній суглинок		65Г
			65Г+Т-620
			65Г+Т-590
Глина легка	65Г+М-Fe 6		
ПЛН-3-35	Супіщаний	Леміш	65Г
			65Г+Т-620
	Середній суглинок		65Г+Т-590
			65Г+М-Fe 6
			Hardox 500
Глина легка	Л53		
УДА-4,5	Супіщаний	Дисковий робочий орган типу «ромашка»	28MnB5
	Середній суглинок		65Г
			65Г+Т-620
			65Г+Т-590
Глина легка	65Г+М-Fe 6		

Масовий знос робочих органів визначався на лабораторних вагах СР 34001 S фірми "Sartorius" (Німеччина).

Поля у всіх випадках були після збирання зернових культур (озима пшениця та ячмінь). Швидкість руху для плуга варіювались в межах 10...13 км/год, культиватора та дискового агрегату – 11...15 км/год. Для виявлення характеру зміни абразивного зношування слідували за зміною лінійних розмірів складових частин робочих органів ґрунтообробних машин. Визначення зміну ваги та лінійних розмірів проводили після напрацювання 10 га на одну стрілчасту лапу, 30 га на один диск та 5 га на один леміш.

Результати досліджень та їх обговорення

Результати досліджень впливу швидкості на інтенсивність масового зношування представлені в табл. 3.

Таблиця 3

Інтенсивність зношування робочих органів ґрунтообробних машин, г/га

Тип ґрунту	Швидкість, км/год																	
	11				13				15									
<i>Стрілчаста лапа</i>																		
Матеріал робочого органу	28MnB5	65Г	65Г+Т-620	65Г+Т-590	65Г+М-Fe 6	28MnB5	65Г	65Г+Т-620	65Г+Т-590	65Г+М-Fe 6	28MnB5	65Г	65Г+Т-620	65Г+Т-590	65Г+М-Fe 6			
Супіщаний	20,4	21,9	18,6	18,6	18,8	21,4	23,8	19,2	19,1	20,3	22,7	25,1	20,7	20,6	21,1			
Середній суглинок	12,77	16,1	12,2	12,2	12,7	12,9	16,7	12,5	12,5	13,0	13,4	17,7	12,9	12,9	13,5			
Глина легка	6,6	10,2	7,5	7,5	8,9	6,6	10,6	7,7	7,8	9,1	6,8	11,1	7,8	7,8	9,3			
<i>Дисковий робочий орган типу «ромашка» (перший ряд)</i>																		
Матеріал робочого органу	28MnB5	65Г	65Г+Т-620	65Г+Т-590	65Г+М-Fe 6	28MnB5	65Г	65Г+Т-620	65Г+Т-590	65Г+М-Fe 6	28MnB5	65Г	65Г+Т-620	65Г+Т-590	65Г+М-Fe 6			
Супіщаний	0,063	0,064	0,050	0,050	0,051	0,067	0,068	0,052	0,052	0,054	0,071	0,074	0,056	0,056	0,058			
Середній суглинок	0,036	0,039	0,031	0,031	0,031	0,037	0,041	0,032	0,032	0,033	0,039	0,044	0,034	0,034	0,035			
Глина легка	0,018	0,023	0,018	0,018	0,018	0,018	0,024	0,019	0,019	0,019	0,019	0,025	0,019	0,019	0,019			
<i>Леміш</i>																		
Швидкість, км/год	10				11,5				13									
Матеріал робочого органу	65Г	65Г+Т-620	65Г+Т-590	65Г+М-Fe 6	Hardox 500	Л53	65Г	65Г+Т-620	65Г+Т-590	65Г+М-Fe 6	Hardox 500	Л53	65Г	65Г+Т-620	65Г+Т-590	65Г+М-Fe 6	Hardox 500	Л53
Супіщаний	79	26	26	26	64	126	82	27	28	28	66	131	87	28	28	29	67	140
Середній суглинок	54	19	19	19	37	78	56	18	18	19	38	83	57	20	20	20	38	85
Глина легка	31	12	12	12	20	46	33	12	12	13	20	49	33	12	12	12	20	50

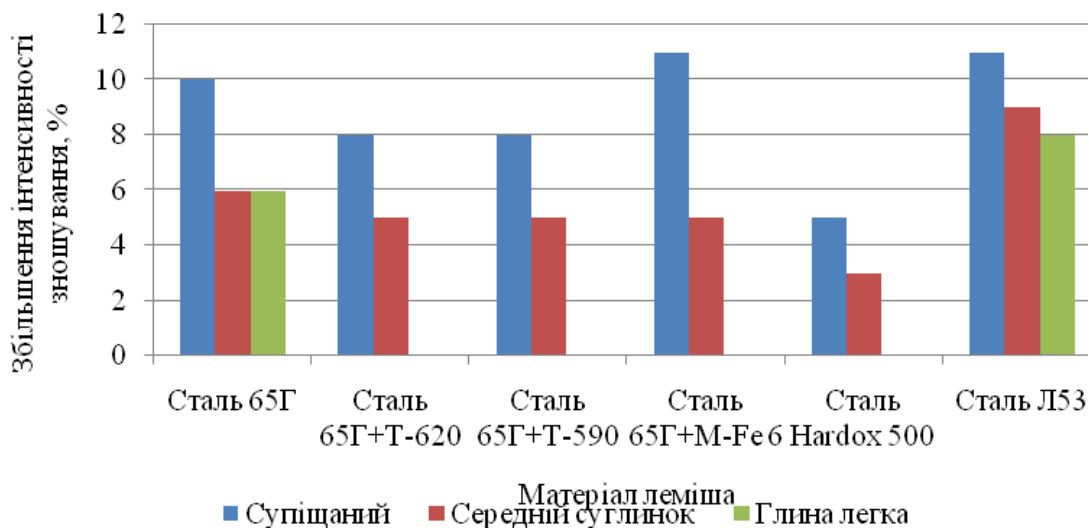


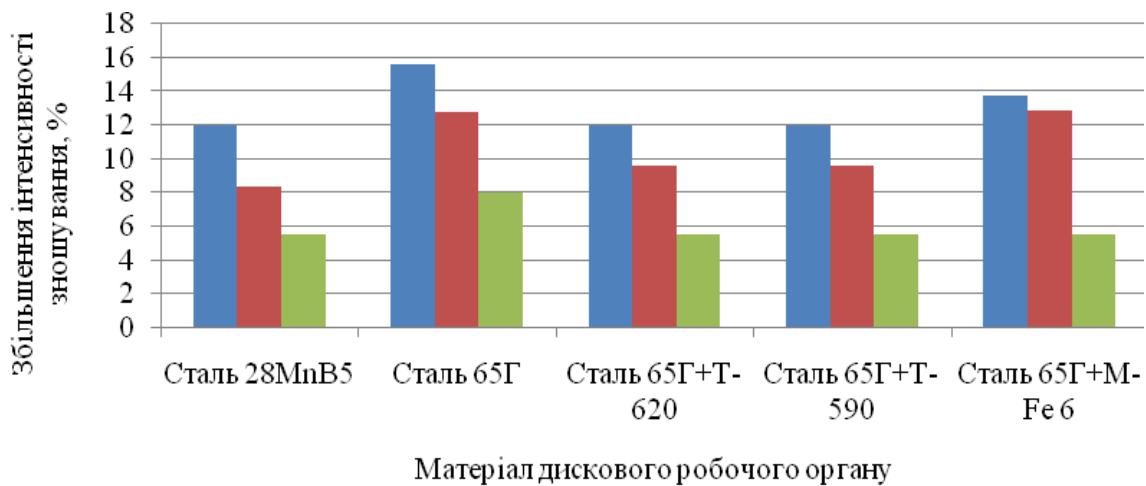
Рис. 1. Зростання інтенсивності зношування лемішів при зміні швидкості з 10 км/год до 13 км/год

Результати досліджень засвідчують, що зростання швидкості призводить до збільшення інтенсивності зношування робочих органів ґрунтообробних машин. Більш суттєве зростання інтенсивності зношування спостерігається при експлуатації робочих органів на ґрунтах з більшою зношувальною здатністю (рис. 1).

В роботі [2] встановлено, що збільшення швидкості призводить до зростання інтенсивності зношування леміша та грудей відвалу. Збільшення швидкості руху ґрунтообробного агрегату призводить до зменшення шляху тертя абразивних частинок по відвалу, а відповідно і до зменшення інтенсивності зношування.

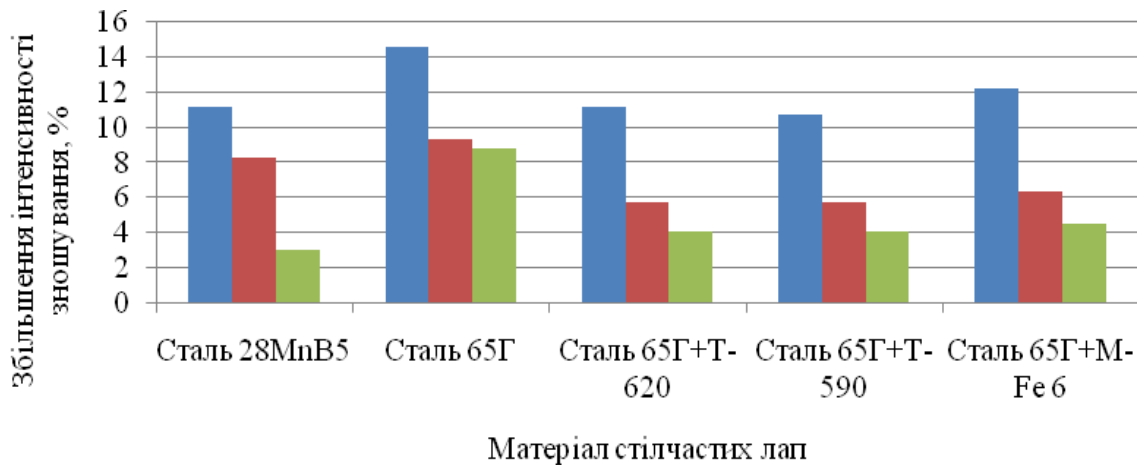
В процесі досліджень виявлено, що зростання швидкості руху ґрунтообробних агрегатів призводить до меншого зростання інтенсивності зношування робочих органів, виготовлених з якісних зносостійких сталей Hardox 500 та 28MnB5. Дана закономірність спостерігається при експлуатації ґрунтообробних машин на всіх типах ґрунтів.

Приріст інтенсивності зношування дискових робочих органів дещо більший ніж у лемішно-лапових робочих органів (рис. 2.)



■ Супіщаний ■ Середній суглинок ■ Глина легка

а)



■ Супіщаний ■ Середній суглинок ■ Глина легка

б)

Рис. 2. Зростання інтенсивності зношування стрілочатих лап та дискових робочих органів типу «ромашка» при зміні швидкості з 11 км/год до 15 км/год: а – дискові робочі органи; б – стрілочаті лапи

Інтенсивність зношування робочих органів ґрунтообробних машин, в залежності від швидкості руху ґрунтообробного агрегату, аналітично можна описати поліномом другого порядку:

$$I_m = av^2 + bv + c \quad (1)$$

де I_m – інтенсивність масового зношування робочого органу г/га; v – швидкість руху

грунтообробного агрегату; *a*, *b* та *c* – коефіцієнти, які характеризують абразивні властивості ґрунтового середовища, визначені експериментальним шляхом (табл. 4).

Коефіцієнт детермінації для всіх математичних моделей знаходиться в межах $R^2 = 0,97...1$. Для встановлення аналітичної залежності інтенсивності зношування лемішів, на глиняних ґрунтах, від швидкості руху ґрунтообробного агрегату необхідно збільшити діапазон варіювання швидкості руху ґрунтообробного агрегату.

Зміна швидкості руху робочих органів ґрунтообробних машин суттєво впливає на зміну характеру зношування робочих органів. Так, при зміні швидкості руху ґрунтообробного агрегату змінюється співвідношення інтенсивності зношування складових частин робочих органів ґрунтообробних машин (табл. 5)

Таблиця 4

Коефіцієнти для визначення інтенсивності зношування робочих органів залежно від швидкості руху ґрунтообробного агрегату

Ґрунту	Коефіцієнти																	
	<i>a</i>					<i>b</i>					<i>c</i>							
	<i>Стрілчата лапа</i>																	
	28MnB5	65Г	65Г+Т-620	65Г+Т-590	65Г+М-Fe 6	28MnB5	65Г	65Г+Т-620	65Г+Т-590	65Г+М-Fe 6	28MnB5	65Г	65Г+Т-620	65Г+Т-590	65Г+М-Fe 6			
Супіщаний	0,0375	-0,075	0,1125	0,125	-0,0875	-0,4	2,75	-2,4	-2,75	2,85	20,262	0,725	31,388	33,725	-1,9625			
Середній суглинок	-0,0375	0,05	0,0125	0,0125	0,025	-0,8	-0,9	-0,15	-0,15	-0,45	16,963	19,95	12,338	12,338	14,625			
Глина легка	0,025	0,0125	-0,0125	-0,0375	0	-0,6	-0,1	0,4	1,05	0,1	10,175	9,7875	4,6125	0,4875	7,8			
<i>Дисковий робочий орган типу «ромашка» (перший ряд)</i>																		
Супіщаний	0	-0,0003	0,0003	0,0003	0,0001	0,002	-0,004	-0,005	-0,005	-0,00015	0,041	0,0778	0,0748	0,0748	0,0524			
Середній суглинок	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0	-0,0025	-0,002	-0,0025	-0,0025	0,001	0,0484	0,0459	0,0434	0,00434	0,02			
Глина легка	0,0001	-7E-18	-0,0001	-0,0001	-0,0001	-0,003	0,0005	0,0035	0,0035	0,0035	0,0359	0,0175	-0,0054	-0,0054	-0,0054			
<i>Леміш</i>																		
	65Г	65Г+Т-620	65Г+Т-590	65Г+М-Fe 6	Hardox 500	Л153	65Г	65Г+Т-620	65Г+Т-590	65Г+М-Fe 6	Hardox 500	Л153	65Г	65Г+Т-620	65Г+Т-590	65Г+М-Fe 6	Hardox 500	Л153
Супіщаний	0,4444	0	-0,4444	-0,2222	-0,2222	0,8889	-7,5556	0,6667	10,889	6,1111	6,1111	-15,778	110,11	19,333	-38,444	-12,889	25,111	194,89
Середній суглинок	-0,2222	0,6667	0,6667	0,2222	-0,2222	-0,6667	6,1111	-15	-15	-4,7778	5,44444	17,667	15,111	102,33	102,33	44,556	4,7778	-32
Глина легка	-0,4444	-	-	-	-	0,4444	10,889	-	-	-	-	11,556	-33,444	-	-	-	-	-25,111

**Співвідношення інтенсивності зношування лезової і носової частини
для різних типів ґрунтів та швидкостей руху ґрунтообробного агрегату
(леміш серійний, сталь Л53, напрацювання на один леміш 4 га, поля після збирання ячменю)**

Швидкість руху ґрунтообробного агрегату, км/год	Співвідношення між інтенсивністю зношування носка та леза леміша		
	Супіщаний ґрунт	Середній суглинок	Глина легка
10	1,51	2,18	2,26
11,5	1,59	2,27	2,38
13	1,65	2,34	2,41

З табл. 5 видно, що зі збільшенням швидкості призводить до зростання інтенсивності зношування носка леміша. Дане явище пояснюється суттєвим зростанням питомого тиску в зоні контакту носової частини. Підвищення інтенсивності зношування різальних елементів, при збільшенні швидкості, можна спостерігати і на інших робочих органах ґрунтообробних машин (носок культиваторної лапи і лезова частина зуба диска).

Результати попередніх теоретичних досліджень свідчать, що ступінь закріплення абразивних частинок в ґрунті може суттєво впливати на характер зношування робочих органів. Для підтвердження або спростування даного твердження були проведені дослідження на супіщаному ґрунті при трьох різних ступенях закріплення абразивних частинок:

1. Ділянка після озимої пшениці;
2. Ділянка після озимої пшениці, повторна оранка на 7 день після першого обробітку;
3. Ділянка після озимої пшениці, повторна оранка на 74 день після першого обробітку.

Результати досліджень представлено в табл. 6.

Таблиця 6

Співвідношення інтенсивності зношування лезової і носової частини в умовах супіщаного ґрунту при різних ступенях закріплення абразивних частинок (леміш серійний, сталь Л53, напрацювання на один леміш 4 га, глибина обробітку у всіх випадках 220 мм)

Умови проведення досліджень	Швидкість руху агрегату		
	10	11,5	13
Ділянка після озимої пшениці	1,40	1,49	1,56
Ділянка після озимої пшениці, повторна оранка на 7 день після першого обробітку	0,68	0,68	0,68
Ділянка після озимої пшениці, повторна оранка на 74 день після першого обробітку	0,87	0,89	0,93

При експлуатації ґрунтообробних агрегатів на пухких ґрунтах не спостерігається ріст інтенсивності зношування носової частини леміша, при збільшенні швидкості руху ґрунтообробного агрегату, що обумовлено відсутністю зростання питомого тиску в зоні контакту носової частини. Для стрілочатих лап і дискових робочих органів ґрунтообробних машин дана закономірність ідентична.

Висновки

В результаті проведених досліджень встановлено, що зростання швидкості руху ґрунтообробних агрегатів призводить до:

- інтенсифікації абразивного зношування робочих органів ґрунтообробних машин, які безпосередньо взаємодіють з середовищем ґрунту;
- більш суттєвого росту інтенсивності зношування дискових в порівнянні з лемішно-лаповими робочими органами ґрунтообробних машин;
- зміни характеру зношування робочих органів ґрунтообробних машин, за рахунок інтенсифікації зношування ріжучих поверхонь робочих органів.

Література

1. Новиков В. С. Обеспечение долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин : монография / В.С. Новиков. – Москва : ИНФРА-М, 2019. – 155 с.
2. Износ и коррозия сельскохозяйственных машин / [М. М. Севернев и др.] ; под. ред. М. М. Севернева. – Минск : Беларус. наука, 2011. – 333 с.
3. Блохин В. Н. Исследование износа рабочей поверхности лемеха от удельного давления и скорости движения абразивной частицы почвы / В.Н. Блохин, Ф. Н. Котиков, А. М. Случевський // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 2 (54). – С. 93–97.
4. Аулін В. В. Трибофізичні основи підвищення зносостійкості і надійності робочих органів ґрунтообробних машин з різальними елементами : монографія / В. В. Аулін, А. А. Тихий. – Кропивницький: Лисенко В.Ф., 2017. – 278 с.
5. Шитов А. Н. Повышение долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин с

применением импульсного электроконтактного нагрева: На примере лемеха плуга : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.03 / Шитов Андрей Николаевич ; Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – Москва, 2005. – 162 с.

References

1. Novikov V. S. Obespechenie dolgovechnosti rabochih organov pochvoobrabatyvayushih mashin : monografiya / V.S. Novikov. – Moskva : INFRA-M, 2019. – 155 s.
2. Iznos i korroziya selskohozyajstvennyh mashin / [M. M. Severnev i dr.] ; pod. red. M. M. Severneva. – Minsk : Belarus. navuka, 2011. – 333 s.
3. Blohin V. N. Issledovanie iznosa rabochej poverhnosti lemeha ot udelnogo davleniya i skorosti dvizheniya abrazivnoj chasticy pochvy / V.N. Blohin, F. N. Kotikov, A. M. Sluchevskij // Vestnik Bryanskoj gosudarstvennoj selskohozyajstvennoj akademii. – 2016. – № 2 (54). – S. 93–97.
4. Aulin V. V. Trybofizichni osnovy pidvyshchennia znosostiikosti i nadiinosti robochykh orhaniv gruntoobrobnykh mashyn z rizalnymy elementamy : monohrafiia / V. V. Aulin, A. A. Tykhyi. – Kropyvnytskyi: Lysenko V.F., 2017. – 278 s.
5. Shitov A. N. Povyshenie dolgovechnosti rabochih organov pochvoobrabatyvayushih mashin s primeneniem impulsnogo elektrokontaktnogo nagreva: Na primere lemeha pluga : dis. ... kand. kehn. nauk : 05.20.03 / Shitov Andrej Nikolaevich ; Federalnoe gosudarstvennoe obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego professionalnogo obrazovaniya «Moskovskij gosudarstvennyj agroinzhenernyj universitet imeni V.P. Goryachkina». – Moskva, 2005. – 162 s.

Рецензія/Peer review : 7.1.2020 р. Надрукована/Printed : 15.4.2020 р.
Рецензент: В.В. Аулін

О.В. БОРОВИК, Л.В. БОРОВИК

Національна академія Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького, м. Хмельницький

А.С. ДІВІЦЬКИЙ

Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації

Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського"

І.П. НІКОЛАЄВ

Хмельницький національний університет

ПРОГРАМНО-АЛГОРИТМІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МЕТОДИКИ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРЕВЕЗЕНЬ КОЛОНОЮ ТЕХНІКИ

Стаття присвячена розробці методики оцінки ефективності перевезень колоною техніки на основі урахування не лише економічної, а й тактичної (військової) та технічної складових перевезень, а також її програмно-алгоритмічного забезпечення. У результаті проведеного дослідження запропоновано методику оцінки ефективності військових перевезень. Перелік найбільш значущих показників перевезення структуровано за тактичною, технічною та економічною складовими. Тактичний показник ефективності перевезень дозволяє оцінити ефективність доставки особового складу та вантажів, часу перевезення та технічного стану засобів перевезення. Технічний показник ефективності перевезень дає оцінку готовності техніки, запасу ходу по моторресурсу до чергового ремонту, використання пробігу та пасажиромісткості, вантажопідйомності та об'ємності техніки. Економічний показник ефективності перевезень оцінює витрати пального та амортизаційний знос техніки. Комплексний показник ефективності перевезень відповідно оцінює усі вищезазначені показники перевезень та надає можливість провести загальну оцінку ефективності перевезень колони техніки. У роботі також наведено програмно-алгоритмічне забезпечення запропонованого методу та продемонстровано його застосування на конкретному прикладі. Для вирішення завдання застосовано методи системного та математичного аналізу, а також сучасні інформаційні технології. Запропонований метод і його програмно-алгоритмічна реалізація можуть бути застосованими до комплексного розв'язання задач формування раціонального складу колони техніки та вибору доцільних маршрутів її руху у рамках задачі організації ефективних перевезень.

Ключові слова: методика, ефективність, показники, техніка, програмно-алгоритмічне забезпечення.

O.V. BOROVYK, L.V. BOROVYK

The National Academy of the State Border Guard Service of Ukraine named after Bohdan Khmelnytsky, Khmelnytskyi city

A.S. DIVITSKY

Institute of Special Communication and Information Protection of

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute. I. Sikorsky"

I.P. NIKOLAYEV

Khmelnytsky National University

SOFTWARE-ALGORITHMIC PROVIDING METHODS OF ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF TRANSPORTATION BY A COLUMN OF TECHNOLOGY

The article is devoted to the development of a technique for evaluating the efficiency of transportation by a column of equipment on the basis of not only economic, but also tactical (military) and technical components of transportation, as well as its software and algorithmic software. As a result of the research, a method for evaluating the effectiveness of military transportation was proposed. The list of the most significant indicators of transportation is structured by tactical, technical and economic components. The tactical indicator of the efficiency of transportation allows to evaluate the efficiency of delivery of personnel and cargoes, the time of transportation and the technical condition of the means of transportation. The technical indicator of the efficiency of transportation gives an assessment of the readiness of the equipment, the stock of the motor resource for the next repair, the use of mileage and passenger capacity, capacity and volume of the equipment. The economic efficiency of transportation estimates the cost of fuel and the depreciation of equipment. The Integrated Transportation Performance Indicator accordingly evaluates all the above transportation performance and provides an overall assessment of the transportation performance of the engineering column. The paper also provides the algorithmic software of the proposed method and demonstrates its application in a specific example. Methods of systematic and mathematical analysis as well as modern information technologies have been applied to solve the problem. The proposed method and its software-algorithmic implementation can be applied to the complex solution of problems of formation of rational composition of the column of equipment and the choice of appropriate routes of its movement within the task of organizing efficient transportation.

Keywords: methodology, efficiency, indicators, technology, software-algorithmic software.

Постановка проблеми

Ряд задач логістичного характеру у різних галузях людської діяльності (в економіці, військовій справі тощо) передбачає переміщення значної кількості сил і засобів, яке в основному здійснюється автомобільною технікою (технікою). Протягом останніх десятиріч існуючий порядок оцінки стану техніки, організації її експлуатації та оцінки ефективності перевезень значних змін не зазнав.

Події на Сході України, що пов'язані з військовою агресією, породили нові виклики, які стосуються і наукового аналізу ряду нових задач. Однією з таких є задача організації перевезень колоною техніки резервів. Новизна і складність задачі обумовлюється необхідністю підвищення вимог щодо терміновості та надійності перевезення резервів, особливо у складних дорожніх умовах.

Незважаючи на значне оновлення парку техніки перевезення здійснюються шляхом застосування як

технологічно нових зразків, так і застарілих зі значною відмінністю основних тактико-технічних характеристик. Це обумовлює необхідність комплексного вирішення задач формування раціонального складу колони техніки та вибору доцільних маршрутів її руху. Рішення наведених задач незалежно одна від іншої здійснене у роботах [1, 2]. Пошук же комплексного рішення на даний час не завершений. Аналіз можливих шляхів його відшукування дозволив зробити висновок про те, що він пов'язаний із застосуванням механізмів оцінки ефективності зазначених перевезень. Саме цим пояснюється актуальність завдання забезпечення об'єктивного оцінювання ефективності перевезень колоною техніки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Ретельний аналіз підходів щодо оцінки ефективності перевезень проведений у роботі [3]. Однак у цій роботі аналізувалися в основному ті праці, в яких досліджувалися питання оцінки економічної ефективності перевезень. У більшості з них в якості цільової функції розглядалася максимізація прибутку від перевезень.

Досліджуване питання аналізувалося і в роботі [4]. Так, у цій праці розглядався метод оцінки ефективності перевезень вантажів однотипними автотранспортними засобами (АТЗ) для перевізника з умовою можливості найму та використанням проектного підходу при плануванні. При цьому було досліджено наступні завдання:

1. Досліджено метод розподілу вантажів, придатних до перевезення однотипними АТЗ між власними та найманими, в умовах повного забезпечення виконання договірних зобов'язань із замовником.
2. Проаналізовано показники оцінки продуктивності та ефективності при виконанні перевезень.
3. Проведено аналіз ефективності використання власних і найманих АТЗ на прикладі транспортної роботи і коефіцієнта використання пробігу.
4. Порівняно техніко-експлуатаційні та економічні показники проектного аналізу, розраховані за допомогою розробленої економіко-математичної моделі при різній кількості власних і найманих АТЗ.

Ефективність транспортного процесу було оцінено за допомогою техніко-експлуатаційних показників, які було класифіковано по групах: показники стану парку; показники використання рухомого складу; показники продуктивності. В якості показників ефективності розглядалися: своєчасність доставки вантажів; тривалість доставки вантажів; втрати у процесі транспортування; продуктивність транспортних засобів; продуктивність вантажно-розвантажувальних машин; питома трудомісткість комплексу транспортно-технологічних операцій і їх складова – питома трудомісткість спільних навантажувальних (розвантажувальних) і транспортних операцій; енергоємність комплексу транспортно-технологічних операцій і її складова – енергоємність перевезень; приведені витрати і їх складова – собівартість перевезень; прибуток автотранспортного підприємства.

Ще однією роботою, що заслуговує на окрему увагу, є робота [5]. У цій праці розглянуто підхід до прогнозування маршруту військового формування за надійністю зразків озброєння і військової техніки з використанням в якості критерію комплексного показника надійності коефіцієнта оперативної готовності. При прогнозуванні ефективності розглядаються показники динаміки руху і боєготовності зразків озброєння і військової техніки (ОВТ) залежно від конструкційних особливостей, технічного стану, зовнішніх умов руху та якості організацій технічного забезпечення маршруту. Вихідними даними для реалізації процесу прогнозування ефективності є кількість зразків техніки у складі колони на початку маршруту, параметр потоку відмов системи, що забезпечує рухомість ОВТ, кількість ремонтних відділень, кількість ОВТ, що вийдуть з ладу під час маршруту, середня швидкість руху колони під час маршруту, середня тривалість проведення ремонтних робіт для зразків ОВТ, середній час очікування ремонтного відділення і тривалість маршруту. Прогнозну величину коефіцієнта оперативної готовності можна одержати за допомогою аналітичної моделі впливу надійності системи, що забезпечує рухомість ОВТ, на ефективність маршруту військового формування, за допомогою якої реалізується статистичний підхід до визначення цього показника.

Аналіз вказаних праць дозволяє зробити висновок про те, що: по-перше, в явному вигляді жоден з описаних підходів до вирішення задачі організації перевезення резервів з позиції забезпечення виконання поставлених бойових завдань, завдань оперативно-службової діяльності, проведення навчань, тренувань особового складу та завдань забезпечення основної діяльності, незастосовний; по-друге, під час оцінки ефективності військових перевезень слід насамперед застосовувати ті показники, які характеризують не лише економічну, а й тактичну (військову) та технічну складові перевезень, а це, в свою чергу, включає в себе такі складові, як своєчасність доставки вантажів, цілісність і безпечність їх доставки, а також доставки особового складу, технічний стан і готовність техніки до подальшого використання, витрати на перевезення тощо.

Метою статті є визначення підходу до розв'язання задачі оцінки ефективності перевезень, враховуючи не тільки економічну, а й тактичну (військову) та технічну складові перевезень, а також його програмно-алгоритмічне забезпечення.

Виклад основного матеріалу дослідження

Вибір значущих параметрів для моделювання досліджуваної задачі та обґрунтування системи показників, які повинні бути враховані у методиці оцінки ефективності військових перевезень, передбачає прийняття до уваги наступного. Перевезення резервів в абсолютній більшості випадків здійснюється штатною технікою. Для організації їх перевезення на основі вихідних даних (відстані, встановленого часу, кількості особового складу та вантажів тощо) необхідно виконати ряд заходів: сформувати склад колони

техніки, обрати водіїв, підготувати водіїв і техніку, визначити маршрути руху, забезпечити матеріально-технічними засобами, організувати управління, охорону та ін.

Згадана вище залежність складу колони техніки та маршруту її руху обумовлюється, зокрема, наступним. Складність маршруту, тип дорожнього покриття впливають на вибір типів і марок техніки, обраних до складу колони, і навпаки тактико-технічні характеристики обраної техніки обмежують її прохідність за певних дорожніх умов. Отже, формування складу колони техніки та вибір маршруту руху є базовими заходами організації перевезень.

Методика оцінки ефективності перевезень колоною техніки.

Особливої уваги під час проведення розрахунків ефективності перевезень потребує те, що в залежності від мети конкретного перевезення головною вимогою може бути доставка вантажу, особового складу, техніки, мінімальні витрати, вчасне прибуття в точку призначення, врахування цих заходів в комплексі або окремо та т.і. Зважаючи на це, значущими показниками ефективності перевезень мають бути тактичний, технічний та економічний показники. При цьому, доцільним є і формування узагальненого (комплексного) показника ефективності перевезень.

У подальшому тактичний показник ефективності військових перевезень називатимемо показником тактичної ефективності перевезень і позначатимемо його T_1 , технічний показник ефективності військових перевезень – показником технічної ефективності перевезень і позначатимемо його T_2 , економічний показник ефективності військових перевезень – показником економічної ефективності перевезень і позначатимемо його T_3 .

Для врахування пріоритету завдань, які визначають головну мету перевезення резервів (термін прибуття колони техніки, важливість доставки особового складу або вантажів в точку призначення та т.і.), у показники ефективності перевезень пропонується ввести вагові коефіцієнти (λ), встановлення значень яких пропонується покласти на посадових осіб, відповідальних за організацію перевезень (значення коефіцієнтів можуть бути нормованими і знаходитись, наприклад, у діапазоні $[0;1]$).

Формалізація показників ефективності перевезень з урахуванням їх змісту може мати наступний вигляд.

1. Показник тактичної ефективності перевезень:

$$T_1 = \sum_{j=1}^4 \lambda_{1j} \cdot K_{1j}, \quad (1)$$

де K_{11} – коефіцієнт ефективності перевезення особового складу;

K_{12} – коефіцієнт ефективності доставки вантажу;

K_{13} – коефіцієнт часової ефективності перевезень;

K_{14} – коефіцієнт технічної готовності засобів перевезення до подальшого застосування;

$\lambda_{11}, \lambda_{12}, \lambda_{13}, \lambda_{14}$ – вагові коефіцієнти складових показника тактичної ефективності перевезень.

1.1 Коефіцієнт ефективності перевезення особового складу:

$$K_{11} = a^{\text{дост}} / a^{\text{вст}}, \quad (2)$$

де $a^{\text{дост}}$ – кількість чоловік особового складу підрозділу, яких перевезено у точку призначення технікою зі складу колони (чол.);

$a^{\text{вст}}$ – кількість чоловік особового складу підрозділу, яких необхідно перевезти у точку призначення технікою зі складу колони (чол.).

1.2 Коефіцієнт ефективності доставки вантажу:

$$K_{12} = \frac{m^{\text{дост}} \cdot V^{\text{дост}}}{m^{\text{вст}} \cdot V^{\text{вст}}}, \quad (3)$$

де $m^{\text{дост}}$ – маса вантажу, який доставлено у точку призначення технікою зі складу колони (ц);

$m^{\text{вст}}$ – маса вантажу, який необхідно перевезти у точку призначення технікою зі складу колони (ц);

$V^{\text{дост}}$ – об'єм вантажу, який доставлено у точку призначення технікою зі складу колони (м^3);

$V^{\text{вст}}$ – об'єм вантажу, який необхідно перевезти у точку призначення технікою зі складу колони (м^3).

1.3 Коефіцієнт часової ефективності перевезень:

$$K_{13} = t^{\text{вст}} / t^{\text{дост}}, \quad (4)$$

де $t^{\text{вст}}$ – нормативно встановлений час на перевезення, за який колона має досягти точки призначення (год.);

$t^{\text{дост}}$ – фактичний час перевезення, за який особовий склад та вантажі доставлено у точку

призначення (год.).

1.4 Коефіцієнт технічної готовності засобів перевезення до подальшого застосування:

$$K_{14} = x^{\text{дост}} / x^{\text{вст}}, \quad (5)$$

де $x^{\text{дост}}$ – кількість техніки, яка прибула у точку призначення в технічно справному стані (од.);

$x^{\text{вст}}$ – кількість техніки, яка вибула з вихідної точки в технічно справному стані (од.).

2. Показник технічної ефективності перевезень:

$$T_2 = \sum_{j=1}^6 \lambda_{2j} \cdot K_{2j}, \quad (6)$$

де K_{21} – коефіцієнт готовності техніки;

K_{22} – коефіцієнт запасу ходу по моторесурсу до чергового ремонту;

K_{23} – коефіцієнт використання пробігу;

K_{24} – коефіцієнт використання пасажиромісткості;

K_{25} – коефіцієнт використання вантажопідйомності;

K_{26} – коефіцієнт використання габаритів;

$\lambda_{21} \cdot \lambda_{22} \cdot \lambda_{23} \cdot \lambda_{24} \cdot \lambda_{25} \cdot \lambda_{26}$ – вагові коефіцієнти складових показника технічної ефективності перевезень.

2.1 Коефіцієнт готовності техніки:

$$K_{21} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{k=1}^{s_{ij}} \frac{t_{ijk}^{\text{пр}}}{t_{ijk}^{\text{пр}} + t_{ijk}^{\text{в}}}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} s_{ij}}, \quad (7)$$

де $t_{ijk}^{\text{пр}}$ – середній час знаходження в працездатному стані техніки k -го зразка j -ї марки i -го типу (діб);

$t_{ijk}^{\text{в}}$ – середній час відновлення техніки k -го зразка j -ї марки i -го типу (діб);

s_{ij} – загальна кількість техніки j -ї марки i -го типу у складі колони (од.).

2.2 Коефіцієнт запасу ходу по моторесурсу до чергового ремонту:

$$K_{22} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{k=1}^{s_{ij}} (3X_{ijk}^{\text{м}} - L^{\text{факт}})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{k=1}^{s_{ij}} 3X_{ijk}^{\text{м}}}, \quad (8)$$

де $3X_{ijk}^{\text{м}}$ – запас ходу по моторесурсу техніки k -го зразка j -ї марки i -го типу перед вибуттям колони з вихідної точки (км);

$L^{\text{факт}}$ – фактичний пробіг техніки з вантажем або особовим складом у точку призначення (км).

2.3 Коефіцієнт використання пробігу:

$$K_{23} = \frac{L^{\text{факт}}}{L^{\text{вст}}}, \quad (9)$$

де $L^{\text{вст}}$ – планова відстань перевезень для доставки особового складу та вантажів у точку призначення (км).

2.4 Коефіцієнт використання пасажиромісткості:

$$K_{24} = \frac{a^{\text{дост}}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{k=1}^{s_{ij}} x_{ijk} \cdot a_{ij}}, \quad (10)$$

де x_{ijk} – умовне позначення k -го зразка техніки j -ї марки i -го типу;

a_{ij} – кількість чоловік особового складу підрозділу, які можуть перевозитись технікою j -ї марки i -го типу (чол.).

2.5 Коефіцієнт використання вантажопідйомності:

$$K_{25} = \frac{m^{\text{дост}}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{k=1}^{S_{ij}} x_{ijk} \cdot m_{ij}}, \quad (11)$$

де m_{ij} – маса вантажу, який може перевозитись технікою j -ї марки i -го типу (ц).

2.6 Коефіцієнт використання габаритів:

$$K_{26} = \frac{V^{\text{дост}}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{k=1}^{S_{ij}} x_{ijk} \cdot V_{ij}}, \quad (12)$$

де V_{ij} – об'єм вантажу, який може перевозитись технікою j -ї марки i -го типу (м^3).

3. Показник економічної ефективності перевезень:

$$T_3 = \frac{C_{31}^* + C_{32}^*}{C_{31} + C_{32}}, \quad (13)$$

де C_{31}^* – планова вартість пального (грн.);

C_{31} – фактична вартість витраченого пального (грн.);

C_{32}^* – планова вартість амортизаційного зносу техніки (грн.);

C_{32} – фактична вартість амортизаційного зносу техніки (грн.).

3.1 Планова вартість пального:

$$C_{31}^* = C_{31}^{*\text{ДП}} + C_{31}^{*\text{A-92}} + C_{31}^{*\text{A-95}}, \quad (14)$$

$$C_{31}^{*\text{ДП}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{k=1}^{S_{ij}} x_{ijk} \cdot \frac{L^{\text{вст}} \cdot u_{ij}^{\text{ДП}}}{100} \cdot c^{\text{ДП}}, \quad (15)$$

$$C_{31}^{*\text{A-92}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{k=1}^{S_{ij}} x_{ijk} \cdot \frac{L^{\text{вст}} \cdot u_{ij}^{\text{A-92}}}{100} \cdot c^{\text{A-92}}, \quad (16)$$

$$C_{31}^{*\text{A-95}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{k=1}^{S_{ij}} x_{ijk} \cdot \frac{L^{\text{вст}} \cdot u_{ij}^{\text{A-95}}}{100} \cdot c^{\text{A-95}}, \quad (17)$$

де $u_{ij}^{\text{ДП}}$, $u_{ij}^{\text{A-92}}$, $u_{ij}^{\text{A-95}}$ – витрати пального на 100 км технікою j -ї марки i -го типу (л/100 км);

$c^{\text{ДП}}$, $c^{\text{A-92}}$, $c^{\text{A-95}}$ – вартість 1 л пального за видами (грн./л).

3.2 Фактична вартість витраченого пального:

$$C_{31} = C_{31}^{\text{ДП}} + C_{31}^{\text{A-92}} + C_{31}^{\text{A-95}}, \quad (18)$$

$$C_{31}^{\text{ДП}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{k=1}^{S_{ij}} x_{ijk} \cdot \frac{L^{\text{факт}} \cdot u_{ij}^{\text{ДП}}}{100} \cdot c^{\text{ДП}}, \quad (19)$$

$$C_{31}^{\text{A-92}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{k=1}^{S_{ij}} x_{ijk} \cdot \frac{L^{\text{факт}} \cdot u_{ij}^{\text{A-92}}}{100} \cdot c^{\text{A-92}}, \quad (20)$$

$$C_{31}^{\text{A-95}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{k=1}^{S_{ij}} x_{ijk} \cdot \frac{L^{\text{факт}} \cdot u_{ij}^{\text{A-95}}}{100} \cdot c^{\text{A-95}}. \quad (21)$$

3.3 Планова вартість амортизаційного зносу техніки:

$$C_{32}^* = C_{32}^{*\text{авто}} + C_{32}^{*\text{бр}}, \quad (22)$$

$$C_{32}^{*\text{авто}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{k=1}^{S_{ij}} C_{ijk}^{\text{авто}} \cdot \left(K_{\text{скз}ijk}^{\text{авто-вст}} - K_{\text{скз}ijk}^{\text{авто-вих}} \right), \quad (23)$$

$$C_{32}^{*бр} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{k=1}^{S_{ij}} C_{ijk}^{бр} \cdot (K_{скзijk}^{бр-вст} - K_{скзijk}^{бр-вих}), \quad (24)$$

де $C_{ijk}^{авто}$ – первісна балансова вартість автомобільної техніки k -го зразка j -ї марки i -го типу (грн.);
 $C_{ijk}^{бр}$ – первісна балансова вартість бронетанкової техніки k -го зразка j -ї марки i -го типу (грн.);
 $K_{скзijk}^{авто-вст}$ – плановий сукупний коефіцієнт зносу автомобільної техніки k -го зразка j -ї марки i -го типу після прибуття у точку призначення;
 $K_{скзijk}^{авто-вих}$ – сукупний коефіцієнт зносу автомобільної техніки k -го зразка j -ї марки i -го типу перед вибуттям колони з вихідного пункту;
 $K_{скзijk}^{бр-вст}$ – плановий сукупний коефіцієнт зносу бронетанкової техніки k -го зразка j -ї марки i -го типу після прибуття у точку призначення;
 $K_{скзijk}^{бр-вих}$ – сукупний коефіцієнт зносу бронетанкової техніки k -го зразка j -ї марки i -го типу перед вибуттям колони з вихідного пункту.
 Сукупний коефіцієнт зносу автомобільної техніки визначається згідно [6] так:

$$K_{скзijk}^{авто-вст} = 1 - \frac{H_{1ijk}^{вст} \cdot \Pi_{ijk}^{вст} + H_{2ijk}^{вст} \cdot D_{фijk}}{100}, \quad (25)$$

$$K_{скзijk}^{авто-вих} = 1 - \frac{H_{1ijk}^{вих} \cdot \Pi_{ijk}^{вих} + H_{2ijk}^{вих} \cdot D_{фijk}}{100}, \quad (26)$$

де $H_{1ijk}^{вст}$ – плановий показник зносу на 1000 кілометрів пробігу автомобільної техніки k -го зразка j -ї марки i -го типу після прибуття у точку призначення;
 $H_{1ijk}^{вих}$ – показник зносу на 1000 кілометрів пробігу автомобільної техніки k -го зразка j -ї марки i -го типу перед вибуттям колони з вихідного пункту;
 $\Pi_{ijk}^{вст}$ – планова загальна норма напрацювання автомобільної техніки k -го зразка j -ї марки i -го типу після прибуття у точку призначення (тис. кілометрів (тис. мотогодин));
 $\Pi_{ijk}^{вих}$ – загальна норма напрацювання автомобільної техніки k -го зразка j -ї марки i -го типу перед вибуттям колони з вихідного пункту (тис. кілометрів (тис. мотогодин));
 $H_{2ijk}^{вст}$ – плановий показник зносу автомобільної техніки k -го зразка j -ї марки i -го типу внаслідок її старіння після прибуття у точку призначення;
 $H_{2ijk}^{вих}$ – показник зносу автомобільної техніки k -го зразка j -ї марки i -го типу внаслідок її старіння перед вибуттям колони з вихідного пункту;
 $D_{фijk}$ – строк експлуатації автомобільної техніки k -го зразка j -ї марки i -го типу, років.
 Сукупний коефіцієнт зносу бронетанкової техніки визначається згідно [10] так:

$$K_{скзijk}^{бр-вст} = K_{Бijk}^{вст} + K_{дijk}^{вст} + K_{зijk}^{вст}, \quad (27)$$

$$K_{скзijk}^{бр-вих} = K_{Бijk}^{вих} + K_{дijk}^{вих} + K_{зijk}^{вих}, \quad (28)$$

де $K_{Бijk}^{вст}$ – плановий коефіцієнт безвідмовності, що враховує властивість k -го зразка j -ї марки i -го типу бронетанкової техніки безвідмовно працювати протягом визначеного часу у визначених умовах експлуатації і необхідного обслуговування, після прибуття у точку призначення;
 $K_{Бijk}^{вих}$ – коефіцієнт безвідмовності, що враховує властивість k -го зразка j -ї марки i -го типу бронетанкової техніки безвідмовно працювати протягом визначеного часу у визначених умовах експлуатації і необхідного обслуговування, перед вибуттям колони з вихідного пункту;
 $K_{дijk}^{вст}$ – плановий коефіцієнт довговічності, що враховує властивість k -го зразка j -ї марки i -го типу бронетанкової техніки зберігати працездатність до граничного стану з необхідними перервами для технічного обслуговування і ремонту, після прибуття у точку призначення;
 $K_{дijk}^{вих}$ – коефіцієнт довговічності, що враховує властивість k -го зразка j -ї марки i -го типу

бронетанкової техніки зберігати працездатність до граничного стану з необхідними перервами для технічного обслуговування і ремонту, перед вибуттям колони з вихідного пункту;

$K_{zijk}^{вст}$ – плановий коефіцієнт зберігання, що враховує властивість k -го зразка j -ї марки i -го типу

бронетанкової техніки забезпечувати з дотриманням установлених допусків стабільність експлуатаційних показників протягом і після строку зберігання та транспортування, після прибуття у точку призначення;

$K_{zijk}^{вих}$ – коефіцієнт зберігання, що враховує властивість k -го зразка j -ї марки i -го типу

бронетанкової техніки забезпечувати з дотриманням установлених допусків стабільність експлуатаційних показників протягом і після строку зберігання та транспортування, перед вибуттям колони з вихідного пункту.

3.4. Фактична вартість амортизаційного зносу техніки:

$$C_{32} = C_{32}^{авто} + C_{32}^{бр}, \quad (29)$$

$$C_{32}^{авто} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{k=1}^{S_{ij}} C_{ijk}^{авто} \cdot (K_{скзijk}^{авто-факт} - K_{скзijk}^{авто-вих}), \quad (30)$$

$$C_{32}^{бр} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{k=1}^{S_{ij}} C_{ijk}^{бр} \cdot (K_{скзijk}^{бр-факт} - K_{скзijk}^{бр-вих}), \quad (31)$$

де $K_{скзijk}^{авто-факт}$ – фактичний сукупний коефіцієнт зносу автомобільної техніки k -го зразка j -ї марки i -го типу після прибуття у точку призначення;

$K_{скзijk}^{бр-факт}$ – фактичний сукупний коефіцієнт зносу бронетанкової техніки k -го зразка j -ї марки i -го типу після прибуття у точку призначення.

Фактичний сукупний коефіцієнт зносу автомобільної техніки визначається згідно [6] так:

$$K_{скзijk}^{авто-факт} = 1 - \frac{N_{1ijk}^{факт} \cdot \Pi_{ijk}^{факт} + N_{2ijk}^{факт} \cdot D_{фijk}}{100}, \quad (32)$$

де $N_{1ijk}^{факт}$ – фактичний показник зносу на 1000 кілометрів пробігу автомобільної техніки k -го зразка j -ї марки i -го типу після прибуття у точку призначення;

$\Pi_{ijk}^{факт}$ – фактична загальна норма напрацювання автомобільної техніки k -го зразка j -ї марки i -го типу після прибуття у точку призначення (тис. кілометрів (тис. мотогодин));

$N_{2ijk}^{факт}$ – фактичний показник зносу автомобільної техніки k -го зразка j -ї марки i -го типу внаслідок її старіння після прибуття у точку призначення.

Фактичний сукупний коефіцієнт зносу бронетанкової техніки визначається згідно [6] так:

$$K_{скзijk}^{бр-факт} = K_{Бijk}^{факт} + K_{дijk}^{факт} + K_{зijk}^{факт}, \quad (33)$$

де $K_{Бijk}^{факт}$ – фактичний коефіцієнт безвідмовності, що враховує властивість зразка бронетанкової техніки k -го зразка j -ї марки i -го типу безвідмовно працювати протягом визначеного часу у визначених умовах експлуатації і необхідного обслуговування, після прибуття у точку призначення;

$K_{дijk}^{факт}$ – фактичний коефіцієнт довговічності, що враховує властивість зразка бронетанкової техніки k -го зразка j -ї марки i -го типу зберігати працездатність до граничного стану з необхідними перервами для технічного обслуговування і ремонту, після прибуття у точку призначення;

$K_{зijk}^{факт}$ – фактичний коефіцієнт зберігання, що враховує властивість k -го зразка j -ї марки i -го типу бронетанкової техніки забезпечувати з дотриманням установлених допусків стабільність експлуатаційних показників протягом і після строку зберігання та транспортування, після прибуття у точку призначення.

4. Комплексний показник ефективності перевезень:

$$E = \lambda_1^* \cdot T_1 + \lambda_2^* \cdot T_2 + \lambda_3^* \cdot T_3, \quad (34)$$

де $\lambda_1^*, \lambda_2^*, \lambda_3^*$ – вагові коефіцієнти складових комплексного показника ефективності перевезень.

При прийнятті рішення посадовим особам, відповідальним за організацію перевезень, вибір значень вагових коефіцієнтів складових комплексного показника ефективності перевезень (λ) пропонується здійснювати з урахуванням ступеня важливості тактичного, технічного або економічного показника ефективності чи їх складових.

Програмно-алгоритмічне забезпечення реалізації наведеного підходу до розв'язання задачі оцінки ефективності перевезень.

Для реалізації наведеного підходу до розв'язання задачі оцінки ефективності перевезень авторами сформовано відповідний програмний додаток. Додаток реалізований на мові JavaScript. Фрагмент реалізації додатку має вигляд, що може бути оцінений нижче.

```
function getValueTact() {
    temp_array_tact=[];
    for (let index = 0; index < selected_cars.model.length; index++) {
        X_vst+=1;
    }
    A_vst=tact_eff[1];
    M_vst=tact_eff[3];
    V_vst=tact_eff[5];
    K_11=tact_eff[0]/A_vst;
    K_12=(tact_eff[2]*tact_eff[4]) / (M_vst*V_vst);
    K_13=tact_eff[6]/tact_eff[7];
    K_14=tact_eff[8]/X_vst;
    temp_array_tact.push(K_11,K_12,K_13,K_14);
    for (let index = 0; index < tact_lambda.length; index++) {
        T_1+=tact_lambda[index]*temp_array_tact[index];
    }
}
function getValueTechn() {
    for (let index = 0; index < selected_cars.model.length; index++) {
        temp_reserve_motor_fact+=selected_cars.reserve_motor[index]-L_fact;
        temp_reserve_motor+=selected_cars.reserve_motor[index];
        koef_ready_total+=selected_cars.coef_ready[index];
        temp_M_vst+=selected_cars.lift[index];
        temp_V_vst+=selected_cars.size_box[index];
        temp_A_vst+=selected_cars.passengers[index];
    }
    K_21=koef_ready_total/X_vst;
    K_22=temp_reserve_motor_fact/temp_reserve_motor;
    K_23=L_fact/L_vst;
    K_24=tact_eff[0]/temp_A_vst;
    K_25=tact_eff[2]/temp_M_vst;
    K_26=tact_eff[4]/temp_V_vst;
    temp_array_techn.push(K_21,K_22,K_23,K_24,K_25,K_26);
    for (let index = 0; index < techn_lambda.length; index++) {
        T_2+=techn_lambda[index]*temp_array_techn[index];
    }
}
function getValueEconomy(){
    for (let index = 0; index < selected_cars.model.length; index++) {
        C_31_f+=L_vst*selected_cars.spend_fuel[index]*selected_cars.fuel_price[index];
        C_32_f+=L_fact*selected_cars.spend_fuel[index]*selected_cars.fuel_price[index];
        C_31_a+=selected_cars.car_cost[index]*(selected_cars.total_wear_factor_before[index]-
        selected_cars.total_wear_factor_after_plan[index]);
        C_32_a+=selected_cars.car_cost[index]*(selected_cars.total_wear_factor_before[index]-
        selected_cars.total_wear_factor_after_fact[index]);
    }
    C_31_f/=100;
    C_32_f/=100;
    T_3=(C_31_f+C_31_a) / (C_32_f+C_32_a);
}
let complex_eff=0; //комплексна ефективність
function getComplexEff() {
    complex_eff=T_1*complex_lambda[0]+T_2*complex_lambda[1]+T_3*complex_lambda[2];
}
}
```

Результати роботи додатку, що опрацьований авторами та відповідає описаному вище методу для задачі оцінки ефективності перевезень колоною техніки, до складу якої входять АТЗ з тактико-технічними характеристиками, що наведені в табл. 1, та початковими умовами задач можуть бути оцінені з рис. 1–3.

Таблиця 1

Тактико-технічні характеристики та первісна балансова вартість техніки, з числа якої формується склад колони

Умовне позначення	Марка техніки	Середня швидкість руху $v_{ij}^{сер}$, км/год	Вантажопідйомність m_{ij} , ц	Пасажиромісткість a_{ij} , чол	Об'єм кузовів V_{ij} , м ³	Середня витрата пального u_{ij} , л/100км	Тип палива	Запас ходу по моторесурсу $3X_{ijk}^m$, км	Час знаходження в працездатному стані t_{ijk}^{np} , доба	Час експлуатації t_{ijk}^e , доба	Коефіцієнт готовності K_2	Строк експлуатації техніки $D_{фijk}$, рік	Напряцювання техніки P_{ijk} , тис.км	Первісна балансова вартість техніки $C_{ijk}^{аемо}$, тис.грн.
1	УАЗ-315195	60	0	7	0	14	А-92	3200	235	65	0,78	9	105,159	62,129
2	ВАЗ-21230	70	0	5	0	11	А-95	3800	292	8	0,97	7	198,203	159,925
3	Land Rover	60	5	5	1	12	ДП	5400	293	7	0,98	7	53,021	356,075
4	КРАЗ-6322	50	100	3	25	40	ДП	4200	210	90	0,70	4	33,812	929,166
5	КРАЗ-6322	50	100	3	25	40	ДП	3700	280	20	0,93	4	14,234	929,166
6	КРАЗ-6322	50	100	3	25	40	ДП	3300	293	7	0,98	4	12,877	929,166
7	КРАЗ-6322	50	100	3	25	40	ДП	3800	270	30	0,90	3	29,564	879,236

Набір експериментальних даних для моделювання: вагові коефіцієнти $\lambda_{11} = 0.65$, $\lambda_{12}=0.75$, $\lambda_{13}=0.8$, $\lambda_{14}=0.9$, $\lambda_{21}=0.65$, $\lambda_{22}=0.75$, $\lambda_{23}=0.8$, $\lambda_{24}=0.9$, $\lambda_{25}=0.8$, $\lambda_{26}=0.9$, $\lambda_1=0.65$, $\lambda_2=0.75$, $\lambda_3^*=0.75$, доставлено чоловік – 3 чол, необхідно доставити чоловік – 3 чол, доставлено вантажу 100 ц, маса вантажу, яку необхідно доставити – 100, об'єм вантажу, який доставлено – 20 м³, об'єм вантажу, який необхідно доставити - 20 м³, нормативно встановлений час – 12 год, фактичний час перевезення – 12 год, кількість техніки, яка прибула справною - 3 од., планова відстань перевезень – 1000 км, фактична відстань перевезень 1200 км

Список техніки

Вибрати	Марка техніки	Середня швидкість руху, км/год	Вантажопідйомність (ц)	Пасажиромісткість, чол	Об'єм кузова, м ³	Середня витрата пального, л/100км	Тип палива	Запас ходу по моторресурсу, км	Час знаходження в працездатному стані, доба	Час експлуатації, доба	Коефіцієнт готовності на 1000км	Плановий строк експлуатації, років	Плановий показник часу поїздки, години	Плановий показник часу поїздки, години	Строк експлуатації, років	Вартість, тис. грн.	Первісна вартість, тис. грн.
1	УАЗ-315195	60	0	7	0	14	А92	3200	235	65	0,78	9	105,159	105,159	9	105,159	62,129
2	УАЗ-315195	60	0	7	0	14	А92	3200	235	65	0,78	9	105,159	105,159	9	105,159	62,129
3	УАЗ-315195	60	0	7	0	14	А92	3200	235	65	0,78	9	105,159	105,159	9	105,159	62,129
4	УАЗ-315195	60	0	7	0	14	А92	3200	235	65	0,78	9	105,159	105,159	9	105,159	62,129
5	ВАЗ-21230	70	0	5	0	11	А95	3800	292	8	0,97	7	198,203	198,203	7	198,203	159,925
6	ВАЗ-21230	70	0	5	0	11	А95	3800	292	8	0,97	7	198,203	198,203	7	198,203	159,925
7	ВАЗ-21230	70	0	5	0	11	А95	3800	292	8	0,97	7	198,203	198,203	7	198,203	159,925
8	Land Rover	60	5	5	1	12	ДП	5400	293	7	0,98	7	53,021	53,021	7	53,021	356,075
9	Land Rover	60	5	5	1	12	ДП	5400	293	7	0,98	7	53,021	53,021	7	53,021	356,075
10	КРАЗ-6322	50	100	3	25	40	ДП	4200	210	90	0,70	4	33,812	33,812	4	33,812	929,166
11	КРАЗ-6322	50	100	3	25	40	ДП	4200	210	90	0,70	4	33,812	33,812	4	33,812	929,166
12	КРАЗ-6322	50	100	3	25	40	ДП	4200	210	90	0,70	4	33,812	33,812	4	33,812	929,166
13	КРАЗ-6322	50	100	3	25	40	ДП	4200	210	90	0,70	4	33,812	33,812	4	33,812	929,166
14	КРАЗ-6322	50	100	3	25	40	ДП	3700	280	20	0,93	4	14,234	14,234	4	14,234	929,166
15	КРАЗ-6322	50	100	3	25	40	ДП	3700	280	20	0,93	4	14,234	14,234	4	14,234	929,166
16	КРАЗ-6322	50	100	3	25	40	ДП	3300	293	7	0,98	4	12,877	12,877	4	12,877	929,166
17	КРАЗ-6322	50	100	3	25	40	ДП	3300	293	7	0,98	4	12,877	12,877	4	12,877	929,166
18	КРАЗ-6322	50	100	3	25	40	ДП	3800	270	30	0,90	3	29,564	29,564	3	29,564	879,236
19	КРАЗ-6322	50	100	3	25	40	ДП	3800	270	30	0,90	3	29,564	29,564	3	29,564	879,236

Рис. 1. Інтерфейс вибору техніки

Об'єм вантажу, який доставлено V-дист (м3)

Об'єм вантажу, який необхідно доставити V-вст (м3)

Нормативно встановлений час t-вст (год)

Фактичний час перевезення t-факт (год)

Кількість техніки, яка прибула справною

Вагові коефіцієнти складових показника технічної ефективності перевезень (лямбди)
 λ21 λ22 λ23 λ24 λ25 λ26

Показники для технічної ефективності
 Планова відстань перевезень L-вст (км)

Фактична відстань перевезень L-факт (км)

Лямбди для комплексної ефективності
 λ1*
 λ2*
 λ3*

Обрахувати

Рис. 2. Інтерфейс введення даних

Результат

Коеф. еф. перевезень особого складу K11=1.000
 Коеф. еф. доставки вантажу K12=1.000
 Коеф. часової еф. перевезень K13=1.000
 Коеф. тех. готовності техніки засобів K14=0.500

Тактична ефективність T1=2.550

Коеф. готовності техніки K21=0.879
 Коеф. запасу ходу по моторесурсу K22=0.714
 Коеф. використання пробігу K23=1.200
 Коеф. використання пасажиромісткості K24=0.250
 Коеф. використання вантажопідйомності K25=1.000
 Коеф. використання об'ємності K26=0.800

Технічна ефективність T2=3.812

Планова вартість пального C*31=13776.000
 Планова вартість амортизаційного зносу C*32=3.901
 Фактична вартість пального C31=16531.200
 Фактична вартість амортизаційного зносу C32=4.748

Економічна ефективність T3=0.833

Комплексна ефективність E=5.207

Рис. 3. Поле виведення результатів

Висновки

У результаті проведеного дослідження запропоновано методику оцінки ефективності перевезень резервів. Перелік найбільш значущих показників перевезення резервів структуровано за тактичною (військовою), технічною та економічною складовими. Тактичний показник ефективності перевезень дозволяє оцінити ефективність доставки особового складу та вантажів, часу перевезення та технічного стану засобів перевезення. Технічний показник ефективності перевезень дає оцінку готовності техніки, запасу ходу по моторесурсу до чергового ремонту, використання пробігу та пасажиромісткості, вантажопідйомності та об'ємності техніки. Економічний показник ефективності перевезень оцінює витрати пального та амортизаційний знос техніки. Комплексний показник ефективності перевезень відповідно оцінює усі вищезазначені показники перевезень та надає можливість провести загальну оцінку ефективності перевезень колони техніки. Крім того, введення вагових коефіцієнтів дозволяє враховувати особливості окремих умов перевезення, бо надає можливість змінювати ступінь важливості як окремих показників перевезень так і комплексного показника ефективності перевезень.

Також у роботі описано програмно-алгоритмічне забезпечення запропонованого методу та продемонстровано його застосування на конкретному прикладі.

Перспективами подальших досліджень вбачається застосування запропонованого методу та його програмно-алгоритмічної реалізації до комплексного вирішення задач формування раціонального складу колони техніки та вибору доцільних маршрутів її руху у рамках задачі організації ефективних перевезень.

Література

1. Боровик О. В. Математична модель задачі формування складу транспортної колони прикордонної комендатури швидкого реагування та її програмно-алгоритмічна реалізація / Боровик О. В., Рачок Р. В., Боровик Л. В., Купельський В. В. // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К. : ВІКНУ, 2017. – Вип. № 55. – С. 17–30.
2. Боровик О. В. Методика вибору оптимального маршруту руху колони техніки по нестационарній мережі доріг / Боровик О. В., Рачок Р. В., Боровик Л. В., Купельський В. В. // Радіоелектроніка, інформатика, управління (РІУ). – Запоріжжя : ЗНТУ, 2019. – Вип. № 4(51). – С. 111–120.
3. Боровик О. В. Методика оцінки ефективності військових перевезень колоною техніки / Боровик О. В., Купельський В. В. // Системи озброєння і військова техніка. – Харків : НУВПС, 2019. – Вип. № 3(59). – С. 25–35.
4. Галкін А. С. Щодо оцінки ефективності перевезень вантажів однотипними автотранспортними засобами / Галкін А. С. – 2013. – С.1–6.
5. Чорний М. В. Прогнозування ефективності маршу військового формування за надійністю зразків озброєння і військової техніки аналітичним моделюванням / Чорний М.В., Степанов С.С. – 2014. – С. 64–69.
6. Про затвердження Методики визначення залишкової вартості майна Збройних сил України та інших військових формувань : постанова Кабінету Міністрів України № 759 від 29.05.1998 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/KP980759.html

References

1. Borovyk O. V. Matematychna model zadachi formuvannya skladu transportnoi kolony prykordonnoi komendatury shvydkoho reahuvannya ta yii prohramno-alhorytmichna realizatsiia / Borovyk O. V., Rachok R. V., Borovyk L. V., Kupelskyi V. V. // Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. – K. : VIKNU, 2017. – Vyp. № 55. – S. 17–30.
2. Borovyk O. V. Metodyka vyboru optymalnoho marshrutu rukhu kolony tekhniky po nestatsionarii merezhi dorih / Borovyk O. V., Rachok R. V., Borovyk L. V., Kupelskyi V. V. // Radioelektronika, informatyka, upravlinnia (RIU). – Zaporizhzhia : ZNTU, 2019. – Vyp. № 4(51). – S. 111–120.
3. Borovyk O. V. Metodyka otsinky efektyvnosti viiskovykh perevezen kolonoiu tekhniky / Borovyk O. V., Kupelskyi V. V. // Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika. – Kharkiv : NUVPS, 2019. – Vyp. № 3(59). – S. 25–35.
4. Halkin A. S. Shchodo otsinky efektyvnosti perevezen vantazhiv odnotypnyimi avtotransportnyimi zasobamy / Halkin A. S. – 2013. – S.1–6.
5. Chornyi M. V. Prohnozuvannya efektyvnosti marshu viiskovoho formuvannya za nadiinistiu zrazkiv ozbroiennia i viiskovoi tekhniky analitychnym modeliuvanniam / Chornyi M.V., Stepanov S.S. – 2014. – S. 64–69.
6. Pro zatverdzhennia Metodyky vyznachennia zalyshkovoї vartosti maina Zbroinykh syl Ukrainy ta inshykh viiskovykh formuvan : postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy № 759 vid 29.05.1998 r. [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/KP980759.html

Рецензія/Peer review : 14.1.2020 р.

Надрукована/Printed : 15.4.2020 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

Г.Г. БОРТНИК, М.В. ВАСИЛЬКІВСЬКИЙ, Р.М. ВІТЕР
Вінницький національний технічний університет

МЕТОД РОЗШИРЕННЯ ДИНАМІЧНОГО ДІАПАЗОНУ АНАЛОГО-ЦИФРОВИХ ТРАКТІВ ЗАСОБІВ ЦИФРОВОГО ОБРОБЛЕННЯ РАДІОСИГНАЛІВ

У роботі представлено метод розширення динамічного діапазону аналого-цифрових трактів засобів цифрового оброблення радіосигналів за рахунок цифрової фільтрації вихідних сигналів аналого-цифрового перетворювача. У рамках запропонованого методу отримано вирази для оцінювання нелінійних спотворень сигналів в аналого-цифровому тракті. Аналіз ефективності запропонованого методу підтвердив, що завдяки розробленому методу вдається розширити динамічний діапазон аналого-цифрового тракту на 9 – 7 дБ порівняно з існуючим методом аналогової смугової фільтрації вхідного радіосигналу.

Ключові слова: радіосигнали, аналого-цифровий тракт, аналого-цифровий перетворювач, смугова фільтрація, цифрова фільтрація, динамічний діапазон.

G.G. BORTNYK, M.V. VASYLKYVSKYI, R.M. VITER
Vinnytsia National Technical University

EXTENSION METHOD OF DYNAMIC RANGE ANALOG-DIGITAL TRACKS OF DIGITAL MEANS RADIOSIGNAL PROCESSING

The paper presents a method of expanding the dynamic range of analogue-to-digital paths of digital signal processing by digital filtering of the output signals of an analogue-to-digital converter. It is shown that real tracts of analogue-to-digital transformation of radiosignals make significant distortions in the digital representation of signals in the form of parasitic spectral components due to the nonlinearity of the functional elements of analogue-to-digital tracts. In turn, the parasitic components of the spectrum arising in the output signal of the analogue-digital path, lead to a limitation of the dynamic range of the path and, accordingly, the radio-technical system of digital processing of radiosignals. It is established that the filter coefficient of the digital part of the analogue-to-digital path depends on the spectral composition of the output signal of the analogue-to-digital converter. It is proved that when input to the analogue-to-digital path of the harmonic signal as a result of non-linear distortions at its output, odd harmonics of the input signal are formed. As part of the proposed method, expressions were obtained for estimating nonlinear distortions of signals in the analogue-digital path. The structure of the analogue-digital path is developed, according to which the output signal of the analogue-to-digital converter is processed in the digital signal processor (DSP) according to the algorithm of digital filtering. An expression was obtained to determine the filter coefficient of the digital part of the path. The analysis of the efficiency of the proposed method confirmed that thanks to the developed method it is possible to extend the dynamic range of the analogue-digital path by 9 - 7 dB compared to the existing method of analogue bandpass filtering of the incoming radiosignal. The proposed method can be used in telecommunication and radio engineering systems to digitally process radio signals in real time.

Keywords: radiosignals, analogue-to-digital path, analogue-to-digital converter, band-pass filtering, digital filtering, dynamic range.

Вступ

Засоби цифрового оброблення радіосигналів (РС) є складовою частиною систем інформаційного забезпечення радіотехнічних комплексів різноманітного застосування [1]. Вони призначені для запам'ятовування частотно-часової структури прийнятих РС, видачі даних в системи аналізу цих сигналів та відтворення у заданих проміжках часу оброблених РС [2].

Аналого-цифровий тракт (АЦТ) є одним з найважливіших складових сучасних і перспективних засобів цифрового оброблення РС та в значній мірі визначає їх граничні можливості як за швидкістю, так і за динамічним діапазоном [3]. Тому основну увагу розробники цифрових радіотехнічних систем зосереджують на розширенні динамічного діапазону АЦТ. Однак, використання відомих методів і підходів у покращенні характеристик АЦТ засобів цифрового оброблення РС не дозволяють реалізувати потенційно досяжний динамічний діапазон [2, 3]. Це пояснюється тим, що реальні тракти аналого-цифрового перетворення РС вносять суттєві спотворення в цифрове представлення сигналів у вигляді паразитних спектральних складових, що обумовлені нелінійністю функціональних елементів АЦТ [4]. У свою чергу, паразитні складові спектра, що виникають у вихідному сигналі АЦТ, призводять до обмеження динамічного діапазону тракту і відповідно радіотехнічної системи цифрового оброблення РС.

Таким, чином актуальною задачею є розробка АЦТ з розширеним динамічним діапазоном при збереженні потенційно високої швидкодії засобів цифрового оброблення РС.

Метою роботи є розширення динамічного діапазону АЦТ засобів оброблення радіосигналів за рахунок цифрової фільтрації вихідних сигналів аналого-цифрового перетворювача РС.

Основна частина

Оброблення РС в ідеальній аналоговій частині АЦТ, що не вносить власних шумів і спотворень, може змінити динамічний діапазон за рахунок смугової фільтрації. Така процедура використовується для забезпечення вимог теореми Котельнікова-Шеннона при дискретизації РС в аналого-цифровому перетворювачі (АЦП). Смугова фільтрація повинна виконуватись за умови відсутності спотворень оброблюваних РС. Але смуга пропускання цього фільтра Δf_{bf} може бути вужчою, ніж частотна смуга вхідного РС Δf_{in} . При цьому дисперсія шумів пропорційна смузі пропускання АЦТ. Коефіцієнт фільтрації для ідеальної аналогової частини АЦТ дорівнює

$$Q_{iap} = 10 \log \frac{\Delta f_{in}}{\Delta f_{bf}}. \quad (1)$$

Цей вираз демонструє вигреш у динамічному діапазоні для аналогової частини АЦТ, що не вносить власних спотворень і шумів. Реальні схеми характеризуються втратами α_a за рахунок додавання власних шумів аналогових вузлів і АЦП. При цьому вираз для коефіцієнта фільтрації реальної аналогової частини АЦТ набуде вигляду

$$Q_{iap} = 10 \log \frac{\Delta f_{in}}{\Delta f_{bf}} - \alpha_a. \quad (2)$$

Коефіцієнт фільтрації цифрової частини АЦТ залежить від спектрального складу вихідного сигналу АЦП. Складність аналізу проходження РС аналого-цифровим трактом полягає в тому, що АЦТ є нелінійним інерційним пристроєм і тому найбільш повна модель повинна враховувати обидві властивості і є складною. Простіша модель полягає в дослідженні АЦТ як безінерційного пристрою, що є допустимим для РС з частотами, що є нижчими граничних частот АЦТ. Якщо аналізуються РС, рівень яких може перевищувати динамічний діапазон АЦТ, тоді його модель повинна враховувати ефект обмеження сигналу. Для РС, рівень яких не досягає межі динамічного діапазону АЦТ, його модель може не враховувати ефект обмеження і завдяки цьому є простішою моделлю АЦТ. Дослідження такої моделі є доцільним, тому що вона дозволяє отримати граничні значення характеристики при такому нелінійному перетворенні.

Проаналізуємо вплив процедури квантування на спектр РС. Для випадку ідеального безінерційного АЦТ його вихідний сигнал представляється у вигляді суми двох характеристик

$$U_{out} = U_l[U_{in}] + U_m[U_{in}], \quad (3)$$

де $U_l[U_{in}]$ – лінійна амплітудна характеристика АЦТ, що відповідає неспотвореному передаванню РС;

$U_m[U_{in}]$ – нелінійна амплітудна характеристика АЦТ.

Нелінійна характеристика АЦТ є періодичною функцією від вхідного шуму з періодом, що дорівнює кроку квантування h , тобто

$$U_m[U_{in}] = U_m[U_{in} + i \cdot h], \quad (4)$$

де $i = \pm 1, \pm 2, \dots$

Модель АЦТ, що ґрунтується на базі виразу (3) представлена на рис. 1.

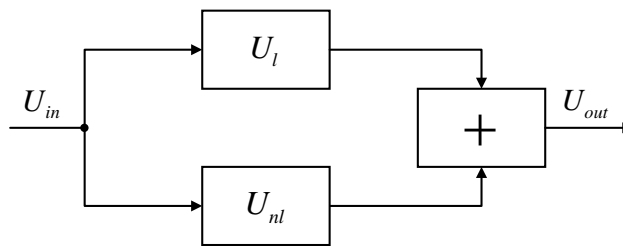


Рис. 1. Модель аналого-цифрового тракту

Нелінійні спотворення в АЦТ згідно рис. 1 представлені колом з характеристикою $U_m[U_{in}]$. У даному випадку $U_m[U_{in}]$ – періодична функція з періодом h , що має постійну складову $0,5 \cdot h$. Ця функція розкладається у ряд Фур'є. Таким чином, нелінійні спотворення в АЦТ можна представити через ряд Фур'є [5]

$$U_m[U_{in}] = \sum_{k=1}^{\infty} a_k \sin\left[\frac{2\pi k U_{in}}{h}\right]. \quad (5)$$

Коефіцієнти ряду Фур'є дорівнюють

$$a_k = \frac{1}{h} \int_{-0,5h}^{0,5h} U_m \sin\left[\frac{2\pi k U_m}{h}\right] dU_m = \frac{h \cdot \cos(\pi k)}{\pi k}. \quad (6)$$

Нелінійна характеристика АЦТ з урахуванням (6) набуде такого вигляду

$$U_m[U_{in}] = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{h \cdot \cos(\pi k)}{\pi k} \sin\left[\frac{2\pi k U_{in}}{h}\right]. \quad (7)$$

Розглянемо процес проходження гармонічного сигналу аналого-цифровим трактом з метою оцінювання нелінійних спотворень в АЦТ. Нехай на вхід АЦТ подається сигнал

$$U_{in}[t] = U_m \cos(\omega t). \quad (8)$$

Підставляємо (8) у вираз (7) і отримаємо вихідні складові АЦТ, що обумовлені нелінійними спотвореннями:

$$\begin{aligned} U_m[t] &= h \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\cos(\pi k)}{\pi k} \sin\left[\frac{2\pi k U_m \cos(\omega t)}{h}\right] = \\ &= h \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\cos(\pi k)}{\pi k} 2 \sum_{m=0}^{\infty} (-1)^m J_{2m+1}\left[\frac{2\pi k U_m}{h}\right] \cdot \cos[(2m+1)\omega t], \end{aligned} \quad (9)$$

де $J_p(x)$ – функція Бесселя I роду порядку p .

Таким чином, при подачі на вхід АЦТ гармонічного сигналу в результаті нелінійних спотворень на його виході формуються непарні гармоніки вхідного сигналу ($\omega, 3\omega$ і т.і.). Отже постає необхідність у

цифровій фільтрації вихідного сигналу АЦП з метою придушення паразитних вищих гармонік сигналу.

Вираз для визначення коефіцієнта фільтрації цифрової частини має вигляд аналогічний виразу (1):

$$Q_{idp} = 10 \log \frac{\Delta f_{bf}^f}{\Delta f_{out}^f} \quad (10)$$

Цей вираз є справедливим для ідеальної реалізації цифрового фільтра РС в АЦТ. Реальні АЦТ вносять деякі втрати α_d при цифровому обробленні сигналів. При цьому вираз (10) набуде такого вигляду

$$Q_{ndp} = 10 \log \frac{\Delta f_{bf}^f}{\Delta f_{out}^f} - \alpha_d \quad (11)$$

Наявність втрат α_d обумовлено таким чинником, як вагове зважування (при цьому значення втрат залежать від типу застосованої віконної функції, наприклад, для функції Хеммінга $\alpha_d = 1,34 \text{ дБ}$) [6].

Структура АЦТ, що функціонує на базі запропонованого методу, представлена на рис. 2.

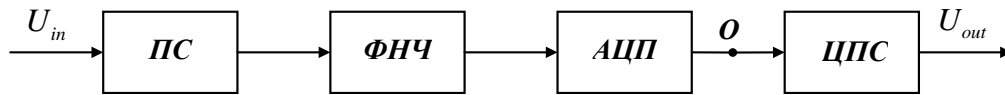


Рис. 2. Структура АЦТ з цифровою фільтрацією вихідного сигналу аналого-цифрового перетворювача

Аналогова частина АЦТ містить послідовно ввімкнені каскади підсилення (ПС) та фільтра нижніх частот (ФНЧ). Вихідний сигнал АЦП обробляється у цифровому процесорі сигналів (ЦПС) за алгоритмом цифрової фільтрації.

Аналіз ефективності запропонованого методу

При оцінюванні ефективності методу вважаємо, що динамічний діапазон вхідної аналогової частини АЦТ ширший, ніж динамічний діапазон аналого-цифрового перетворювача. Динамічний діапазон АЦП у робочій смузі частот дорівнює задекларованому у паспортних даних значенню D_{ADC} [7]. У смузі частот Δf_{bf}^f динамічний діапазон АЦТ з урахуванням коефіцієнта фільтрації в аналоговій частині дорівнює

$$D_{ADT_{af}} = D_{ADC} + 10 \lg \frac{\Delta f_{in}^f}{\Delta f_{bf}^f} - \alpha_a \quad (12)$$

Відомо вираз для динамічного діапазону АЦТ з урахуванням режиму дискретизації сигналів [8]

$$D_{ADT_d} = D_{ADC} + 10 \lg \frac{f_s}{2\Delta f_{bf}^f} \quad (13)$$

де f_s – частота дискретизації АЦП.

Якщо середньоквадратичне значення власних шумів аналогової частини АЦТ перевищує середньоквадратичне значення шумів АЦП у $\sqrt{c^2 + 1}$ разів [9], тоді динамічний діапазон тракту в точці O дорівнює

$$D_{ADT_O} = D_{ADC} + 10 \lg \frac{f_s}{2(c^2 + 1)\Delta f_{bf}^f} \quad (14)$$

Динамічний діапазон на виході АЦТ ширший динамічного діапазону в точці O на значення коефіцієнта фільтрації цифрової частини:

$$D_{ADT_{df}} = D_{ADC} + 10 \lg \frac{f_s}{2(c^2 + 1)\Delta f_{out}^f} - \alpha_d \quad (15)$$

На рис. 3 представлено залежності динамічного діапазону АЦТ, побудованого на базі 14-розрядного АЦП, від смуги пронормованого за частотою дискретизації радіосигналу для різних випадків фільтрації.

Крива 1 побудована для випадку цифрової фільтрації РС з використанням віконних функцій Хеммінга, а крива 2 – з використанням віконних функцій Кайзера-Бесселя. Нижня крива 3 відповідає АЦТ з аналоговою смуговою фільтрацією РС. Як видно з графіків, динамічний діапазон АЦТ знижується при збільшенні частоти вхідного радіосигналу. При цьому цифрова фільтрація на базі вікна Хеммінга забезпечує найкращі значення динамічного діапазону (82 – 78 дБ залежно від частоти вхідного сигналу). Водночас аналогова фільтрація забезпечує динамічний діапазон АЦТ у межах 75 – 69 дБ.

Таким чином, запропонований метод дає можливість суттєво розширити динамічний діапазон АЦТ засобів цифрового оброблення РС та забезпечити функціонування телекомунікаційних і радіотехнічних систем з широким класом сигналів.

Висновки

У роботі представлено метод розширення динамічного діапазону АЦТ засобів цифрового оброблення РС, який базується на процедурі цифрової фільтрації вихідного сигналу АЦП.

Аналіз ефективності запропонованого методу підтвердив, що завдяки розробленому методу вдається розширити динамічний діапазон АЦТ на 9 – 7 дБ порівняно з існуючим методом аналогової смугової фільтрації вхідного РС.

Запропонований метод можна використовувати в телекомунікаційних і радіотехнічних системах для цифрового оброблення радіосигналів у режимі реального масштабу часу.

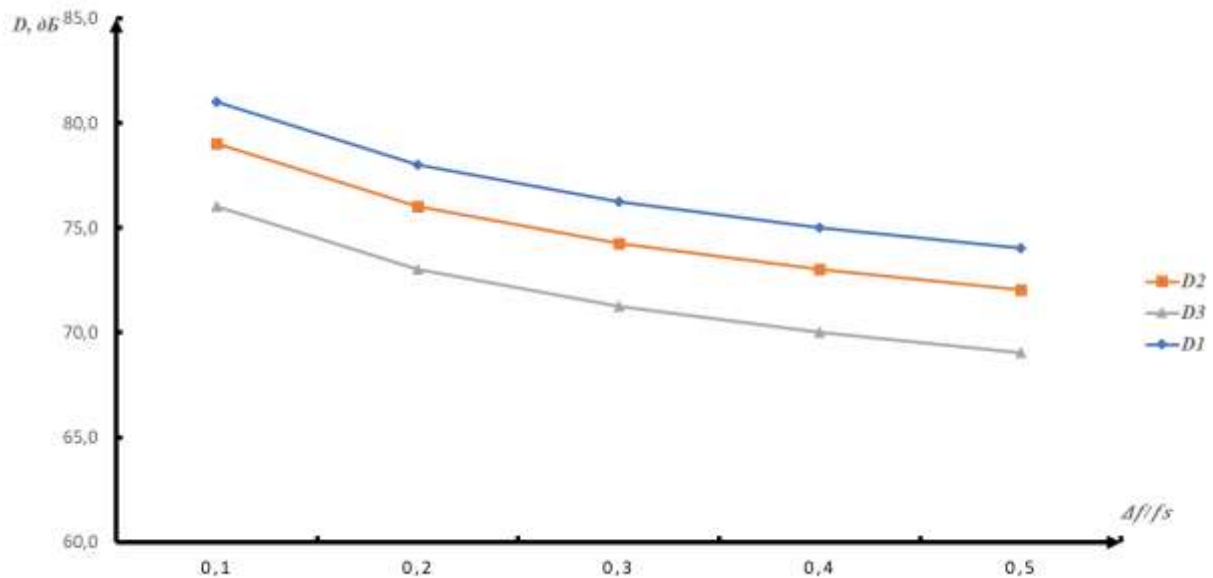


Рис. 3. Залежність динамічного діапазону АЦТ від смуги частот вхідного радіосигналу

Література

1. Рембовский А.М. Радиомониторинг – задачи, методы, средства / А.М. Рембовский, А.В. Ашихмин, В.А. Козьмин. – М. : Телеком, 2010. – 624 с.
2. Бортник Г.Г. Методи та засоби первинного цифрового оброблення радіосигналів / Г.Г. Бортник, М.В. Васильківський, В.М. Кичак. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 168 с.
3. Кестер У. Аналого-цифровое преобразование / Уолт Кестер. – М. : Техносфера, 2007. – 1016 с.
4. Бортник Г.Г. Методи та засоби аналого-цифрового перетворення високочастотних сигналів / Г.Г. Бортник, С.Г. Бортник, В.М. Кичак. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 128 с.
5. Бортник Г.Г. Дослідження інтегральної нелінійності аналого-цифрового перетворювача у базисі дискретних функцій Фур'є / Г.Г. Бортник, С.Г. Бортник // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2005. – № 5. – С. 117–119.
6. Айфичер Э. Цифровая обработка сигналов / Э. Айфичер, Б. Джервис ; пер. с англ. – М. : Вильямс, 2004. – 992 с.
7. Бортник Г.Г. Швидкодіючий аналого-цифровий перетворювач підвищеної точності / Г.Г. Бортник // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2002. – № 5. – С. 47–50.
8. Бортник Г.Г. Пристрій аналого-цифрового перетворення високочастотних сигналів / Г.Г. Бортник, М.В. Васильківський, О.В. Стальченко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2013. – № 2. – С. 82–85.
9. Бортник Г.Г. Аналіз ефективності аналого-цифрового перетворення сигналів у радіотехнічних комплексах / Г.Г. Бортник, М.Л. Мінов, О.В. Стальченко // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2011. – № 2. – С. 12–15.

References

1. Rembovskij A.M. Radiomonitoring – zadachi, metody, sredstva / A.M. Rembovskij, A.V. Ashihmin, V.A. Kozmin. – M. : Telekom, 2010. – 624 s.
2. Bortnyk H.H. Metody ta zasoby pervynnoho tsyfrovoho obroblennia radiosyhnaliv / H.H. Bortnyk, M.V. Vasylykivskiy, V.M. Kychak. – Vinnytsia : VNTU, 2016. – 168 s.
3. Kester U. Analogo-cifrovoe preobrazovanie / Uolt Kester. – M. : Tehnosfera, 2007. – 1016 s.
4. Bortnyk H.H. Metody ta zasoby analoho-tsyfrovoho peretvorennia vysokochastotnykh syhnaliv / H.H. Bortnyk, S.H. Bortnyk, V.M. Kychak. – Vinnytsia : VNTU, 2013. – 128 s.
5. Bortnyk H.H. Doslidzhennia intehralnoi nelineinosti analoho-tsyfrovoho peretvoriuvacha u bazysi dyskretnykh funktsii Furie / H.H. Bortnyk, S.H. Bortnyk // Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu. – 2005. – № 5. – S. 117–119.
6. Ajficher E. Cifrovaya obrabotka signalov / E. Ajficher, B. Dzhervis ; per. s angl. – M. : Vilyams, 2004. – 992 s.
7. Bortnyk H.H. Shvydkodiuiuchy analoho-tsyfrovoyi peretvoriuvach pidvyshchenoi tochnosti / H.H. Bortnyk // Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu. – 2002. – № 5. – S. 47–50.
8. Bortnyk H.H. Prystrii analoho-tsyfrovoho peretvorennia vysokochastotnykh syhnaliv / H.H. Bortnyk, M.V. Vasylykivskiy, O.V. Stalchenko // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. – 2013. – № 2. – S. 82–85.
9. Bortnyk H.H. Analiz efektyvnosti analoho-tsyfrovoho peretvorennia syhnaliv u radiotekhnichnykh kompleksakh / H.H. Bortnyk, M.L. Minov, O.V. Stalchenko // Informatsiini tekhnolohii ta kompiuterna inzheneriia. – 2011. – № 2. – S. 12–15.

Рецензія/Peer review : 10.01.2020 р.

Надрукована/Printed : 14.1.2020 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Осадчук О.В.

О.П. БОХОНЬКО, Г.Є. ЛОБАНОВА

Хмельницький національний університет

О.Д. ЗАРИЦЬКИЙ

ДП "Хмельницькстандартметрологія"

ЗАГАЛЬНІ ПІДХОДИ ДО КЛАСИФІКАЦІЇ ТЕРМІНІВ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ ТА ТЕРМІНІВ ЗІ СТАНДАРТИЗАЦІЇ

В роботі розглянута сучасна термінологія стосовно технічного регулювання та стандартизації, розроблена узагальнена класифікація термінів та визначень.

Ключові слова: закони України, кодекси, підзаконні акти, обов'язкові вимоги, нормативний документ, стандарт, національна стандартизація, технічне регулювання.

O.P. BOHONKO, H.E. LOBANOVA

Khmelnitskyi National University

O.D. ZARITSKIY

SE "Khmelnitskstandartmetrologiya"

GENERAL APPROACHES TO THE CLASSIFICATION OF TERMS OF REGULATORY DOCUMENTS AND TERMS OF STANDARDIZATION

The main goal of the paper is to consider the modern terminology that regards to the technical regulation and standardization. It is established that technical law system that maintain regulation in the field of quality control is one of the most important in any country's development. During last few decades Ukraine is slowly moves to maintain control over its technical regulation system in the same way as it is preferable in the most developed countries of the world. In order to collect the input data for the current work authors considered the laws of Ukraine and recent scientific works in the area of standardization as well as standard and normative documents themselves. The definitions of the terms were gathered by authors of the paper. As a result the classification of terms and definitions those are used in the mentioned area was developed. They suggested to split all the documents into those that contain mandatory requirements and those that might be applied on a voluntary basis. The term "regulatory document" is proposed to be used as a generic. As due to the regulatory documents, which are mandatory, authors suggest to use the term "regulatory act". On the other hand, in regard of the regulatory documents, which are not mandatory, but might be used on a voluntary basis, the term "standardization document" is preferable.

Keywords: laws of Ukraine, codes, by-laws, mandatory requirements, normative document, standard, national standardization, technical regulation.

Постановка проблеми

Кожне суспільство в процесі свого розвитку приділяло велику увагу технічному законодавству та регламентуванню норм, правил, методів виготовлення та контролю якості продукції.

В Україні ці питання вирішувалися Державною системою стандартизації. Система базувалася на принципах діяльності радянської системи стандартизації, яка характеризувалася високим ступенем адміністрування та плановістю робіт. Самі вимоги нормативних документів потребували обов'язковості їх виконання [1].

Однак, тотальне регламентування усіх видів діяльності та жорсткі вимоги нормативних документів не відповідали сучасним принципам ринкової економіки. Починаючи з 2008 року, коли Україна взяла на себе зобов'язання з реформування державної системи стандартизації, вона поступово виконує необхідні заходи з метою досягнення відповідності з нормативними документами ЄС, постійно проводить державну політику з реформування національної системи стандартизації.

До принципів заходів цієї політики відносяться такі основні положення:

- відокремлення обов'язкових вимог від інших. До обов'язкових вимог відносяться ті, які забезпечують захист життя, здоров'я та майна людини, а також захист рослин і тварин, захист навколишнього середовища. Розглядається безпека продукції, процесів, послуг, а також питання щодо національної безпеки;

- дозвіл суб'єктам господарювання обирати всі інші вимоги, які вони вважають важливими до продукції або послуг добровільно. При цьому, якщо суб'єкт господарювання виходить на ринок, він повинен декларувати відповідність продукції або послуги певним вимогам;

- відповідно відноситися до розроблення та затвердження нормативних документів на всіх рівнях, при цьому виключити нормативні документи на рівні галузей, тому що в теперішній час в державі не існує адміністративного підпорядкування певних галузей промисловості відповідним галузевим міністерствам та відомствам. Все це відповідає принципам ринкової економіки.

У рамках реформування національної системи стандартизації було прийнято новий закон в якому прописано, що Державна політика у сфері стандартизації базується на збалансованому застосуванні принципу добровільного застосування національних стандартів та кодексів усталеної практики, якщо інше не передбачено нормативно-правовими актами [2]. Отже, необхідно розглянути сучасну термінологію, що діє стосовно технічного регулювання та стандартизації, розробити узагальнену класифікацію термінів та визначень.

Аналіз останніх джерел

Згідно із законом України «Про засади внутрішньої та зовнішньої політики» однією із провідних засад є забезпечення інтеграції в європейський простір економічного, політичного та правового напрямків [3–5]. Долучення до єдиного правового простору виконується на принципі імплементації в національне законодавство законодавчих актів країн ЄС, у тому числі це стосується необхідності прийняття основних положень європейської системи технічного регулювання, а також складання єдиного нормативного простору. Як в Україні, так і в країнах ЄС діють різні юридичні документи, дія яких носить або обов'язковий характер, або рекомендований. Таким чином використання положень може бути добровільним. Однак у документах є багато розбіжностей [6–12].

У нормативному полі розбіжності визначено в стандартах національно-термінологічних, як найбільш застандартизованих, в яких зазначена термінологія обов'язкова до використання. Наприклад, у стандартах на продукцію, процеси та послуги ДСТУ ГОСТ 25295 є розділ «Терміни та визначення», де терміни стосуються тільки цих документів, а термінологію, яка там визначена не можна використовувати на правах застандартизованої [13]. Таким чином, дуже важливим є уніфікований підхід до основних термінів та їх визначень і в першу чергу до чіткого визначення терміну «нормативний документ» та його видових понять.

Аналіз останніх джерел показав, що термін «нормативний документ» є родовим для таких термінів як: «стандарт», «технічні умови», «настанова», «правила», «звід правил» та «технічний регламент». Однак, згідно із Законом України «Про технічні регламенти та оцінку відповідності» та ДСТУ 1.1:2015 термін «технічний регламент» – це нормативно-правовий акт [4, 13]. Перераховані вище документи не є нормативно-правовими актами. Таким чином термін «нормативний документ» слід використовувати як загальне поняття, яке охоплює документи, що містять вимоги різного характеру, як обов'язкового, так і ті, що застосовують добровільно.

Виклад основного матеріалу

Згідно з українським законодавством, документи, які містять вимоги, обов'язкові до виконання, слід називати нормативно-правовими актами. Наприклад, у Законі України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення» записано що «державні санітарні норми та правила, санітарно-гігієнічні та санітарно-протиепідемічні правила і норми, санітарно-епідеміологічні правила і норми, протиепідемічні правила і норми, гігієнічні та протиепідемічні правила і норми, державні санітарно-епідеміологічні нормативи, санітарні регламенти» визначаються як «обов'язкові для виконання нормативно-правові акти центрального органу виконавчої влади». Таким чином, їх слід віднести до нормативно-правових актів [5].

У міжнародній практиці термін «regulation» відповідає українському терміну «технічний регламент», що має визначення – «нормативно-правовий акт, в якому визначено характеристики продукції або пов'язані з ними процеси та методи виробництва, включаючи відповідні адміністративні положення, додержання яких є обов'язковим. Він може також включати або виключно стосуватися вимог до термінології, позначень, пакування, маркування чи етикетування в тій мірі, в якій вони застосовуються до продукції, процесу або методу виробництва» [4] та «Нормативно-правовий акт, що встановлює технічні вимоги безпосередньо або через посилання на стандарт, технічні умови, кодекси усталеної практики, або через долучення до себе їхнього змісту» [14].

У країнах ЄС обов'язкові до виконання документи мають назву: регламент, директиви, рішення. Термін регламент застосовують як загальний, що є обов'язковим у всіх частинах, і який належить виконувати в усіх країнах ЄС.

Директива – юридично обов'язковий акт, прийнятий компетентним органом ЄС, що належить до вторинного законодавства ЄС і є обов'язковим для кожної держави-члена ЄС, якій він адресований, щодо результату, який має бути досягнутий. Цей акт, однак, залишає національним органам влади вибір форм та методів імплементації. Деякі директиви є більш загальними, інші – більш детальними. Чим більш загальною є директива, тим більшу свободу тлумачення матиме орган влади, що гармонізує національне законодавство до цієї директиви.

Директиви – це документ, який є обов'язковим до виконання для конкретної держави-члена, що їй адресовано. Влада кожної держави при цьому має самостійне рішення стосовно вибору форм та методів дій щодо його виконання, але рішення є обов'язковим до виконання у всіх своїх частинах для тих, кому його адресовано. Таким чином, директиви також слід віднести до нормативно-правових актів.

Нормативний документ, що не є обов'язковим до виконання і не відноситься до нормативно-правового акту, може мати незастандартизовану назву [15]. Його позначають як «нормативно-технічний документ», або акт «нормативно-технічного характеру», або «нормативний документ із стандартизацією». Останній найбільш чітко відповідає визначенню терміну «нормативний документ».

У сучасному нормативному просторі найбільш чіткі визначення має термін «нормативний документ зі стандартизацією», який і пропонується використовувати в подальшому.

Для виконання робіт із удосконалення класифікації нормативних документів було проведено аналіз основних термінів та їх визначень, який показав, що під терміном «документ» розуміють носій, який містить офіційну інформацію та який затверджено визначеним органом, а нормативним документом вважається документ, який містить вимоги до об'єкту стандартизації, а також загальні правила, принципи та характеристики діяльності або їх результати.

Таким чином, нормативні документи пропонується поділяти на нормативно-правові акти і нормативні документи з стандартизації. До першої групи доцільно віднести документи, вимоги яких обов'язкові до виконання. Це закони, кодекси, підзаконні акти, які включають положення, правила, інструкції, технічні регламенти, нормативно-правові акти з охорони праці та пожежної безпеки, санітарні норми та будівельні норми. Нормативно-правові акти знаходяться в жорсткій співвідносності, яка впливає на юридичну силу того чи іншого акту [15]. Залежно від юридичної сили нормативно-правові акти розподіляються таким чином:

- конституція України – документ найвищої юридичної сили;
- кодекси;
- закони України;
- підзаконні акти.

Визначення цих термінів наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Основні терміни та визначення нормативно-правових актів

№	Термін	Визначення
1	Нормативно-правовий акт (НПА)	Документ що встановлює обов'язкові правові правила, прийняті органом влади [14].
2	Кодекс	Нормативно-правовий акт, що об'єднує та систематизує норми права, що належать до певної галузі (підгалузі) законодавства і регулює у цій галузі сферу суспільних відносин.
3	Закон	Нормативно-правовий акт, що регулює суспільні відносини встановленням загальнообов'язкових норм та правил і відповідальності за порушення зазначених правил.
4	Підзаконний акт	Нормативно-правовий акт уповноваженого органу держави (його посадових осіб) та інших суб'єктів, що приймають відповідно до законів і розвивають чи деталізують їх положення
5	Положення	Нормативно-правовий акт, що встановлює структуру і функції будь-якого органу або визначає порядок будь-якої діяльності.
6	Інструкція	Нормативно-правовий акт, що встановлює порядок застосування актів законодавства, прийнятих органами вищого рівня, або власних актів, а також порядок здійснення будь-якої діяльності.
7	Правила	Нормативно-правовий акт, що являє собою збір правових норм, які регламентують діяльність певної галузі виробництва чи окремих видів діяльності.
8	Технічний регламент	Нормативно-правовий акт, в якому визначено характеристики продукції або пов'язані з ними процеси та методи виробництва, включаючи відповідні адміністративні положення, додержання яких є обов'язковим. Він може також включати або виключно стосуватися вимог до термінології, позначень, пакування, маркування чи етикетування в тій мірі, в якій вони застосовуються до продукції, процесу або методу виробництва [4]. Нормативно-правовий акт, що встановлює технічні вимоги безпосередньо або через посилання на стандарт, технічні умови, кодекси ustalеної практики, або через долучення до себе їхнього змісту [14].
9	Нормативно-правовий акт з охорони праці (НПАОП) та пожежної безпеки	Нормативно-правовий акт, затверджений спеціально уповноваженим органом з нагляду за охороною праці та спеціально уповноваженим органом з пожежної безпеки.
10	Санітарні норми	Нормативно-правовий акт, що визначає критерії безпеки та нешкідливості для людини факторів довкілля і вимоги щодо забезпечення оптимальних чи допустимих умов життєдіяльності людини.

До нормативних документів зі стандартизації пропонується віднести стандарти, настанови, правила, технічні умови, державні класифікатори та показники. Визначення цих термінів наведено в таблиці 2.

Основні терміни та визначення нормативної документації зі стандартизації

№	Термін	Визначення
1	Нормативний документ	Документ що встановлює правила, настанови чи характеристики щодо діяльності або її результатів [2, 14].
2	Стандарт	Документ, оснований на консенсусі, прийнятий визнаним органом, що встановлює для загального і неодноразового використання правила, настанови або характеристики щодо діяльності чи її результатів, і спрямований на досягнення оптимального ступеня впорядкованості в певній сфері [2, 14].
3	Настанова (правила, збірка правил, кодекс ustalеної практики)	Нормативний документ зі стандартизації, що містить практичні правила чи процедури проектування, виготовлення, монтування, технічного обслуговування, експлуатування обладнання, конструкцій чи виробів.
4	Технічні умови (ТУУ)	Нормативний документ, що встановлює технічні вимоги, яким повинна відповідати продукція, процес або послуга, та визначає процедури, за допомогою яких може бути встановлено, чи дотримані такі вимоги [2]. Документ, що встановлює технічні вимоги, яким має відповідати продукція, процес або послуга [14].
5	Державний класифікатор	Нормативний документ, у якому до відповідно прийнятих ознак класифікації та методів кодування об'єкти класифікації розподілено на угруповання і цим угрупованням надано коди.

Висновки

У роботі розглянута сучасна термінологія, що діє стосовно технічного регулювання та стандартизації, розроблена узагальнена класифікація термінів та визначень. Запропоновано поділити документи на ті, що містять обов'язкові вимоги і ті, у яких застосовуються вимоги на добровільних засадах. Термін «нормативний документ» пропонується використовувати як загально-родовий.

В нормативних документах, вимоги яких є обов'язковими, необхідно використовувати термін «нормативно-правовий акт».

Для нормативних документів, вимоги яких є добровільними пропонується термін «нормативний документ зі стандартизації».

Література

1. Про стандартизацію і сертифікацію : декрет Кабінету Міністрів України від 10 травня 1993 року, № 46-9.
2. Про стандартизацію : закон України від 05.06.2014, № 1315-VII.
3. Про засади внутрішньої і зовнішньої політики : закон України від 01.07.2010, № 2411-VI.
4. Про технічні регламенти та оцінку відповідності : закон України від 15.01.2015 року, № 124-VIII.
5. Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення : закон України від 24.02.1994 року, № 4004-XII.
6. Гриньов Б. Щодо питання гармонізації стандартів і особливостей перекладу / Б. Гриньов, Л. Ламааши, В. Любинський, Н. Молчанова // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2014. – № 4. – С. 21–22.
7. Гладун А. Я. Онтологічний підхід до проблем підвищення якості розроблення національних стандартів України / А. Я. Гладун, Ю. В. Рогушина // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2016. – № 2. – С. 19–28.
8. Малецька О. Є. Сучасні вимоги стандартизації. Нормативні документи з метрології / О. Є. Малецька, М. В. Москаленко // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2016. – № 2.
9. Шипко О. Ф. Результати застосування процедури термінологічного моніторингу з метою унормування термінів міжнародних стандартів у космічній сфері / О. Ф. Шипко, Г. В. Матус // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2016. – № 3. – С. 23–28.
10. Руденко В. П. Вимоги та відмінності нової версії міжнародних стандартів якості / В. П. Руденко // Вісник Сумського національного аграрного університету. – 2015. – № 11. – С. 97–102.
11. Лисенко О. М. Системи управління якістю: особливості впровадження згідно з новою версією стандарту ISO 9001 / О. М. Лисенко // Вісник Східноєвропейського університету економіки і менеджменту. – 2016. – № 1. – С. 27–34.
12. Гінзбург М. Д. Спроба класифікації українських нормативних документів / М. Д. Гінзбург // Стандартизація. Сертифікація. Якість. – 2005. – № 2. – С. 13–19.
13. ГОСТ 25295-2003, IDT : ДСТУ ГОСТ 25295:2005. Одяг верхній пальтово-костюмного асортименту. Загальні технічні умови. – [Чинний від 2006-07-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2006. – 16 с.

14. ДСТУ 1.1:2015 (ISO/IEC Guide 2:2004, MOD). Національна стандартизація. Стандартизація та суміжні види діяльності. Словник термінів. – [Чинний від 2015-12-20]. – К. : ДП УкрНДНЦ, 2015. – 54 с.
15. ДСТУ 3966:2009. Термінологічна робота. Засади і правила розроблення стандартів на терміни та визначення понять. – [Чинний від 2010-07-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2009. – 35 с.

References

1. Pro standartyzatsiiu i sertyfikatsiiu : dekret Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 10 travnia 1993 roku, № 46-9.
2. Pro standartyzatsiiu : zakon Ukrainy vid 05.06.2014, № 1315-VII.
3. Pro zasady vnutrishnoi i zovnishnoi polityky : zakon Ukrainy vid 01.07.2010, № 2411-VI.
4. Pro tekhnichni rehlementy ta otsinku vidpovidnosti : zakon Ukrainy vid 15.01.2015 roku, № 124-VIII.
5. Pro zabezpechennia sanitarnoho ta epidemichnoho blahopoluchchia naselennia : zakon Ukrainy vid 24.02.1994 roku, № 4004-XII.
6. Hrynov B. Shchodo pytannia harmonizatsii standartiv i osoblyvostei perekladu / B. Hrynov, L. Lamaashy, V. Liubynskiy, N. Molchanova // Standartyzatsiia, sertyfikatsiia, yakist. – 2014. – № 4. – S. 21–22.
7. Hladun A. Ya. Ontolohichniy pidkhdid do problem pidvyshchennia yakosti rozroblennia natsionalnykh standartiv Ukrainy / A. Ya. Hladun, Yu. V. Rohushyna // Standartyzatsiia, sertyfikatsiia, yakist. – 2016. – № 2. – S. 19–28.
8. Maletska O. Ye. Suchasni vymohy standartyzatsii. Normatyvni dokumenty z metrolohii / O. Ye. Maletska, M. V. Moskalenko // Standartyzatsiia, sertyfikatsiia, yakist. – 2016. – № 2.
9. Shypko O. F. Rezultaty zastosuvannia protsedury terminolohichnoho monitorynhu z metoiu unormovuvannia terminiv mizhnarodnykh standartiv u kosmichnii sferi / O. F. Shypko, H. V. Matus // Standartyzatsiia, sertyfikatsiia, yakist. – 2016. – № 3. – S. 23–28.
10. Rudenko V. P. Vymohy ta vidminnosti novoi versii mizhnarodnykh standartiv yakosti / V. P. Rudenko // Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahramoho universytetu. – 2015. – № 11. – S. 97–102.
11. Lysenko O. M. Systemy upravlinnia yakistiu: osoblyvosti vprovadzhennia zghidno z novoiu versieiu standartu ISO 9001 / O. M. Lysenko // Visnyk Skhidnoevropeiskoho universytetu ekonomiky i menedzhmentu. – 2016. – № 1. – S. 27–34.
12. Hinzburh M. D. Sproba klasyfikatsii ukrainskykh normatyvnykh dokumentiv / M. D. Hinzburh // Standartyzatsiia. Sertyfikatsiia. Yakist. – 2005. – № 2. – S. 13–19.
13. HOST 25295-2003, IDT : DSTU HOST 25295:2005. Odiah verkhniy paltovo-kostiumnoho asortymentu. Zahalni tekhnichni umovy. – [Chynnyi vid 2006-07-01]. – К. : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2006. – 16 s.
14. ДСТУ 1.1:2015 (ISO/IEC Guide 2:2004, MOD). Natsionalna standartyzatsiia. Standartyzatsiia ta sumizhni vydy diialnosti. Slovnyk terminiv. – [Chynnyi vid 2015-12-20]. – К. : DP UkrNDNTs, 2015. – 54 s.
15. DSTU 3966:2009. Terminolohichna robota. Zasady i pravyla rozroblennia standartiv na terminy ta vyznachennia poniat. – [Chynnyi vid 2010-07-01]. – К. : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2009. – 35 s.

Рецензія/Peer review : 20.1.2020 р.

Надрукована/Printed : 14.1.2020 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

DOI 10.31891/2307-5732-2020-281-1-57-62

УДК 504.064.3:574:(282.243.7.05)

А.Г. ВАСЕНКО, Е.А. ЦИТЛИШВИЛИ, Ю.В. СВИРИДОВ, В.В. БРУК

Научно-исследовательское учреждение Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем, Харьков

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТОЧЕЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА КАЧЕСТВО ВОДЫ УКРАИНСКОЙ ЧАСТИ ДЕЛЬТЫ ДУНАЯ

Выполнена оценка влияния сбросов возвратных вод в р. Дунай со стороны Украины на качество речной воды. Оценка производилась по 2-м предложенным критериям: локального и крупномасштабного влияния. Первый критерий основан на оценке загрязненности воды в контрольном створе с учетом разбавления возвратных вод; второй критерий – на оценке отношения массы сбрасываемых веществ к ассимилирующей способности реки. Установлено, что по обоим предложенным критериям максимальное влияние на качество воды в р. Дунай оказывает сброс сточных вод Целлюлозно-картонного комбината (ЦКК) г. Измаил. Предложены мероприятия по уменьшению загрязнения от точечных источников, сточные воды которых содержат высококонцентрированные соединения биогенных элементов и органических веществ.

Ключевые слова: возвратные воды, показатели качества воды, коэффициент загрязненности, кратность разбавления, ассимилирующая способность, иммобилизованный биоценоз, дисковый биореактор.

A. G. VASENKO, K. A. TSYTLISHVILI, YU. V. SVIRIDOV, V. V. BROOK
Ukrainian Research Institute for Environmental Problems (USRIEP), Kharkov, Ukraine

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF POINT SOURCES OF POLLUTION ON THE WATER QUALITY OF THE UKRAINIAN PART OF THE DANUBE DELTA

The purpose of this article is the estimation of the impact on river water quality of the wastewaters discharges from Ukraine into the Danube river. The data of 15 enterprises that discharge return water to the Danube River are given; for 10 enterprises, return water falls into the categories "normatively clean without purification" or "normatively treated". This estimation has been carried out by means of two proposed criteria: local impact (KL) and large-scale impact (KM). As a local criterion the pollution factor in the checkpoint on the distance of 50 m from discharge had been used. For estimation by local criterion the dilution factor and pollutant concentrations in the checkpoints had been calculated. These calculations were based on the mathematical model of the forming of water quality nearby wastewater discharge. As a large-scale criterion the part of the rivers assimilative capability that needs to assimilate pollutions from discharge had been used. It has been determined that by both criteria the maximum impact on Danube river water quality has the Izmail Cellulose-cardboard combine (CCC). By large-scale criterion besides CCC the considerable impact on river water quality has the wastewater discharge from the Kiliia municipal company "Light". The influence of other discharges of return water according to the KL criterion is insignificant due to the high multiplicity of dilution of return water by river waters. The main pollutants in wastewaters of these discharges are organic substances, ammonium nitrogen, nitrites. The measures for additional wastewater cleaning from these pollutants are suggested. These measures are based on using of disk-shaped bioreactor. Such an event can be an environmentally friendly and economically accessible local structure - a disk bioreactor, which is a biological unit of semisubmersible rotating carriers with an immobilized consortium of microbiocenosis.

Keywords: wastewaters, water quality, pollution factor, dilution factor, assimilative capability, immobilize biocenosis, disk-shaped bioreactor.

Введение. Дельта Дуная представляет собой уникальную экологическую систему. Согласно Водной Рамочной Директиве ЕС (Directive 2000/60/ЕС) она относится к водным объектам, для которых необходима особая охрана. На экологическое состояние дельты р. Дунай оказывают влияние различные источники загрязнения, действующие как на территории Украины и Румынии, так и на территории различных стран, расположенных в бассейне Дуная. Поэтому оценка загрязнения речных вод дельты р. Дунай представляет интерес, как на национальном, так и на международном уровне. В первую очередь, это связано с выполнением плана действий Международной Комиссии по защите реки Дунай (International Commission for the Protection of the Danube River – ICPDR) [1]. Целью данной работы является оценка загрязнения речных вод различными точечными источниками загрязнения, расположенными в украинской части дельты р. Дунай, и разработка предложений по ограничению этого загрязнения.

Исходные данные. В качестве исходных данных для оценки влияния точечных источников загрязнения на качество воды в р. Дунай были использованы данные о расходах и составе возвратных вод основных точечных источников загрязнения р. Дунай со стороны Украины согласно форме 2ТП-водхоз за 2018 г. Данные о расходах возвратных вод представлены в табл. 1

Как видно из приведенных в табл. 1 данных, из 15-и предприятий, которые сбрасывают возвратные воды в р. Дунай, для 10-и предприятий возвратные воды относятся к категориям «нормативно чистые без очистки» или «нормативно очищенные». Влияние этих источников загрязнения на качество воды в р. Дунай пренебрежимо мало, и в дальнейшем не рассматривалось. Исключение составляет ЦКК ввиду большого расхода сточных вод и относительно высоких концентраций загрязняющих веществ. Для 5-и предприятий возвратные воды относятся к категориям «загрязненные без очистки» или «недостаточно очищенные». Данные о составе возвратных вод этих предприятий и ЦКК приведены в табл. 2.

Методика исследований. Для оценки влияния сбросов возвратных вод на качество воды в р. Дунай использовались 2 критерия: локального влияния и крупномасштабного влияния, аналогичных предложенным в [2] критериям для оценки влияния точечных источников загрязнения морей. В качестве критерия локального влияния был использован критерий KL, который характеризует загрязненность речных вод в контрольном створе. Данный критерий рассчитывается по формуле:

**Годовые расходы возвратных вод основных точечных источников
загрязнения р. Дунай со стороны Украины**

№ п/п	Название предприятия	Сброшено возвратных вод в 2018 г., млн куб. м				
		Всего	Загрязненных, без очистки	Недостаточно очищенных	Нормативно чистых без очистки	Нормативно очищенных
1.	Целлюлозно-картонный комбинат (ЦКК), г. Измаил	2,638			0,005	2,633
2.	Килийский судостроительно-судоремонтный завод	0,030	0,030			
3.	ООО "Титан", г. Киля	0,001			0,001	
4.	КП "Свет", г. Киля	0,148		0,148		
5.	СХП Измаильского района	4,421			4,421	
6.	СХП Килийского р-на	14,28	1,666		12,62	
7.	СВК "Маяк", г. Киля	16,87			16,87	
8.	ООО "Голубая нива-2005", г. Киля	0,125			0,125	
9.	ЧАО "Укртрансгаз" с. Новосильське, Ренийского района	0,001				0,001
10.	ООО "Дунай-агро", с. Ст. Некрасовка Измаильского района	0,019			0,019	
11.	ФХ "Крокус", с. Кислица Измаильского района	0,177			0,177	
12.	ЧП "Витязь", г. Киля	0,255	0,255			
13.	ООО СП "Дунай-агро" г. Киля	2,573			2,573	
14.	СВК "Дружба", с. Мирное Килийского района	2,067			2,067	
15.	ООО "Рис Бессарабии", г. Вилково, Килийский район	12,13			12,13	

Таблица 2

**Среднегодовые концентрации веществ в возвратных водах основных точечных источников
загрязнения р. Дунай со стороны Украины**

Показатели качества воды, мг/дм ³	Предприятия				
	Целлюлозно-картонный комбинат, г. Измаил	Килийский судостроительно-судоремонтный завод	КП "Свет" г. Киля	СХП Килийского района	ЧП "Витязь", г. Киля
Азот аммонийный	0,76		13,6		
БПК-5, мгО ₂ /дм ³	3,6		47,6		
Взвешенные вещества	4,8		6,8	44,4	
Нитраты	36,4				
Нитриты	1,14				
Сульфаты	76,1		408	302	
Хлориды	139,4		429	204	
Железо общее		0,4			0,64
Нефтепродукты		0,03			
Фосфаты			1,8		

$$KL = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_i^{\Gamma ДК}, \quad (1)$$

где n – количество ингредиентов, сбрасываемых в рассматриваемой совокупности выпусков возвратных вод; $K_i^{\Gamma ДК}$ – кратность превышения рыбохозяйственных ПДК для концентраций ингредиентов C_i в контрольном створе сброса возвратных вод. Данная величина определяется по формуле:

$$K_i^{\Gamma ДК} = \begin{cases} \frac{C_i}{ПДК_i}, & \text{при } C_i^0 > ПДК_i \\ 1 & \text{при } C_i^0 \leq ПДК_i \end{cases}, \quad (2)$$

где C_i^0 – концентрации сбрасываемых веществ в возвратных водах.

Данный показатель аналогичен коэффициенту загрязненности (КЗ) [3, 4] в контрольном створе.

При отсутствии данных измерений концентраций загрязняющих веществ в контрольном створе в формуле (2) можно использовать расчетные значения концентраций с учетом фоновых концентраций и кратности разбавления в контрольном створе:

$$C_i = \frac{C_i^0 - C_i^\phi}{N_L} + C_i^\phi, \quad (3)$$

где C_i^ϕ – фоновые концентрации веществ, N_L – кратность разбавления возвратных вод речными водами в контрольном створе на расстоянии L от выпуска возвратных вод.

Поскольку рассматриваемые сбросы возвратных вод являются безнапорными, кратность начального разбавления при расчетах принималась равной 1. В этом случае кратность общего разбавления равна кратности основного разбавления. В связи с большой (порядка 500 м) шириной рукава Килийский, в который осуществляется сброс возвратных вод всех рассматриваемых источников загрязнения, для расчета кратности основного разбавления была использована модель, предложенная в [5].

При отсутствии данных измерений концентраций загрязняющих веществ в контрольном створе в формуле (2) можно использовать расчетные значения концентраций с учетом фоновых концентраций и кратности разбавления в контрольном створе:

$$C_i = \frac{C_i^0 - C_i^\phi}{N_L} + C_i^\phi, \quad (3)$$

где C_i^ϕ – фоновые концентрации веществ, N_L – кратность разбавления возвратных вод речными водами в контрольном створе на расстоянии L от выпуска возвратных вод.

Поскольку рассматриваемые сбросы возвратных вод являются безнапорными, кратность начального разбавления при расчетах принималась равной 1. В этом случае кратность общего разбавления равна кратности основного разбавления. В связи с большой (порядка 500 м) шириной рукава Килийский, в который осуществляется сброс возвратных вод всех рассматриваемых источников загрязнения, для расчета кратности основного разбавления была использована модель, предложенная в [5]. Согласно данной модели кратность основного разбавления N_o рассчитывается согласно следующим формулам:

$$N_o = \frac{\varphi(z_1)}{\gamma_0 z_2} \quad N_o = \frac{\Phi(z_2)}{j_0 z_2}, \quad (4)$$

где

$$z_1 = \frac{L + x_0}{x^*} z_0 = \frac{1 + x_0}{x^* + x_0}, \quad (5)$$

$$z_2 = \frac{Q_c \cdot n_n}{U_c \cdot H_c^2} z_2 = \frac{g \cdot N_H \cdot D_b^{1/2}}{U_H \cdot H_{cp}^2 \cdot D_r^{1/2}}, \quad (6)$$

$$\varphi(Z_1) = \begin{cases} Z_1, & \text{при } Z_1 \leq 1, \\ \sqrt{Z_1}, & \text{при } Z_1 > 1, \end{cases} \quad \Phi(z_2) = \begin{cases} z_2, & \text{при } z_2 \leq 1; \\ (z_2)^{1/2}, & \text{при } z_2 > 1; \end{cases} \quad (7)$$

$$x^* = \frac{U_c \cdot H_c^2}{4\pi D} \quad x^* = \frac{U_H \cdot H_{cp}^2}{4\pi D_d} - x_0, \quad (8)$$

$$x_0 = \begin{cases} Z_2^2 \cdot x^* - L_n, & \text{при } Z_2 \leq 1, \\ Z_2 \cdot x^* - L_n, & \text{при } Z_2 > 1, \end{cases} x_0 = \begin{cases} \frac{g^2 \cdot N_H^2}{4\pi \cdot D_r \cdot U_{н1} \cdot H_{ср}^2} - l_H, & \text{якщо } z_2 < 1; \\ \frac{g \cdot N_H}{4\pi \cdot D_r \cdot D_b} - l_H, & \text{якщо } z_2 \geq 1; \end{cases} \quad (9)$$

$$\gamma_0 = \left[1 + \exp\left(-\frac{U_M \cdot L_0^2}{D \cdot (L + x_0)}\right) \right] \quad (10)$$

где D – коэффициент турбулентной диффузии;
 H_c – средняя глубина;
 U_c – средняя скорость течения в районе выпуска;
 Q_c – расход возвратных вод;
 n_n – кратность начального разбавления; если начальное разбавление не учитывается, то эта величина равная 1;
 L_n – расстояние до границы зоны начального разбавления; если начальное разбавление не учитывается, то эта величина равняется нулю;
 L_0 – расстояние от места выпуска возвратных вод до ближайшего берега;
 L – расстояние от места выпуска возвратных вод до контрольного створа;
 γ_0 – параметр, учитывающий влияние ближайшего берега на кратность основного разбавления,
 x_0 – параметр соединения начального участка разбавления с основным участком;
 x^* – параметр соединения участка двумерной диффузии с участком трехмерной диффузии.

Для оценки крупномасштабного влияния сбросов возвратных вод на качество речных вод предлагается использовать критерий *КМ*, характеризующий среднюю долю ассимилирующей способности водотока, в который осуществляется сброс возвратных вод, расходуемую на ассимиляцию загрязняющих веществ от данного источника. Здесь предполагается усреднение расходуемой доли ассимилирующей емкости по всем загрязняющим веществам, сбрасываемым рассматриваемой совокупностью источников загрязнения.

Ассимилирующая способность водного объекта – это способность водного объекта принимать определенную массу веществ в единицу времени без нарушения норм качества воды в контролируемом створе или пункте водопользования [6]. Поэтому для расчетов критерия крупномасштабного влияния сбросов возвратных вод на речную систему можно применить простую модель, согласно которой ассимилирующая способность водотока по некоторому веществу рассчитывается по формуле

$$AC_i = (ПДК_i - C_i^\phi) \cdot Q_p, \quad (4)$$

где Q_p – расход речных вод, AC_i – ассимилирующая способность водотока по некоторому веществу. С учетом принятой модели для расчета критерия используется следующая формула:

$$KM = \frac{1}{n \cdot Q_p} \sum_{i=1}^n \frac{M_i}{(ПДК_i - C_i^\phi)}. \quad (5)$$

где M_i – годовые массы сброса веществ с возвратными водами.

Результаты исследований. В качестве контрольного створа при оценке влияния сбросов возвратных вод согласно критерию (1) был выбран контрольный створ на расстоянии 50 м от выпуска. Результаты расчетов критериев влияния сбросов возвратных вод на качество речной воды представлены в табл. 3.

Как видно из представленных в табл. 3 результатов расчета, как по локальному, так и по крупномасштабному критериям влияния основным источником загрязнения воды р. Дунай со стороны Украины является сброс сточных вод ЦКК. По локальному критерию влияние остальных источников загрязнения является несущественным, так как в контрольном створе значения всех показателей не превышают ПДК либо превышают фон не более, чем на 5%. Повышенное значение критерия *KL* ($KL > 1$) контрольном створе ЦКК связано с высокой фоновой концентрацией нитритов (0,86ПДК), что обуславливает низкое разбавление сточных вод по данному показателю. Концентрация нитритов в контрольном створе на расстоянии 50 м от выпуска превышает ПДК более чем на 10% (рис. 1).

По критерию крупномасштабного влияния существенное влияние, кроме сброса сточных вод ЦКК, оказывают также сброс сточных вод КП «Свет» г. Килия и сброс коллекторно-дренажных вод СХП Килийского района. Влияние КП «Свет» обусловлено относительно высокими концентрациями в сточных водах азота аммонийного, органических веществ (по БПК-5), хлоридов и сульфатов; влияние сброса коллекторно-дренажных вод СХП Килийского района – хлоридов и сульфатов. Однако вследствие высоко разбавления возвратных вод речными водами влияния данных источников загрязнения согласно локальному критерию является несущественным.

Оценка локального (KL) и крупномасштабного (KM) воздействия сбросов возвратных вод на качество речной воды р. Дунай

Критерии оценки воздействия	Предприятия				
	Целлюлозно-картонный комбинат, г.Измаил	Килийский судостроительно-судоремонтный завод	КП "Свет" г. Килия	СХП Килийского района	ЧП "Витязь", г. Килия
KL	1,02	1	1	1	1
KM, %	0,028	0,00006	0,00140	0,00115	0,00085

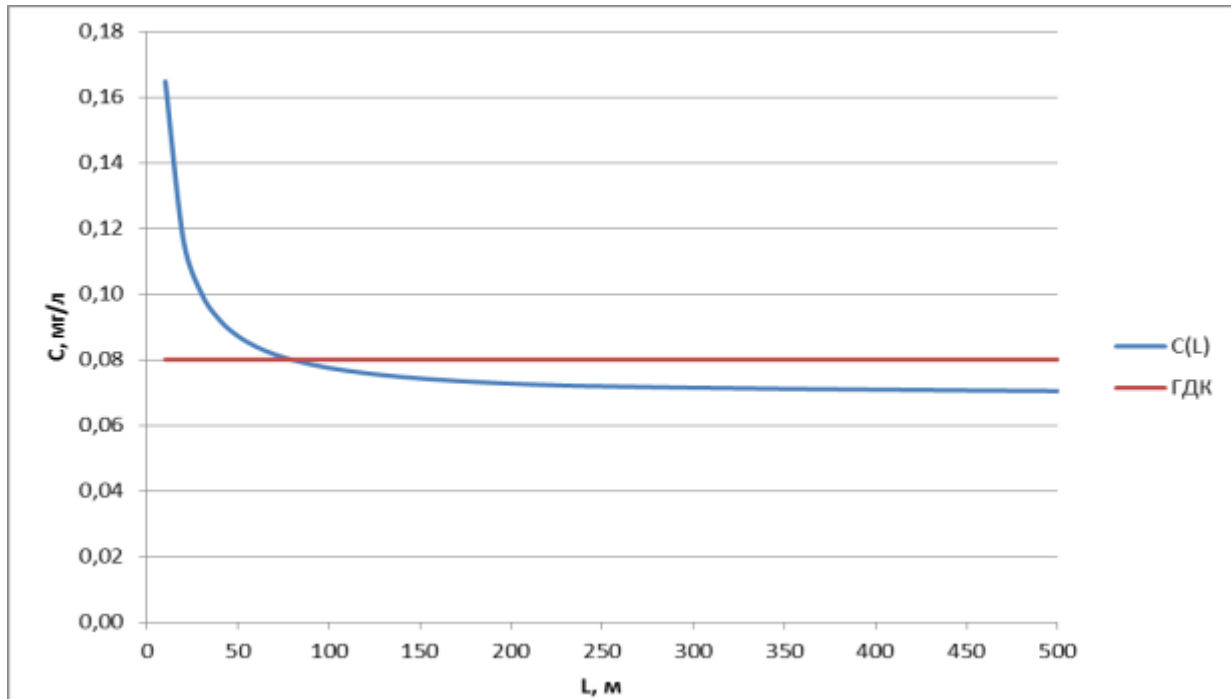


Рис. 1. Зависимость концентрации нитритов в р. Дунай $C(L)$ от расстояния от выпуска сточных вод ЦКК (L)

Для уменьшения влияния сбросов сточных вод представляется целесообразным организация мероприятий по дополнительной очистке сточных вод. В первую очередь это касается КП «Свет» г. Килия, где в настоящее время отсутствует биологическая очистка. Таким мероприятием может выступать экологически безопасное и экономически доступное локальное сооружение – дисковый биореактор, который представляет собой биологический блок полупогружных вращающихся носителей с иммобилизованным консорциумом микробиоценоза [7]. За счет использования иммобилизованного биоценоза, который трансформирует органические и неорганические соединения азота и может включать аммонификаторы, аммонийокисляющие археи (АОА), нитрификаторы I и II фазы (НОБ), аэротокс-бактерии и денитрифицирующие микроорганизмы [8], реактор может очищать сточные воды с высокими концентрациями загрязняющих веществ, при этом активный ил не выносится из сооружения, в отличие от сооружений со свободно плавающим биоценозом.

Простота конструкции и эксплуатации, а также проведение полного цикла очистки сточных вод от органических веществ и соединений азота в одной емкости, является экономным вариантом сооружений.

В результате очистки сточных вод в биореакторе эффективность удаления аммонийного азота составляет 98,9%, общего азота – 74–83%, фосфатов – 43–50%, органических веществ по ХПК – до 98%.

Предложенная технология может быть применена для локальной очистки сточных вод, содержащих высокие концентрации минеральных форм азота и фосфора, на предприятиях средней и малой мощности (до 100 м³/сут), например, пищевой, химической, сельскохозяйственной промышленности [9].

Выводы

1. По критерию локального влияния на качество воды в р. Дунай основным источником загрязнения со стороны Украины является сброс сточных вод ЦКК г. Измаил. Влияние данного сброса является существенным, однако незначительным; коэффициент загрязненности в контрольном створе на расстоянии 50 м от выпуска составляет 1,02. Повышенное значение критерия KL ($KL > 1$) в контрольном створе ЦКК связано с высокой фоновой концентрацией нитритов. Концентрация нитритов в контрольном створе на расстоянии 50 м от выпуска превышает ПДК более, чем на 10%.

2. Влияние остальных источников загрязнения по локальному критерию является несущественным

вследствие высоко разбавления возвратных вод речными водами; коэффициент загрязненности в контрольном створе равен 1.

3. По критерию крупномасштабного влияния существенное влияние, кроме сброса сточных вод ЦКК, оказывают также сброс сточных вод КП «Свет» г. Килия и сброс коллекторно-дренажных вод СХП Килийского района. Влияние КП «Свет» обусловлено относительно высокими концентрациями в сточных водах азота аммонийного, органических веществ (по БПК-5), хлоридов и сульфатов; влияние сброса коллекторно-дренажных вод СХП Килийского района – хлоридов и сульфатов.

4. Рекомендованы мероприятия для точечных источников загрязнения по локальной очистке сточных вод, содержащих высокие концентрации соединений азота, фосфора и растворенных органических веществ по ХПК. В их роли могут выступать дисковые биореакторы с иммобилизованным микробиоценозом.

Литература

1. Water Quality in the Danube River Basin – 2006, ed. I. Liška. ICPDR – International Commission for the Protection of the Danube River. TNMN – Yearbook: Vienna, 2006. 39 p.

2. Кресін В. С. Критерії оцінки впливу точкових джерел забруднення на стан морського середовища Азовського моря / В. С. Кресін, В. В. Брук, В. О. Баранік // Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки : зб. наук. пр. / УкрНДІЕП. – Х. : Факт, 2004. С. 66–78.

3. Utkina K., Kresin V., Brook V., Lisnyak A. Integrated criteria for ranking Black Sea land-based point pollution sources. *Folia geographica*. 2017. Volume 59, No. 2. P. 35–49.

4. КНД 211.1.1.106-2003. Організація та здійснення спостережень за забрудненням поверхневих вод (в системі Мінекоресурсів). – Київ : Мінекоресурсів України, 2003. – 64 с.

5. Белогуров В.П. Применение коэффициента загрязненности для оценки состояния водных объектов / В.П. Белогуров, В.Ю. Бакланова // Технологический аудит и резервы производства. – 2015. – № 1/4(21). – С. 17–19.

6. Баранник В. А. Расчет локального влияния сосредоточенного выпуска сточных вод на качество воды водоема / В. А. Баранник, В. С. Кресин // Водоохранные комплексы речных бассейнов : сб. научн. тр. – Харьков : ВНИИВО. 1985. – С. 101–106.

7. Словник нормативних термінів і визначень у галузі охорони і використання вод. – Х. : УкрНЦОВ, 1992. – 92 с.

8. Matsak A., Tsytlivshvili K., Rybalova O. Method of agricultural sewage water purification at troughsand a biosorption bioreactor. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. (95). p. 16–25. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.144138. ISSN 1729-3774 5/10

9. Каллистова А. Ю. Роль анаммокс-бактерий в очистке сточных вод от соединений азота / А. Ю. Каллистова, А. Г. Дорофеев, Ю. А. Николаев, М. Н. Козлов // Микробиология. – 2016. – Том 85, № 2. – С. 126–144.

10. Шувалов Р.М. Результаты сравнения технологических показателей при выборе типа биореактора для очистки сточных вод малых населенных пунктов / Р.М. Шувалов // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. – 2011. – № 2. – С. 88–96.

References

1. Water Quality in the Danube River Basin – 2006, ed. I. Liška. ICPDR – International Commission for the Protection of the Danube River. TNMN – Yearbook: Vienna, 2006. 39 p.

2. Kresin V. S. Kryterii otsinky vplyvu tochkovykh dzherel zabrudnennia na stan morskoho seredovyscha Azovskoho moria / V. S. Kresin, V. V. Bruk, V. O. Baranik // Problemy okhorony navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha ta ekolohichnoi bezpeky : zb. nauk. pr. / UkrNDIEP. – Kh. : Fakt, 2004. S. 66–78.

3. Utkina K., Kresin V., Brook V., Lisnyak A. Integrated criteria for ranking Black Sea land-based point pollution sources. *Folia geographica*. 2017. Volume 59, No. 2. P. 35–49.

4. KND 211.1.1.106-2003. Orhanizatsiia ta zdiisnennia sposterezhen za zabrudnenniam poverkhnevnykh vod (v systemi Minekoresursiv). – Kyiv : Minekoresursiv Ukrainy, 2003. – 64 s.

5. Belogurov V.P. Primenenie koefficienta zagryaznennosti dlya ocenki sostoyaniya vodnykh obektov / V.P. Belogurov, V.Yu. Baklanova // Tehnologicheskij audit i rezervy proizvodstva. – 2015. – № 1/4(21). – S. 17–19.

6. Barannik V. A. Raschet lokalnogo vliyaniya sosredotochennogo vypuska stochnykh vod na kachestvo vody vodoema / V. A. Barannik, V. S. Kresin // Vodoohrannnye komplekсы rechnykh bassejnov : sb. nauchn. tr. – Harkov : VNIIVO. 1985. – S. 101–106.

7. Slovnyk normatyvnykh terminiv i vyznachen u haluzi okhorony i vykorystannia vod. – Kh. : UkrNTsOV, 1992. – 92 s.

8. Matsak A., Tsytlivshvili K., Rybalova O. Method of agricultural sewage water purification at troughsand a biosorption bioreactor. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. (95). p. 16–25. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.144138. ISSN 1729-3774 5/10

9. Kallistova A. Yu. Rol anammoks-bakterij v ochistke stochnykh vod ot soedinenij azota / A. Yu. Kallistova, A. G. Dorofeev, Yu. A. Nikolaev, M. N. Kozlov // Mikrobiologiya. – 2016. – Tom 85, № 2. – S. 126–144.

10. Shuvalov R.M. Rezultaty sravneniya tehnologicheskikh pokazatelej pri vybore tipa bioreaktora dlya ochistki stochnykh vod malych naselennykh punktov / R.M. Shuvalov // Vestnik SGASU. Gradostroitelstvo i arhitektura. – 2011. – № 2. – S. 88–96.

Рецензія/Peer review : 4.1.2020 р. Надрукована/Printed : 14.1.2020 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

ОЧИЩЕННЯ ВУГЛЕВОДНЕВИХ СУМІШЕЙ ЗА ДОПОМОГОЮ ГРАНУЛЬОВАНИХ СОРБЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Отримано гранулят на основі сапонітової глини з різним часом та температурою спікання. Показано, що гранулювання покращує міцнісні і фільтраційні характеристики природних сорбентів, збільшуючи швидкість фільтрації та тривалість фільтроциклу. Досліджено вплив процесу гранулювання на сорбційні властивості отриманих гранульованих алюмосилікатів. Проведено детальний вуглеводневий аналіз стартового бензину А-92. Газохроматографічно оцінено склад очищених зразків вуглеводневої суміші за допомогою сапонітового грануляту у статичних (ОЧ=94,013 за дослідницьким методом) та динамічних умовах.

Ключові слова: глинистий мінерал, кислотна активація, гранулят, вуглеводнева суміш, октанове число.

A.Y. HANZIUK

Khmelnitsky National University

PURIFICATION OF HIDROCARBON MIXTURES BY MEANS OF GRANULAR SORPTION MATERIALS

Their drawback can be explained by the high cost and regeneration complexity. That is why the usage of natural sorbents (Tashkiv saponite deposits, Khmelnytskyi region). They are able to clean contaminated water from colloidal, molecular and ionic substances. Exploring the specified topic, physicochemical properties of various forms of saponites are studied; the area of their usage is defined. The paste for cleaning contaminated surfaces is developed on their basis. The research results have shown that the most effective method is to use natural saponite. The author of the article advises to conduct preliminary acid activation of clay minerals and modification of its surface multivalent metal salts. Saponite clay granulate is obtained with different time and sintering temperature. Granulation is shown to improve the strength and filtration characteristics of natural sorbents, increasing the filtration rate and the duration of the filter cycle. The influence of the granulation process on the sorption properties of the obtained granulated aluminosilicates is investigated. A detailed hydrocarbon analysis of the A-92 starting gasoline is carried out. The composition of the purified samples of the hydrocarbon mixture is evaluated with gas chromatography using saponite granulate (Octane rating = 94,013 according to the method of research) under static conditions. The structure changes of raw and acid activated saponite clay has been investigated by nitrogen adsorption method and scanning electron microscopy. Established that the porous structure of saponite clay mineral represented by micro-meso porous system with domination of micropores. Acid modification promotes the development of specific surface area (from 47,7 m²/g to 177,9 m²/g) and increase the total volume of pores (from 0,134 cm³/g to 0,201 cm³/g).

Keywords: clay mineral, acid activation, granulate, hydrocarbon mixture, octane number.

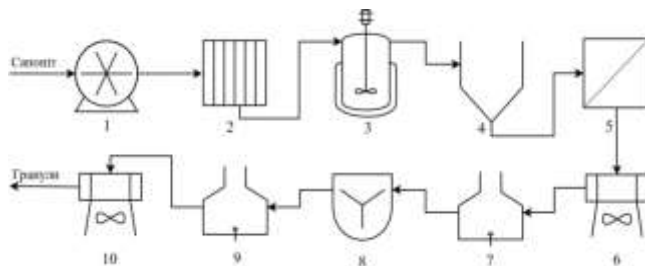
Одним із шляхів зниження токсичних викидів автотранспорту є введення миючих присадок в автомобільні бензини, так як утворення відкладень у впускній системі двигуна і особливо в карбюраторі, призводить до падіння потужності і погіршення економічності його роботи, зростанню токсичності відпрацьованих газів, особливо в режимах холостого ходу і на малих обертах (умови міської їзди). Шляхом підтримки в чистоті паливної системи миючі присадки сприяють зниженню вмісту оксидів вуглецю і незгорілих вуглеводнів у відпрацьованих газах. В ряді нафтопереробних підприємств здійснюється організація виробництва автомобільних бензинів з миючими присадками і з поліпшеними екологічними властивостями [4–8]. Фільтри, які використовуються для очищення палива, складаються з корпусу і розміщеного в ньому фільтруючого елемента. Їх класифікують за призначенням, конструкцією, місцем установки, принципом роботи, тонкощами відсіву, способом регенерації. За місцем установки розрізняють: штатні фільтри, що встановлюються на двигуні, і шляхові, що встановлюються в системі підготовки палива в двигун, а також фільтри бункерувальних баз, що встановлюються для очищення палива на цих базах. За типом фільтруючого елемента виготовляють фільтри: щільні (пластинчасті, стрічкові, дротяні), сітчасті, тканинні, з волокнистих матеріалів (фетрові, з бавовняної пряжі, тощо), паперові, картонні, металокерамічні, пластмасові. За способом затримання забруднення розрізняють поверхневі і об'ємні фільтри. Поверхневі фільтри затримують забруднення на поверхні тонкошарового фільтруючого матеріалу. У них велика площа поперечного перетину на вході палива. У цих фільтрах використовують папір, картон, тканини, сітки, а також матеріали, за допомогою яких утворюються щільні, через які фільтрується паливо. В об'ємних фільтрах забруднення затримуються як на поверхні фільтруючого матеріалу, так і в усьому його об'ємі. У них невелика площа і поверхня входу, і досить велика товщина фільтруючого матеріалу (понад 20 мм). В якості фільтруючого матеріалу в об'ємних фільтрах використовують товстий картон, прядиво, металокераміку, пластмаси. Об'ємні фільтри, завдяки різним розмірам пористої структури матеріалу, можуть затримувати частинки різного розміру. Недолік фільтрів, зроблених з волокнистих або зернистих матеріалів з нефіксованою пористою структурою – здатність утворювати наскрізні канали, через які може проходити значна кількість палива з невеликим ступенем очищення. Серед методів, які успішно використовуються для очищення вуглеводневих сумішей, найбільш перспективним є сорбційна очистка на основі природних сорбентів. Це пов'язано, по-перше, з дешевизною і доступністю природних мінералів, що дозволяє їх одноразово використовувати, по-друге, природні алюмосилікати, на відміну від смол, характеризуються підвищеною вибірковістю, як до катіонів металів, так і до органічних барвників, парафінів, ароматичних сполук. Але, незважаючи на вище наведені переваги, природні алюмосилікати

мають невисоку сорбційну ємність і недостатню механічну міцність, а тому їх фільтраційні характеристики низькі, і використання у динамічному режимі при високих навантаженнях є утрудненим [1, 11]. Розв'язання комплексної проблеми по покращенню механічних властивостей природних алюмосилікатних сорбентів і підвищення їх обмінної ємності в результаті різних методів попередньої підготовки є актуальною задачею. Як один із варіантів покращення технологічних і сорбційних характеристик природних алюмосилікатів є переведення їх в гранульовану форму.

Предмет дослідження: гранульований сорбційний матеріал на основі сапонітової глини Ташківського родовища Хмельницької області.

Об'єкт дослідження: сорбційні процеси очищення вуглеводневих сумішей з використанням гранульованих сорбентів на основі природних алюмосилікатних мінералів.

Природні сорбційні мінерали на основі смектитових глин є перспективними матеріалами для очищення вуглеводневих сумішей. Однак, їх схильність до пептизації, і недостатня механічна міцність, обумовлює їх швидкий розпад при використанні у динамічних умовах. Одним із шляхів покращення механічних і сорбційно-кінетичних характеристик сорбентів, є їх гранулювання. Найбільш ефективним методом визнано гранулювання прес-формуванням, яке дає можливість отримати міцні і однорідні гранули визначеної форми і розмірів. За результатами проведених досліджень запропонована технологічна схема отримання гранульованого сапоніту (рис. 1), що використовувалась при виробництві дослідних лабораторно-промислових партій. Схема отримання мінерального сорбційного матеріалу складається з десяти послідовних операцій. Сапонітова порода надходить із кар'єра і піддається попередньому просушуванню, подрібнюється до порошкоподібного стану 1, після цього порошок просіюють на ситах 2 і для подальшого використання відбирають фракції розміром менше 1 мм. Далі проводять активацію сульфатною кислотою у реакторі інтенсивного перемішування 3. Після цього тверду фазу відокремлюють від розчину активатора у відстійнику 4 і промивають теплою водою у фільтрі 5. Матеріал сушать у сушарці-конвеєрі при кімнатній температурі 6. Для отримання вторинної пористості у сушарці 7 проводять термообробку при температурі 100 °С протягом двох годин. Надання форми здійснюють у грануляторі 8. Сформований матеріал спікають у печі 9 при температурі 700 °С протягом двох годин. Після цього отриманий сорбційний матеріал охолоджують до кімнатної температури на сушарці (конвеєрі) 10 [1–7].



1 – млин; 2 – сита; 3 – реактор; 4 – відстійник; 5 – фільтр;
6 – сушарка (конвеєр); 7 – сушарка; 8 – гранулятор;
9 – піч для спікання гранул; 10 – сушарка (конвеєр)

Рис. 1. Апаратно-технологічна схема отримання сорбційного матеріалу на основі сапоніту

експериментально таким чином, щоб забезпечувалась достатня пластичність і формостійкість суміші. Масовий вміст рідкої складової підтримували на рівні 35%. Суспензію перемішували на протязі 10–15 хвилин, так як ступінь однорідності підготованої суміші суттєво впливає на властивості кінцевого продукту, готували напівфабрикат, продавлюючи підготовлену масу через філь'єри певної форми і розмірів (діаметром 1 мм) методом екструзії. Цей метод є простим та економічним, який забезпечує отримання достатньо пористих і міцних гранул. Сушіння напівфабрикату необхідне для закріплення його форми і зниження вмісту рідкого технологічно зв'язуючого. Сушіння гранул здійснювали при кімнатній температурі (17 °С) протягом 1 доби. Обпалювання перетворює напівфабрикат в готовий виріб, що слугує місцем ущільненню гранул. Температуру і час обпалювання підбирали експериментально, що знаходились в межах від 1 до 4 год, а температура від 100 до 700 °С. Режим конвективної обробки – температура і тривалість нагріву – мають велике значення, так як кінцевий продукт повинен бути не тільки механічно міцним, але й володіти достатньо високою сорбційною здатністю. Вибір температури базується на даних термічного аналізу, досліджуваного сапоніту. Деякі глинисті матеріали достатньо активні в природному середовищі, але більшу частину з них доцільно активувати хімічним або термічним способом для збільшення і регулювання їх пористої структури, зміни хімічної природи поверхні. Різні способи модифікації природних матеріалів дають можливість отримувати сорбенти, які володіють специфічними сорбційними властивостями відносно широкого спектра органічних і неорганічних речовин. Найбільш простим способом, що не вимагає додаткових реагентів і складного апаратного оформлення, є термічне модифікування різних матеріалів, які характеризуються підвищеними сорбційними властивостями щодо різних органічних і неорганічних речовин. Оптимальна температура активації глинистих матеріалів, за якої найбільшою мірою проявляються їх адсорбційні, вибілювальні та каталітичні властивості, залежить від мінералогічного складу сорбенту, місця розташування його родовища тощо. Тому умови термічної активації мінеральних сорбентів для кожного виду і родовища визначають дослідним шляхом. Більшість дослідників відзначили, що

У ході роботи, для реалізації та вирішення поставленої задачі, було отримано декілька видів зразків гранульованого сапоніту. Проте гранулювання сорбційного матеріалу провели в різних умовах, які підбрали експериментально, а саме при часі спікання гранул від 1 до 3 год, та температурі від 200 до 700 °С.

Мелений сапонітовий концентрат, який використали в якості вихідної сировини, містив 90% частинок розміром 1 мм. Об'ємне співвідношення між сапонітовим концентратом і водою, підбирали

температури активації коливаються у межах від 200 °С до 700 °С. Зміна сорбційних властивостей глин при їх термічній активації обумовлена, в першу чергу, з виділенням вологи, яка зв'язана з мінеральними та іншими частинами зразків. У численних дослідженнях були надані різні класифікації форм води, яка зв'язана глинами, ґрунтами та іншими дисперсними системами. Однак, до цього часу немає єдиної думки щодо цього питання. Якщо збільшення сорбції глин до визначеної температури пов'язують з термодесольватацією або видаленням капілярної вологи, то зменшення сорбційної здатності пояснюють хімічними процесами: розкладом мінералів, які входять до складу глин, підвищенням лужності сорбенту, спіканням частинок сорбенту. Процеси десольватації і видалення капілярної вологи при термічній обробці глин, в результаті якої збільшується його пористість, відбуваються, як відзначає більшість дослідників, при температурі від 120 до 200 °С, а спікання від 400 до 700 °С

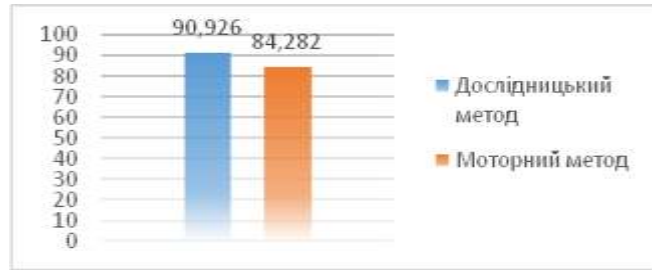


Рис. 2. Показники октанового числа за дослідницьким та моторним методами стартowego бензину марки А-92



Рис. 3. Відсотковий масовий вміст вуглеводнів в очищених вуглеводневих сумішах з використанням кислотно-активованого сапонітового грануляту

Очищення бензину А-92 (Укрнафта) проводили таким чином: зразки термічно та кислотно-активованого грануляту на основі сапоніту, подрібнили на фракції з розміром від 0,3 до 0,5 мм. Наважку отриманого грануляту масою 1, 25 г залили 5 мл вуглеводневої суміші. Перемішування суспензії проводили за допомогою ультразвуку на протязі 5 хв; центрифугували 2 хв, з верхнього шару суспензії відбирали очищену пробу та хроматографували. Отримані результати обробляли у програмі «GAZOLIN». Результати хроматографічного дослідження вуглеводневої суміші, наведено на рисунку 2, у вигляді стовпчикової діаграми.

Газохроматографічні дослідження зразків очищених вуглеводневих сумішей за допомогою грануляту сорбційного матеріалу на основі сапоніту, провели у статичному та динамічному режимах [12]. У статичному режимі дослідили сорбційну здатність до вуглеводневих сумішей з використанням різних гранульованих форм смектитової глини. Завдяки попереднім дослідженням, обрано зразок грануляту, який максимально збільшив октанове число і не суттєво вплинув на показники тиску насиченої пари. А тому, подальші дослідження, але вже у динамічному режимі провели лише з зразком гранульованого сапоніту ($\tau=1$ год, $T=400$ °С), який показав очікувані результати у статичному режимі. Детальний відсотковий масовий вміст вуглеводнів очищених за допомогою грануляту на основі сапоніту (при різній тривалості та температурі спікання), який досліджено хроматографічно, зображено на рисунку 3, у вигляді кругових діаграм.

В умовах динамічного режиму вуглеводневу суміш очистили гранулятом природного сапоніту з використанням перистальтичного насоса марки НП-1М. Фракції гранул природного сапоніту (при $\tau=1$ год, $T=400$ °С) діаметром 0,200-0,315 мм, та масою наважки в межах від 1,3 до 1,7 г, помістили в концентрувальний патрон. Далі через нього пропустили вуглеводневу суміш з швидкістю 4, 5, 6 та 7 мл/хв. Проскок нафтопродуктів, при якому фіксували максимальне значення октанового числа, визначили за допомогою хроматографічного дослідження, де в програмі «GAZOLIN» обробляли результати. Основні фізико-хімічні показники очищеної вуглеводневої суміші, з використанням природного грануляту ($\tau=1$ год, $T=400$ °С) та показники октанового числа за дослідницьким та моторним методами наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Основні фізико-хімічні показники очищеної вуглеводневої суміші та показники октанового числа у динамічному режимі

№	Зразок очищеної вуглеводневої суміші	Швидкість пропускання вуглеводневої суміші, мл/хв	Середня молекулярна маса, г/моль	Середня густина, г/см ³	Тиск насиченої пари, кПа	Октанове число	
						ДОЧ	МОЧ
1	Бензин очищений гранулятом природного сапоніту ($\tau=1$ год, $T=400$ °С)	4	105,050	0,776	60,418	88,662	84,114
2		5	103,894	0,767	56,217	96,337	81,997
3		6	101,059	0,758	69,882	90,292	83,231
4		7	101,225	0,761	73,812	89,802	83,076

Показники октанового числа бензину марки А-92, очищеного природним сапонітом у динамічному режимі, при пропусканні суміші через концентрувальний патрон зі зміною швидкістю від 4 до 7 мл/хв, наведені на рисунку 4.

Проаналізувавши результати масового відсоткового вмісту вуглеводнів, після очищення у динамічному режимі з використанням досліджуваного грануляту, констатовано, збільшення відсоткового масового вмісту парафінів, ізопарафінів, нафтенів та оксигенатів, проте вміст ароматичної складової та олефінів, навпаки, зменшується.

Фактично, суттєвий внесок у зростання октанового числа вносять оксигенати та ароматичні сполуки. Можливо, за рахунок збільшення пористості структури глини після впливу температури та агресивної дії кислоти, сапонітовий мінерал адсорбував ароматичні та олефінові складові досліджуваних зразків бензинів. Сорбція олефінів призвела до того, що вуглеводнева суміш менше піддається впливу окиснення. А зростання вмісту парафінів, ізопарафінів, нафтенів та оксигенатів відбулось, ймовірно, за рахунок часткової ізомеризації та циклізації вуглеводнів.

За допомогою газохроматографічного дослідження вдалося зафіксувати проскок нафтопродуктів, а саме максимальне значення октанового числа. При швидкості пропускання вуглеводневої суміші – 5 мл/хв, октанове число за дослідницьким методом складає 96,337, а моторним – 81,997. Але уже при пропусканні нафтопродукту через концентраційний патрон зі швидкістю 6-7 мл/хв, октанове число зменшувалось, а тому проскоком прийняли оптимальну швидкість 5 мл/хв. Проте, октанові числа (за дослідницьким та моторним методами) інших зразків очищеного бензину природним гранулятом сапонітової глини показали відносно нижчі показники в порівнянні з стартовим бензином А-92. Показники відносної середньої густини та тиску

насиченої пари становлять, відповідно 0,767 г/см³ та 56,217 кПа. Тобто при очищенні у динамічному режимі вище наведені значення змінилися в межах норми [5, 6].

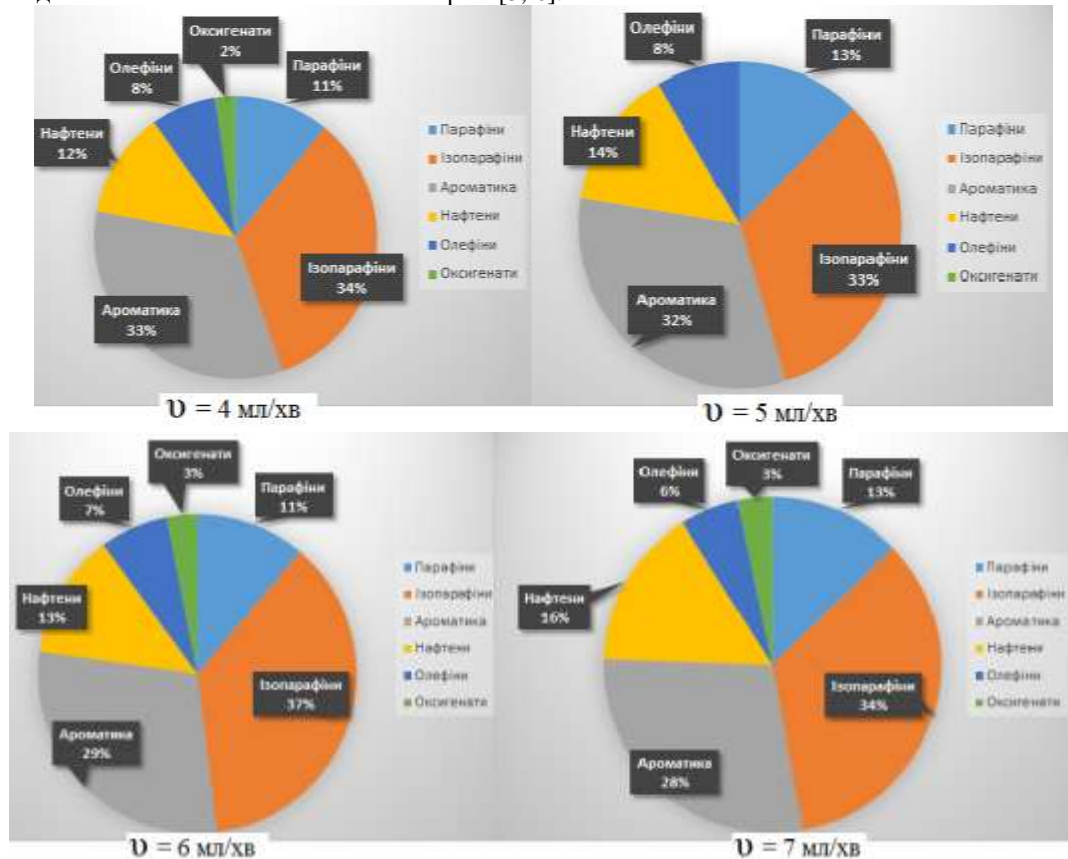


Рис. 4. Відсотковий масовий вміст вуглеводнів у зразках очищеного бензину А-92 при різних швидкостях пропускання вуглеводневої суміші

Експлуатаційні властивості сапонітового грануляту характеризують можливість використовувати його у визначених цілях. Ці властивості визначаються спеціальними випробуваннями залежно від умов проведення досліджень. До основних експлуатаційних властивостей гранульованого сапоніту, в першу чергу, слід віднести стійкість та міцність гранул у бензині протягом певного проміжку часу, водостійкість та нафтоємність.

Паралельно виконали два експерименти, різниця яких полягала в тому, що дані дослідження провели на проміжку різного часу, а саме: протягом трьох тижнів та 5 місяців. Проби зразків природного гранульованого сапоніту ($\tau=3$ год, $T=700$ °С та $\tau=1$ год, 400 °С) масою наважки 1 г, заливали вуглеводневою сумішшю. Далі оцінювали органолептичні показники, а саме зміну міцності гранул та кольору суспензії на основі сапоніту.

Так як нафтопродукти мають здатність швидко окиснюватись, то сорбційний матеріал на основі гранул сапоніту може запобігти даному процесу, в першу чергу, призупинити окиснення таких вуглеводнів, як олефіни та оксигенати. Цим і пояснюється зменшення октанового числа під час очищення нафтопродукту на протязі 21 дня, але під час очищення бензину тривалістю 5 місяців октанове число зростає, що говорить

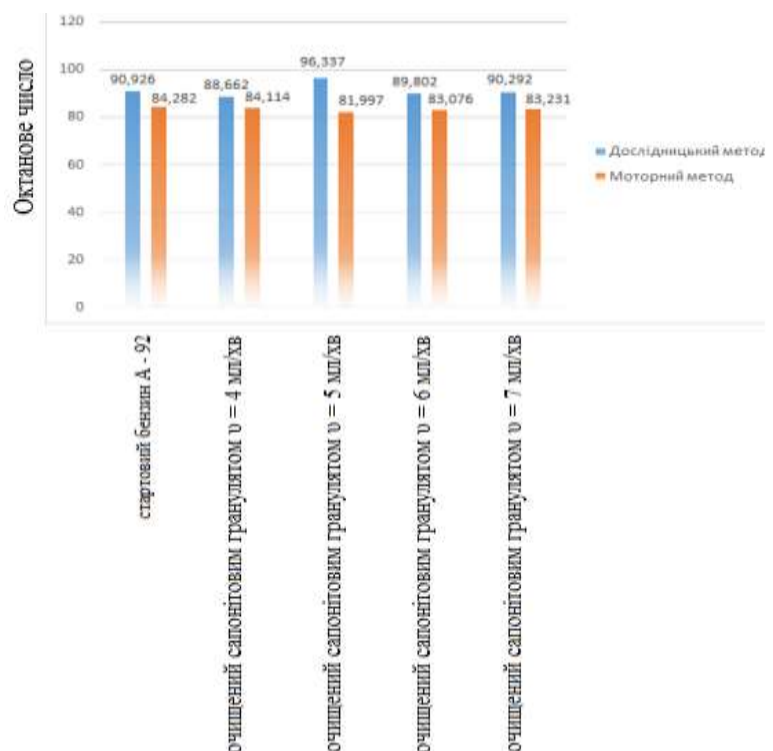


Рис. 5. Показники октанового числа за дослідницьким та моторним методами, стартового бензину А-92 та очищеного за допомогою сапонітового грануляту у динамічному режимі

про те, що в системі сапоніт-вуглеводнева суміш проходять самочинні процеси десорбції вуглеводнів з міжшарового простору смектитової глини у суспензію.

Таблиця 2

Основні фізико-хімічні показники та показники октанового числа

№	Зразок очищеної вуглеводневої суміші	Середня молекулярна маса, г/моль	Відносна середня густина, г/см ³	Тиск насиченої пари, кПа	Октанове число	
					ДОЧ	МОЧ
1	Бензин, очищений гранулятом природного сапоніту (τ=1 год, T=400 °C; очищення протягом 21 дня)	105,050	0,776	60,418	88,662	84,114
2	Бензин, очищений гранулятом природного сапоніту (τ=3 год, T=400 °C, очищення протягом 5 місяців)	106,985	0,781	46,143	92,138	79,356

Для дослідження водостійкості сапонітового грануляту паралельно провели два досліди. Для цього, наважки гранул смектитової глини (τ=1 год, 400 °C) залили 100 мл води. Один із зразків кипів протягом 3 хв, інший залишили при кімнатній температурі, періодично помішуючи. Через деякий час вміст суспензій ретельно ще раз перемішали та відфільтрували через фільтрувальний папір та висушили до постійної маси. У двох випадках сапонітові гранули, які знаходились при кімнатній температурі та які піддавались кипінню, утворили суспензії, оскільки смектитова глина є гідрофільним сорбційним матеріалом, який характеризується низькою водостійкістю. Після висушування до постійної маси досліджуваних зразків смектитової глини, їх зважили, отримавши відповідно такі значення 2,483 г та 2,310 г.

Таблиця 3

Показники водостійкості отриманого грануляту

№	Зразок сорбційного матеріалу	Маса наважки гранульованого сапоніту, г	Температура водного розчину, °C	Водостійкість грануляту, %	Спостереження
1	Гранулят природного сапоніту	3,030	100	76,3	суспензія, змінила колір з коричневого на цегляний
2	(τ=1 год, T=400 °C)	3,048	18	81,5	колір суспензії не змінився

А це означає, що для отримання водостійких гранул природного сапоніту, доцільно було б наповнити їх полімерним матеріалом [3, 4].

Сорбційна нафтоємність оцінюється як відношення маси поглинутого нафтопродукту до маси сорбенту. Основними вимогами до сорбентів нафти є плавучість і водопоглинання. Для проведення дослідів, обрали два зразки сорбційного матеріалу, один з яких показав кращі результати у попередніх дослідженнях, а інший – природний гранулят на основі сапоніту: при τ=1 год, T=400°C та при τ=2 год, T=400 °C. Визначення нафтоємності сорбентів провели таким чином: у колбу налили 40 мл нафтопродукту і внесли відому кількість сорбенту (0,4 г) різної активації та ступеня дисперсності. Сорбція відбувалась протягом 5, 10, 30, 60, 120 хв. Потім сорбент зважили і оцінювали нафтоємність як відношення маси поглинутого нафтопродукту до маси сорбенту. Результати визначення нафтоємності та маса поглинутого бензину А-92 представлені у таблицях 4 та 5.

Таблиця 4

Показники нафтоємності сорбентів

Зразок сорбенту	Нафтоємність по бензину (г/г), хв				
	5	10	30	60	120
Гранулят природний (τ=1 год, T=400°C)	0,0686	0,0770	0,0782	0,0873	0,0963
Гранулят природний	0,0705	0,0745	0,0795	0,0831	0,0964

($\tau=2$ год, $T=400^{\circ}\text{C}$)					
--	--	--	--	--	--

Таблиця 5

Маса поглинутого бензину А-92 гранулами смектитової глини

Зразок сорбенту	Маса поглинутого бензину, г (хв)				
	5	10	30	60	120
Гранулят природний ($\tau=1$ год, $T=400^{\circ}\text{C}$)	0,032	0,034	0,037	0,042	0,045
Гранулят природний ($\tau=2$ год, $T=400^{\circ}\text{C}$)	0,03	0,035	0,038	0,041	0,043

Залежність маси поглинутого бензину від часу сорбції, наведено на рисунку 6, у вигляді точкової діаграми.

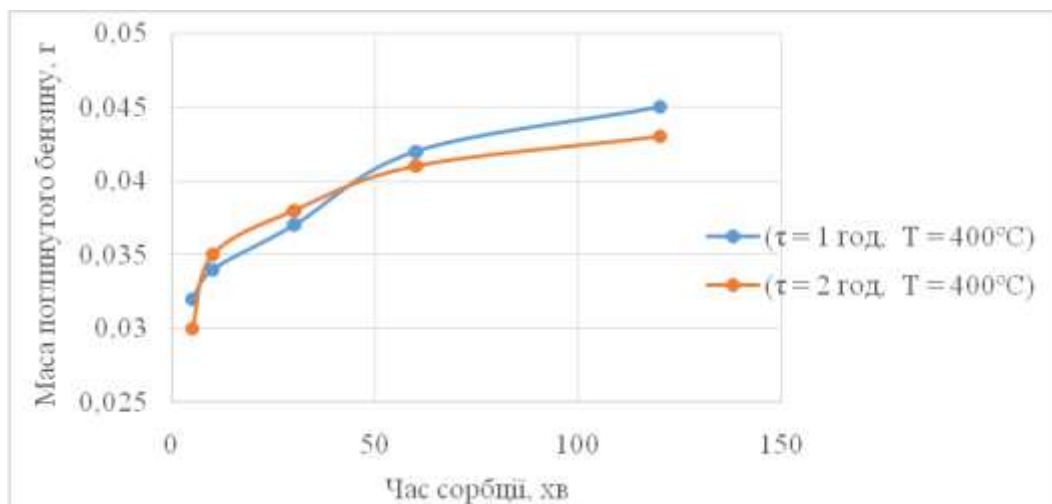


Рис. 6. Залежність маси поглинутого бензину А-92 від часу сорбції

Таким чином, досліджено, що кращий результат за нафтоємністю отримав зразок гранульованого сапоніту при $\tau=1$ год та $T=400^{\circ}\text{C}$. Виходячи з отриманих результатів, можна зробити висновок, що маса поглинутого нафтопродукту зростає залежно від часу сорбції, разом із тим зростає і нафтоємність. Проте, якщо надалі збільшити тривалість сорбції, то процес поглинання вуглеводнів буде спадати, або ж взагалі досягне максимуму, оскільки сорбент своїми порами перестане поглинати складові нафтопродукту [9–14].

Висновки

Отримано гранулят на основі сапонітової глини з різним часом та температурою спікання. Показано, що гранулювання покращує міцнісні і фільтраційні характеристики природних сорбентів, збільшуючи швидкість фільтрації та тривалість фільтроциклу. Досліджено вплив процесу гранулювання на сорбційні властивості отриманих гранульованих алюмосилікатів. Проведено детальний вуглеводневий аналіз стартового бензину А-92. Показано, що основні показники вуглеводневої суміші знаходяться в межах норми, незначні похибки вимірювань зумовлені впливом зовнішніх факторів під час проведення дослідження. Газохроматографічно оцінено склад очищених зразків вуглеводневої суміші за допомогою сапонітового грануляту в статичних ($\text{ОЧ}=94,013$) та динамічних умовах. Отримано нові композиційні сорбенти на основі розробленого гранульованого носія для очищення вуглеводневих сумішей в статичних і динамічних умовах.

Література

1. Sokol H. Structural, Mineral and elemental composition features of iron-rich saponite clay from Tashkiv deposit (Ukraine) / H. Sokol, M. Sprynskyu, A. Ganzyuk // *Colloids and Interfaces*. – 2019. – № 3. – P. 10.
2. Сокол Г. М. Отримання гідрофобних органіномінеральних сорбційних матеріалів на основі сапоніту / Г. М. Сокол, А. Я. Ганзюк // *Наукові нотатки*. – 2017. – Вип. 58. – С. 288–294.
3. Сокол Г. М. Структурна модифікація сапонітових глин кислотною обробкою / Г. М. Сокол // *Наукові нотатки*. – 2017. – Вип. 56. – С. 149–153.
4. Ганзюк А. Модифікація сапонітових глин поверхнево-активними речовинами / А. Ганзюк, С. Карван, Г. Дейчук, Х. Ганзюк // *Вісник Львівського університету. Серія хімічна*. – 2015. – Вип. 56(1). –

C. 1.

5. Yeh J. M. Siloxane-modified epoxy resin–clay nanocomposite coatings with advanced anticorrosive properties prepared by a solution dispersion approach / J. M. Yeh, H. Y. Huang, C. L. Chen, W. F. Su, Y. H. Yu // *Surface and Coatings Technology*. – 2006. – № 200 (8). – P. 2753–2763.
6. He H. Changes in the morphology of organoclays with HDTMA and surfactant loading / H. He, R. L. Frost, T. Bostrom et al. // *Applied Clay Science*. – 2006. – № 31 (3). – P. 262–271.
7. Xi Y. Modification of the surfaces of Wyoming montmorillonite by the cationic surfactants alkyl trimethyl, dialkyl dimethyl, and trialkyl methyl ammonium bromides / Y. Xi, R. L. Frost, H. He // *Journal of Colloid and Interface Science*. – 2007. – № 305(1). – P. 150–158.
8. Лисичкин Г. В. Достижения, проблемы и перспективы химического модифицирования поверхности минеральных веществ. / Г. В. Лисичкин // *Журнал ВХО им. Д.И. Менделеева*. – 1989. – № 3. – С. 3–9.
9. Стремєцький О. І. Дослідження корозії низьковуглецевих сталей у водних розчинах в присутності сапоніту / О. І. Стремєцький, Г. М. Сокол // *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. – 2016. – № 5. – С. 38–42.
10. Сокол Г. М. Очищення нафтопродуктів та вилучення їх слідових кількостей з пожежного сміття за допомогою сорбційних матеріалів для подальшого дослідження хроматографічним методом / Г. М. Сокол, А. Я. Ганзюк, О. П. Шелестюк, О. М. Міщук // *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. – 2017. – № 1. – С. 87–94.
11. Експлуатаційні матеріали : методичні вказівки до лабораторних занять для студентів напрямку 6.070106 «Автомобільний транспорт» денної форми навчання / [уклад. Т. В. Фурс, О. Є. Сколозdra]. – Луцьк : Луцький НТУ, 2014. – 80 с.
12. Василечко В. Концентрування Sm(III) на закарпатському кліноптилоліті / В. Василечко, Г. Гришук, М. Вітер, Я. Каличак // *Вісник Львівського університету. Серія хімічна*. – 2016. – Вип. 57(1). – С. 232–241.
13. Ганзюк А. Я. Дослідження процесів очищення нафтопродуктів за допомогою активованих смектитових глин / А. Я. Ганзюк, Д. М. Вишнеvsька, Н. Л. Похило // *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. – 2019. – № 1. – С. 82–90.
14. Сокол Г. М. Структурна модифікація сапонітових глин кислотною обробкою / Г. М. Сокол // *Наукові нотатки : міжвузівський збірник наукових праць / Луцький національний технічний університет*. – Луцьк, 2017. – № 56. – С. 149–153.

References

1. Sokol H. Structural, Mineral and elemental composition features of iron-rich saponite clay from Tashkiv deposit (Ukraine) / H. Sokol, M. Sprynskyy, A. Ganzuyk // *Colloids and Interfaces*. – 2019. – № 3. – R. 10.
2. Sokol H. M. Otrymannia hidrofobnykh orhanomineralnykh sorbtsiinykh materialiv na osnovi saponitu / H. M. Sokol, A. Ya. Hanzuyk // *Naukovi notatky*. – 2017. – Vyp. 58. – S. 288–294.
3. Sokol H. M. Strukturna modyfikatsiia saponitovykh hlyn kyslotnoiu obrobkoiu / H. M. Sokol // *Naukovi notatky*. – 2017. – Vyp. 56. – S. 149–153.
4. Hanzuyk A. Modyfikatsiia saponitovykh hlyn poverkhnevo-aktyvnymy rehovynamy / A. Hanzuyk, S. Karvan, H. Deichuk, Kh. Hanzuyk // *Visnyk Lvivskoho universytetu. Serii khimichna*. – 2015. – Vyp. 56(1). – S. 1.
5. Yeh J. M. Siloxane-modified epoxy resin–clay nanocomposite coatings with advanced anticorrosive properties prepared by a solution dispersion approach / J. M. Yeh, H. Y. Huang, C. L. Chen, W. F. Su, Y. H. Yu // *Surface and Coatings Technology*. – 2006. – № 200 (8). – R. 2753–2763.
6. He H. Changes in the morphology of organoclays with HDTMA and surfactant loading / H. He, R. L. Frost, T. Bostrom et al. // *Applied Clay Science*. – 2006. – № 31 (3). – R. 262–271.
7. Xi Y. Modification of the surfaces of Wyoming montmorillonite by the cationic surfactants alkyl trimethyl, dialkyl dimethyl, and trialkyl methyl ammonium bromides / Y. Xi, R. L. Frost, H. He // *Journal of Colloid and Interface Science*. – 2007. – № 305(1). – R. 150–158.
8. Lisichkin G. V. Dostizheniya, problemy i perspektivy himicheskogo modifitsirovaniya poverhnosti mineralnykh veshstv. / G. V. Lisichkin // *Zhurnal VHO im. D.I. Mendeleeva*. – 1989. – № 3. – S. 3–9.
9. Stremetskyi O. I. Doslidzhennia korozii nyzkovuhletsevykh stalei u vodnykh rozchynakh v prysutnosti saponitu / O. I. Stremetskyi, H. M. Sokol // *Herald of Khmelnytskyi National University*. – 2016. – № 5. – S. 38–42.
10. Sokol H. M. Ochyshchennia naftoproduktiv ta vyluchennia yikh slidovykh kilkostei z pozhezhnoho smittia za dopomohoiu sorbtsiinykh materialiv dlia podalshoho doslidzhennia khromatohrafichnym metodom / H. M. Sokol, A. Ya. Hanzuyk, O. P. Shelestiuk, O. M. Mishchuk // *Herald of Khmelnytskyi National University*. – 2017. – № 1. – S. 87–94.
11. Експлуатаційні матеріали : методичні вказівки до лабораторних занять для студентів напрямку 6.070106 «Автомобільний транспорт» денної форми навчання / [уклад. Т. В. Фурс, О. Є. Сколозdra]. – Луцьк : Луцький НТУ, 2014. – 80 с.
12. Василечко В. Концентрування Sm(III) на закарпатському кліноптилоліті / В. Василечко, Н. Гришук, М. Вітер, Я. Каличак // *Вісник Львівського університету. Серія хімічна*. – 2016. – Вип. 57(1). – С. 232–241.
13. Ганзюк А. Я. Дослідження процесів очищення нафтопродуктів за допомогою активованих смектитових глин / А. Я. Ганзюк, Д. М. Вишнеvsька, Н. Л. Похило // *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. – 2019. – № 1. – С. 82–90.
14. Sokol H. M. Strukturna modyfikatsiia saponitovykh hlyn kyslotnoiu obrobkoiu / H. M. Sokol // *Naukovi notatky : mizhvuzivskyi zbirnyk naukovykh prats / Lutskiy natsionalnyi tekhnichnyi universytet*. – Lutsk, 2017. – № 56. – S. 149–153.

Рецензія/Peer review : 14.1.2020 р.

Надрукована/Printed : 16.2.2020 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

А.Л. ГАНЗЮК, О.В. КРАВЧУК, М.Б. ШАРШОНЬ,
А.І. ГОРДЕЄВ, В.О. ГОРОХОВСЬКИЙ
Хмельницький НДЕКЦ МВС України

СПЕЦІАЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ СТАТИЧНИХ ВИПРОБУВАНЬ КОРОТКО-КЛИНКОВОЇ ХОЛОДНОЇ ЗБРОЇ

Проаналізовано існуючі конструкції пристроїв для проведення статичних випробувань коротко-клинкової холодної зброї та виявлено їх недоліки. Для виконання досліджень за основними схемами вимірювання запропоновано універсальну переналагоджувальну конструкцію спеціального пристрою для проведення статичних випробувань коротко-клинкової холодної зброї. Розглянуто особливості роботи основних вузлів пристрою.

Ключові слова: коротко-клинкова холодна зброя, спеціальний пристрій, статичні випробування.

A.L. HANZYUK, O.V. KRAVCHUK, M.B. SHARZHON, A.I. HORDEEV, V.O. GOROKHOVSKY
Khmelnytskyi NDECTS of the MIA of Ukraine

SPECIAL DEVICE FOR CONDUCTING STATIC TESTING OF SHORT-CLINIC COLD WEAPON

The hallmark of any change in society is the saturation of its various weapons. It occurs both in the sphere of its legal and illicit trafficking. This fact could not but be reflected in the criminal situation in the country. The main danger lies in the quality characteristics of criminal offences committed. In criminal proceedings, forensic examination of cold weapons is important because, based on the conclusion of a judicial expert, the qualification of the suspect's actions is carried out and the presence of the crime in these actions is established. Belonging to a cold weapon is determined by the presence of the subject (device) in the test, the set of such common forensic features: the purpose for defeating the goal; fitness for repeated damage to the target. For short-blade objects, it is important to establish the suitability of the object for defeating the target, which is determined by the availability of technical security as separate elements, as well as the design as a whole, as well as the sufficiency of its affecting properties. Tests are conducted in accordance with the methodology of the three schemes. The existing designs of devices for static testing of short-blade cold weapons are analyzed and their drawbacks are revealed. To perform research on the main measurement schemes, a universal overlapping design of a special device for the static testing of short-blade cold weapons has been proposed. Features of the main units of the device are considered. A device for static testing of short-blade weapons allows to increase the convenience of measuring the deflection and residual deformation of short-blade weapons and to increase the accuracy of measurement of characteristics in static experimental studies to determine the suitability of short-blade objects to hit the target.

Keywords: short-blade cold weapon, special device, static tests.

Вступ

Відмітною ознакою будь-яких змін у суспільстві є насичення його різноманітною зброєю. Це відбувається як у сфері її легального обігу, так і в незаконному обігу. Даний факт не міг не відобразитися на криміногенній обстановці в країні. Основна небезпека криється у якійсь характеристикі вчинюваних кримінальних правопорушень.

Для кримінальних правопорушень, вчинених з використанням зброї, характерна особлива зухвалість: нерідко вони мають відкритий характер і частіше за все доводяться до логічного завершення. Низка небезпечних кримінальних правопорушень (убивств, розбійних нападів та ін.) вчиняється із застосуванням зброї або інших предметів, що використовуються як зброя. Особливу небезпеку являють кримінальні правопорушення проти особи, при вчиненні яких використовується холодна зброя, оскільки вона найбільш поширена, доступна у виготовленні широкому колу осіб, зручна для прихованого носіння і несподіваного застосування.

Кваліфікація кримінально-протиправних дій у більшості залежить від того, наскільки правильно буде встановлена групова приналежність предмета – речового доказу з метою віднесення його до холодної зброї, встановлення його виду (різновиду), в том числі і за способом виготовлення, а також його технічного стану.

Розмаїття видів і типів холодної зброї, специфіка конструкції, форми, розміри та інші характеристики кожного з них вимагають спеціальних знань у сфері його криміналістичної оцінки. У багатьох випадках названі питання можуть бути вирішені за допомогою криміналістичної експертизи холодної зброї [1].

В кримінальному судочинстві судова експертиза холодної зброї посідає важливе місце, оскільки на підставі висновку судового експерта проводиться кваліфікація дій підозрюваного та встановлюється наявність в цих діях складу злочину. Методика [2], затверджена 2009 році рішенням розширеного засідання секції НКМР міністерства Юстиції України з проблем трасології та судової балістики із залученням членів Координаційної ради з питань судової експертизи, встановила критерії, якими повинен володіти предмет, щоб бути визнаним холодною зброєю. Для коротко-клинкових предметів (пристроїв) важливим є встановлення придатності предмету для ураження цілі, яка визначається за наявністю технічної забезпеченості як окремих елементів, так і конструкції в цілому, а також з достатністю його уражаючих властивостей.

Належність до холодної зброї визначається за наявністю у предмета (пристрою), який знаходиться

на випробуванні, сукупності таких загальних криміналістичних ознак:

- призначеності для ураження цілі;
- придатності для неодноразового ураження цілі.

Всі інші предмети (пристрої), у яких повністю або частково відсутня хоча б одна з цих загальних ознак, до холодної зброї не відносяться.

Призначеність предмета (пристрою) для ураження цілі визначається за наявністю сукупності конструктивних ознак, які дозволяють віднести його до певного різновиду холодної зброї. До такої сукупності конструктивних ознак входять:

- наявність елементів певного виду, форм та розмірів;
- спосіб з'єднання елементів.

Призначеність предмета (пристрою), який досліджується, для ураження цілі визначається в результаті встановлення збігу притаманній йому сукупності конструктивних ознак із сукупністю конструктивних ознак відомого різновиду холодної зброї при порівнянні з відомими аналогами певних різновидів холодної зброї, у якості яких виступають натурні зразки з криміналістичних та інших колекцій, описи та зображення різноманітних зразків холодної зброї в офіційній довідковій та спеціальній літературі, комп'ютерних базах даних та з урахуванням даних фірм-виробників.

Так, згідно з [2], достатність вражаючих властивостей предметів (пристроїв), які досліджуються, визначається в результаті встановлення можливості неодноразового ураження цілі при використанні предмету (пристрою) визначеним для конкретного типу холодної зброї способом і перевіряється експериментально. Проте відповідного технічного забезпечення для проведення експериментів експерти мають не достатньо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Для коротко-клинкових предметів важливим є встановлення придатності предмету для ураження цілі, яка визначається за наявністю технічної забезпеченості як окремих елементів, так і конструкції в цілому, а також достатністю його уражаючих властивостей. Випробування проводяться згідно методики [2] за трьома схемами.

Міцність та пружність конструкції клинка визначається за схемою яка показана на рис. 1,а. Ніж затискається за руків'я у місці кріплення клинка. До вістря прикладається зусилля 48Н в напрямку, перпендикулярному площині клинка в обидві сторони. Клинок не повинен вигинатися більше 5% своєї довжини. Після випробування не повинно бути залишкової деформації більш ніж 1% від довжини клинка. Випробування проводяться не менш трьох разів відносно кожного предмету(пристрою).

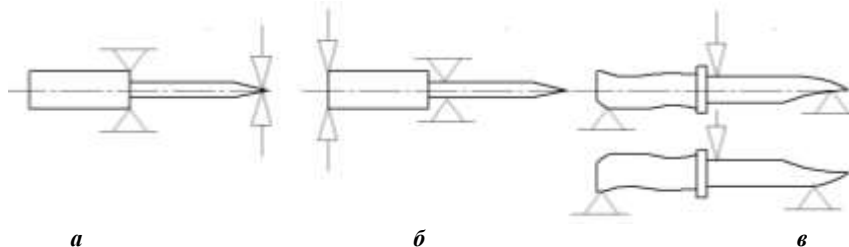


Рис. 1. Схеми закріплення та навантаження коротко-клинкових предметів в пристрої: *а* – визначення міцності та пружності конструкції клинка; *б* – визначення міцності конструкції вузла з'єднання клинка з руків'ям; *в* – визначення міцності конструкції вузла фіксатора в ножах які складаються та загальної конструкції ножів, які не складаються

Міцність конструкції вузла з'єднання клинка з руків'ям визначається за схемою яка показана на рис.1,б. Ніж затискається за клинок в 10 мм від місця з'єднання з руків'ям. До верхнього краю руків'я прикладається зусилля 48Н в напрямку, перпендикулярному площині клинка в обидві сторони. Після випробування не повинно бути: залишкової деформації, виникнення люфтів, руйнування деталей та механізмів ножа. Випробування проводяться не менш трьох разів відносно кожного предмету (пристрою).

Міцність конструкції вузла фіксатора в ножах які складаються та загальної конструкції ножів які не складаються визначається за яка показана на рис. 1,в. Ніж встановлюється на опори біля кінців клинка та руків'я. До місця з'єднання клинка з руків'ям прикладається зусилля 147Н в напрямку, перпендикулярному вісі клинка вздовж його площини, в обидві сторони. Після випробування не повинно бути: залишкової деформації, виникнення люфтів, руйнування деталей та механізмів ножа, порушення надійності фіксації. Випробування провадяться не менш трьох разів відносно кожного предмету (пристрою).

Якщо при проведенні всіх зазначених випробувань, які перераховані вище стосовно кожного виду випробувань, пошкодження (дефекти) не виникли, предмет (пристрій) вважається таким, що має достатню для ураження цілі міцність.

Для проведення досліджень використовують рекомендовані методики та вимірювальне обладнання. Оцінка зовнішнього вигляду предметів (пристроїв) проводиться візуально як неозброєним оком, так і за допомогою мікроскопів типу МБС та його аналогів. Встановлення належності предмета (пристрою) до певного класу, виду та типу предметів (пристроїв) проводиться шляхом їх порівняння із наявними зразками або зображеннями зразків з їх описом. Визначення основних розмірних параметрів предметів (пристроїв), глибини експериментальних пошкоджень провадиться вимірювальним інструментом (наприклад, металевою

вимірювальною лінійкою ГОСТ 427-75, штангенциркулем типу ШЦ-1 ГОСТ 166-89 та ін.), які забезпечують потрібну точність вимірювання лінійних розмірів. Визначення зусилля під час випробування ножів на міцність проводиться за допомогою тарованої ваги або динамометрів загального призначення, які перевірені у відповідності до ГОСТ 13782-68. Вимірювання величини деформації клинків під час випробування ножів на міцність проводиться за допомогою індикаторів типу ІЧ 25 кл. I ГОСТ 577-68 з ціною поділки 0,01 мм або штангенциркулем типу ШЦ-1 ГОСТ 166-89.

Відома установка [3] для вимірювання динамічного модуля пружності і руйнівного напруження при згинанні, що складається з розривної машини, яка обладнана системою вимірювання похибки навантаження до 1% від максимального навантаження, індентора та маховика, що забезпечує навантаження зразка та пристосування, що містить несучу опору, яка відрізняється тим, що пристосування обладнане індикатором для вимірювання величини деформації. Але відомий пристрій не забезпечує можливості закріплення коротко- клинкової зброї та вимірювання величини залишкової деформації.

Відома також конструкція стенду [4] для проведення статичних випробувань коротко-клинкових предметів, яка містить дві скріплені, перпендикулярно розміщених між собою фанерних плити. Вертикальна плита призначена для зручності кріплення до стіни та розміщення інформації. Горизонтальна плита об'єднує на собі всі основні робочі вузли стенду, а саме: два опорних бруска один із яких рухомий, упорний брусок з лінійкою та рухомий притискний брусок.

Недоліком цього пристрою є незручність прикладення навантажувальної ваги та складність і точність вимірювання величини прогину (за допомогою лінійки), а також отримання значних похибок при вимірюванні незначних величини залишкової деформації коротко-клинкових предметів.

Актуальність дослідження

Метою роботи є створення конструкції спеціального пристрою для забезпечення підвищення зручності вимірювання прогину та залишкової деформації коротко-клинкової холодної зброї і покращення точності вимірювання при статичних експериментальних випробуваннях коротко-клинкових предметів з метою встановлення придатності предмету для ураження цілі. Дослідження, що спрямовані на пошуки новітніх конструктивних рішень спеціальних пристроїв для статичних досліджень холодної зброї є актуальною задачею.

Виклад основного матеріалу

Авторами [5] розроблено конструкцію універсального пристрою для проведення експериментів з метою визначення статичних характеристик коротко-клинкових предметів та виготовлено дослідно-експериментальний зразок пристрою. Особливістю конструкції пристрою є наступне: на корпусі розташовано у напрямних рухомий столик із затискними елементами, на стійках встановлено пластину з напрямним елементом для вимірювального штиря, на якому розташовано пластину для встановлення ваги, пластину з опорою для закріплення індикатора годинникового типу, а рухомий столик має можливість переналаджування на необхідний розмір коротко-клинкових предметів за допомогою напрямних та закріплюється до корпусу стопорним гвинтом.

Конструкція пристрою для проведення статичних випробувань коротко-клинкової холодної зброї (рис. 2–4) містить корпус 1 з ніжками 2, на якому встановлено у напрямних 3, закріплених гвинтами 4, рухомий столик 5. У рухомий столик 5 загвинчено чотири шпильки 6 та встановлено на них пластину 7 з можливістю затискання гайками 8 руків'я 9 або вістря клинка. На рухомому столику 5 розміщено опорний елемент 10 у вигляді кутника та закріплено гвинтами 11. У стінки кутників вкручені регулюючі гвинти 12.

Рухомий столик 5 закріплюється до корпусу 1 за допомогою стопорного болта 13, який встановлено у Т-подібний паз 14, та гайки 15. Для утримання стопорного болта 13 у пазу 14 до корпусу пригвинчена пластина 16. У корпус 1 загвинчено чотири стойки 17 та закріплено гайками 18. На стойки 17 встановлено пластину 19 та закріплено гайками 20. У пластину 19 встановлено напрямну 21 із стопорним гвинтом 22. В отвір напрямної 21 встановлено вимірювальний штир 23 на якому закріплено пластину 24 для встановлення ваги 25 (сумарна маса платини, вимірювального штиря та ваги становить 48 Н). На пластину 19 встановлено опору 26 для закріплення вимірювального приладу 27 (індикатор годинникового типу ІЧ25кл. I ГОСТ 577-68) за допомогою гвинта 28. На корпусі 1 встановлено кронштейн 29 та закріплено гвинтами 30. У кронштейні 29 виготовлено паз та встановлено гвинт 31 для регулювання зазору з метою утримання клинка у пазу від повороту. На корпусі 1 передбачено різьбові отвори 32 для переналаджування кронштейна 29 на необхідний розмір клинка. Для проведення вимірювань по третій схемі, тобто міцності конструкції вузла фіксатора клинка, до пристрою для проведення статичних випробувань коротко-клинкової холодної зброї додається хомут 33 (Фіг. 7, Фіг. 9) з тросиком, на якому закріплюється вага 34 (сумарна маса хомути, тросика та ваги становить 147 Н).

Для проведення випробувань по першій схемі, а саме визначення міцності та пружності конструкції клинка, пристрій (рис.2) працює наступним чином: торець руків'я 9 встановлюється в рівень з торцем підставки рухомого столика 5 та закріплюється за допомогою пластини 7 та гайками 8; рухомий столик 5, за допомогою напрямних 3, виставляється на величину довжини клинка таким чином, щоби вимірювальний штир 23 знаходився над кінцем клинка і проводиться фіксація цього положення вимірювального штиря 23 за допомогою стопорного болта 13 та гайки 15; вимірювальний штир 23 підводиться до клинка з дотиканням без натягу та фіксується за допомогою стопорного гвинта 22; вимірювальний прилад 27 встановлюється у «відносно нульове» положення та фіксується числовий показник. На пластину 24 встановлюється вага 25,

відпускається стопорний гвинт 22 і проводиться вимірювання прогину клинка з фіксуванням числових показників по вимірювальному приладу 27. Різниця числових показань від «відносного нульового» положення дає величину прогину клинка. Після чого вага 25 знімається та вимірювальний штир 23 підводиться у гору і потім опускається до клинка з дотиканням без натягу. Його положення фіксується за допомогою стопорного гвинта 22 та фіксуються числові показники по вимірювальному приладу 27. Різниця числових показань від «відносного нульового» положення дає величину залишкової деформації прогину клинка. Випробування провадяться не менш трьох разів в обидві сторони предмету. За результатами випробувань визначається величина прогину клинка або її відсутність. Після випробування не повинно бути залишкової деформації більш ніж 1% від довжини клинка.

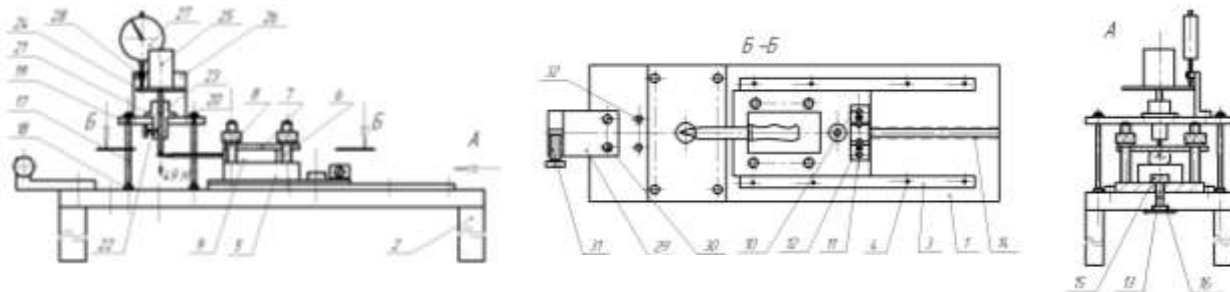


Рис. 2. Схема налагодження пристрою для визначення міцності та пружності конструкції клинка: 1 – корпус; 2 – ніжки; 3 – напрямні; 4 – гвинти; 5 – рухомий столик; 6 – шпильки; 7 – пластина; 8 – гайки; 9 – руків'я; 10 – опорний елемент; 11 – гвинт; 12 – гвинт регулюючий; 13 – болт стопорний; 14 – Т-подібний паз; 15 – гайка; 16 – пластина; 17 – стойка; 18 – гайка; 19 – пластина; 20 – гайка; 21 – напрямна; 22 – гвинт стопорний; 23 – вимірювальний штир; 24 – пластина; 25 – вага; 26 – опора; 27 – вимірювальний прилад; 28 – гвинт; 29 – кронштейн; 30 – гвинт; 31 – гвинт; 32 – різьбові отвори

Для проведення випробувань по другій схемі, а саме визначення міцності конструкції вузла з'єднання клинка з руків'ям, пристрій (рис.3) працює наступним чином: клинок встановлюється на відстані 10 мм до руків'я від краю підставки рухомого столика 5 та закріплюється за допомогою пластини 7 та гайками 8; рухомий столик 5, за допомогою напрямних 3, виставляється на величину довжини клинка таким чином, щоби вимірювальний штир 23 знаходився над кінцем руків'я 9 і проводиться фіксація вимірювального штиря 23 у цьому положенні за допомогою стопорного болта 13 та гайки 15; вимірювальний штир 23 підводиться до руків'я 9 з дотиканням без натягу та фіксується за допомогою стопорного гвинта 22. Вимірювальний прилад 27 встановлюється у «відносне нульове» положення та фіксується числовий показник. На пластину 24 встановлюється вага 25, відпускається стопорний гвинт 22 і проводиться прогин клинка. Після чого вага 25 знімається та вимірювальний штир 23 підводиться у гору і потім опускається до руків'я 9 з дотиканням без натягу. Його положення фіксується за допомогою стопорного гвинта 22 та фіксуються числові показники по вимірювальному приладу 27. Різниця числових показань від «відносного нульового» положення дає величину залишкової деформації. Випробування провадяться не менш трьох разів в обидві сторони предмету. Після випробування не повинно бути залишкової деформації, руйнування деталей та механізмів ножа.

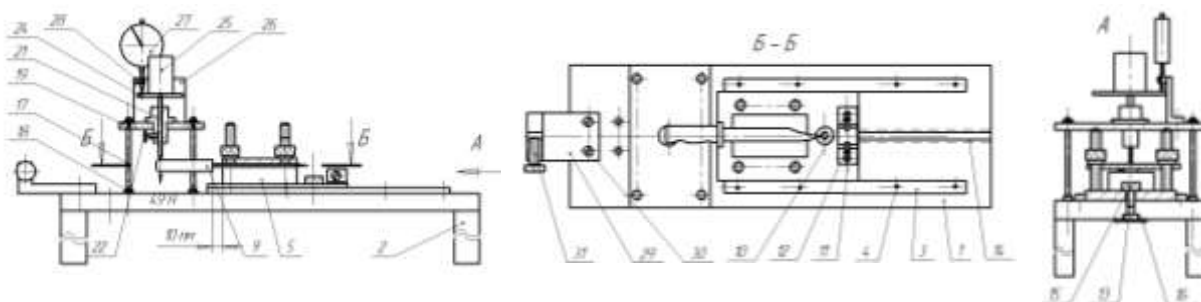


Рис. 3. Схема налагодження пристрою для визначення міцності конструкції вузла з'єднання клинка з руків'ям: 1 – корпус; 2 – ніжки; 3 – напрямні; 4 – гвинти; 5 – рухомий столик; 6 – шпильки; 7 – пластина; 8 – гайки; 9 – руків'я; 10 – опорний елемент; 11 – гвинт; 12 – гвинт регулюючий; 13 – болт стопорний; 14 – Т-подібний паз; 15 – гайка; 16 – пластина; 17 – стойка; 18 – гайка; 19 – пластина; 20 – гайка; 21 – напрямна; 22 – гвинт стопорний; 23 – вимірювальний штир; 24 – пластина; 25 – вага; 26 – опора; 27 – вимірювальний прилад; 28 – гвинт; 29 – кронштейн; 30 – гвинт; 31 – гвинт; 32 – різьбові отвори

Для проведення випробувань по третій схемі, а саме визначення міцності конструкції вузла фіксатора у клинку, пристрій (рис.4) працює наступним чином: рухомий столик 5, після розфіксування за допомогою гайки 15 стопорного болта 13, виводиться по напрямним 3 з пазу 14 та після обертання на 1800, знову встановлюється у напрямні 3, а стопорний болт 13 вводиться у паз 14. Таким чином, кутниковий опорний елемент 10 з регулюючими гвинтами 12 встановлюється у позицію для фіксування руків'я 9. Коротко-клинковий предмет встановлюється вертикально лезом клинка та руків'ям 9 у кутниковий опорний

елемент 10 та фіксується регулюючими гвинтами 12. Налаштування рухомого столика 5 проводиться таким чином, щоби вісь вимірювального штиря 23 була напроти вузла фіксатора у клинку. На клинок у місті вузла фіксатора надівається хомут 33 з тросиком, який пропускається крізь отвір у корпусі 1. Далі лезо клинка встановлюється у кронштейн 29 та фіксується від повороту гвинтом 31. Вимірювальний штир 23 підводиться до вузла фіксатора з дотиканням без натягу та фіксується за допомогою стопорного гвинта 22.

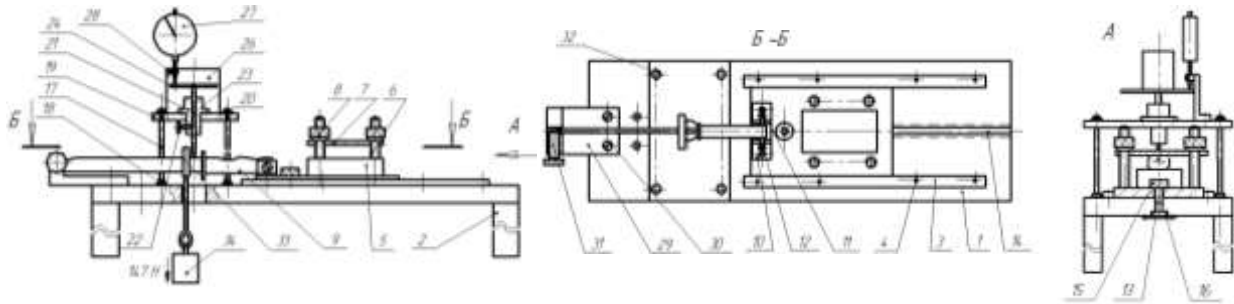


Рис. 4. Схема налагодження пристрою для визначення міцності конструкції вузла фіксатора клинка: 1 – корпус; 2 – ніжки; 3 – напрямні; 4 – гвинти; 5 – рухомий столик; 6 – шпильки; 7 – пластина; 8 – гайки; 9 – руків'я; 10 – опорний елемент; 11 – гвинт; 12 – гвинт регулюючий; 13 – болт стопорний; 14 – Т-подібний паз; 15 – гайка; 16 – пластина; 17 – стойка; 18 – гайка; 19 – пластина; 20 – гайка; 21 – напрямна; 22 – гвинт стопорний; 23 – вимірювальний штир; 24 – пластина; 26 – опора; 27 – вимірювальний прилад; 28 – гвинт; 29 – кронштейн; 30 – гвинт; 31 – гвинт; 32 – різьбові отвори; 33 – хомут; 34 – вага

Вимірювальний прилад 27 встановлюється у «відносно нульове» положення та фіксується числовий показник. На тросик встановлюється вага 34, відпускається стопорний гвинт 22 і проводиться прогин вузла фіксатора. Після чого вага 34 знімається та вимірювальний штир 23 підводиться вгору і потім опускається до вузла фіксатора з дотиканням без натягу. Його положення фіксується за допомогою стопорного гвинта 22 та фіксуються числові показники по вимірювальному приладу 27. Різниця числових показань від «відносного нульового» положення дає величину залишкової деформації.

При проведенні експериментальних досліджень випробування проводяться не менш трьох разів. Після випробування не повинно бути залишкової деформації, руйнування деталей та механізмів предмету, порушення надійності фіксації. Із застосуванням запропонованого спеціального пристрою було проведено ряд експертних досліджень коротко-клинкових предметів зі встановлення придатності предмету для ураження цілі. Результати досліджень представлені на рис. 5–8.



Рис. 5. Фотографія загального вигляду ножа



Рис. 6. Фотографія вигляду клинка після проведення досліджень

Клинок ножа вигинався більше 5% своєї довжини, виникла залишкова деформація 33% – більш ніж 1% від довжини клинка, з'явився люфт у з'єднанні клинка та руків'я. Предмет не придатний для ураження цілі.



Рис. 7. Фотографія загального вигляду ножа



Рис. 8. Фотографія вигляду клинка після проведення досліджень

При прикладенні до однієї зі сторін клинка зусилля, близько 48 Н, відбулась повна руйнація даного ножа, а саме злам клинка у місці з'єднання з руків'ям. Предмет не придатний для ураження цілі.

Висновки

Таким чином, запропонована конструкція пристрою для проведення статичних випробувань коротко-клинкової зброї дозволяє, завдяки застосуванню індикатора годинникового типу ІЧ25кл.І ГОСТ 577-68, підвищити зручність проведення вимірювань прогину та залишкової деформації коротко-клинкової холодної зброї і підвищити точність вимірювання характеристик під час статичних експериментальних досліджень для встановлення придатності коротко-клинкових предметів для ураження цілі.

Література

1. Кобилянський О.Л. Криміналістичне дослідження металюної холодної зброї : метод. рек. / Кобилянський О.Л., Кофанов А. В., Приходько Ю. П. – К. : УкрДГРІ, 2014. – 140 с.
2. Методика криміналістичного дослідження холодної зброї та конструктивно схожих з нею виробів : затверджена рішенням розширеного засідання секції НКМР міністерства Юстиції України з проблем трасології та судової балістики із залученням членів Координаційної ради з питань судової експертизи. Протокол від 10.04.2009 року № 22. – Київ, 2009. – 34 с.
3. Патент України 65902, МПК G06F 15/00, G01B 7/16. Установка для вимірювання динамічного модуля пружності і руйнівного напруження при згинанні / Букетов А.В., Стухляк П.Д., Микитишин А.Г. (Україна). – Опубл. : 15.04.2004. – 4 с.
4. Стенд для проведення статичних випробувань коротко-клинкових предметів (пристроїв) : інформаційний лист. – УМВС України в Рівненській області Науково-дослідний експертно-криміналістичний центр, 2009. – 5 с.
5. Патент на корисну модель № 134842 України. МПК F41F. Пристрій для проведення статичних випробувань коротко клинкової холодної зброї / Ковальов К.М., Шаршонь М.Б., Олійник А.С., Ганзюк А.Л., Кравчук О.В., Гордєєв А.І., Гороховський В.О. (Україна). – u 2018 12409 ; заяв. 13.12.2018 ; опубл. 10.06.2019, Бюл. № 11. – 9 с.

References

1. Kobilyansky O.L. Forensic study of cold-blooded weapons: method. rivers / Kobilyansky O.L., Kofanov AV, Prikhodko Yu.P. - K.: UkrDGRI, 2014. - 140 p.
2. The method of forensic research of cold weapons and constructively similar products: it was approved by the decision of the extended meeting of the section of the NMCRA of the Ministry of Justice of Ukraine on problems of trassology and judicial ballistics with the involvement of the members of the Coordination Council on matters of forensic examination. Minutes dated April 10, 2009, No. 22, Kyiv. - 2009. - 34 p.
3. Patent of Ukraine 65902, IPC G06F 15/00, G01B 7/16, Installation for measuring dynamic modulus of elasticity and destructive stress during bending / Buketov A.V., Stuhlyak P.D., Mikitišin A.G. (Ukraine); Published: April 15, 2004 - 4 p.
4. Information letter. Stand for static tests of short-blade objects (devices). Ministry of Internal Affairs of Ukraine in Rivne region Scientific-research expert-forensic center, 2009. - 5 p.
5. Utility Model Patent No. 134842 of Ukraine. IPC F41F. A device for conducting static tests of short-bladed cold weapons / Kovalev K.M., Sharshon M.B., Oliynyk A.S., Hanzjuk A.L., Kravchuk O.V., Gordeev A.I., Gorokhovsky V.A. (Ukraine); - in 2018 12409; Statement 12/13/2018 Publ. 10/06/2019, Bul. №11. - 9 p.

Рецензія/Peer review : 8.1.2020 р. Надрукована/Printed : 14.2.2020 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

СТРУКТУРА АГЕНТНО-ОРІЄНТОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОЦІНЮВАННЯ ПОЧАТКОВИХ ЕТАПІВ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ОСНОВІ ОНТОЛОГІЧНОГО ПІДХОДУ

Метою даного дослідження є автоматизація розбору специфікацій вимог до програмного забезпечення та оцінювання достатності інформації у специфікаціях вимог шляхом розроблення агентно-орієнтованої інформаційної технології оцінювання початкових етапів життєвого циклу програмного забезпечення на основі онтологічного підходу. У статті запропоновано структуру агентно-орієнтованої інформаційної технології оцінювання початкових етапів життєвого циклу програмного забезпечення на основі онтологічного підходу.

Ключові слова: інформаційна технологія, інтелектуальний агент, специфікація вимог до програмного забезпечення (ПЗ), семантичний парсинг специфікацій вимог до ПЗ, оцінювання достатності інформації.

T. O. HOVORUSHCHENKO, O. O. PAVLOVA, M. M. TONENKA

Khmelnytskyi National University

STRUCTURE OF ONTOLOGY-BASED AGENT-ORIENTED INFORMATION TECHNOLOGY FOR ASSESSMENT OF THE BEGINNING STAGES OF THE SOFTWARE LIFE CYCLE

The aim of this study is the automation of the parsing the software requirements specifications and assessment of the sufficiency of information in the requirements specifications by developing the ontology-based agent-oriented information technology for assessment of the beginning stages of the software life cycle. The developed ontology-based agent-oriented information technology for assessment of the beginning stages of the software life cycle: performs an automatic assessment and enhances the sufficiency of information of requirements for determining the software quality, thereby reducing the gap in knowledge about software projects; provides a conclusion on the sufficiency of the quality information in the software requirements specification; determines the priority of supplementing the specification with the necessary information (in case of insufficient information); provides quantitative assessment and, where appropriate, enhancement of the level of sufficiency of the available information of the specification; provides the processing the quality information in the software requirements specifications by intelligent agents, without the participation of specialists, which enables the automation of such processes, elimination of subjective influence of specialists and the preservation of this information in the software company in case of dismissal of the specialist.

Keywords: information technology, intelligent agent, software requirements specification, semantic parsing the software requirements specification, assessment of the sufficiency of information.

Вступ

Галузь інженерії програмного забезпечення (ПЗ) на даний момент потребує особливої уваги у напрямку розроблення та впровадження ефективних інформаційних технологій, зокрема, для розв'язання проблеми підвищення якості програмного забезпечення [1–5].

Досягнення високої якості програмного забезпечення є ключовим фактором ефективного його застосування та однією із основних потреб замовників. Як показує статистика, сьогодні існують проблеми у галузі забезпечення якості ПЗ [6–10] – великі проекти і досі виконуються з відставанням від графіка або з перевищенням кошторису витрат, розроблене програмне забезпечення часто не має необхідних функціональних можливостей, продуктивність його є низькою, а якість не влаштовує споживачів. Значна кількість помилок вноситься у програмне забезпечення на етапі формування вимог – за статистикою, 56% всіх дефектів програмних проектів вносяться саме на цьому етапі. Переважна більшість аварій, пов'язаних із програмним забезпеченням, виникли через помилкові вимоги, а не через помилки кодування. Чим раніше буде виявлено дефект або помилку у вимогах, тим дешевше обійдеться його виправлення. Витрати на виправлення некоректних вимог в специфікації, виявлених після випуску продукту, майже в 100 разів перевищують витрати на виправлення недоліків специфікації, що виявлені на більш ранніх етапах життєвого циклу. У процесі формування вимог відбуваються інформаційні втрати через неповне та різне розуміння потреб і контексту інформації – особливо такі втрати суттєві для програмних проектів, які розробляються на стику предметних галузей, коли враховувати потрібно як стандарти щодо розроблення ПЗ, так і стандарти предметної галузі [6–10].

Тому, для підвищення якості програмного забезпечення необхідно здійснити дослідження специфікацій вимог до програмного забезпечення з метою виявлення та усунення проблем і недоліків на початкових етапах життєвого циклу програмного забезпечення та виявлення фактів недостатності інформації, котра має до них відношення. В процесі такого дослідження необхідно оцінити, наскільки повно у специфікації вимог відображена інформація щодо функцій та обмежень майбутнього програмного забезпечення, зокрема, інформація щодо якості. Враховуючи, що оцінювання якості програмного забезпечення за стандартом ISO 25010:2011 [11] передбачає комплексну оцінку якості програмного забезпечення на основі оцінювання підхарактеристик та характеристики якості, які, в свою чергу, базуються на атрибутах якості, визначених в ISO 25023:2016 [12], інформацію щодо якості становлять атрибути якості, визначені у специфікації. Достатність інформації щодо якості у специфікації вимог до програмного забезпечення – наявність у специфікації всіх інформаційних елементів (атрибутів), необхідних для

визначення якості.

Для автоматизації розбору специфікацій вимог та оцінювання достатності інформації у специфікаціях потрібно розробити агентно-орієнтовану інформаційну технологію оцінювання початкових етапів життєвого циклу програмного забезпечення на основі онтологічного підходу, що і буде *метою даного дослідження*.

Структура агентно-орієнтованої інформаційної технології оцінювання початкових етапів життєвого циклу програмного забезпечення на основі онтологічного підходу

Метою агентно-орієнтованої інформаційної технології оцінювання початкових етапів життєвого циклу програмного забезпечення на основі онтологічного підходу є автоматизація кількісного оцінювання рівня достатності інформації щодо якості у специфікаціях вимог з метою мінімізації впливу людського фактору та з метою спрощення виконання зазначеного оцінювання як розробником, так і замовником. Агентно-орієнтована інформаційна технологія дозволяє виявити необхідність формування повторного запиту на додавання атрибутів, необхідних для визначення якості програмного забезпечення, та, за необхідності, сформулювати та візуалізувати його зміст.

Інформаційна технологія оцінювання початкових етапів життєвого циклу програмного забезпечення на основі онтологічного підходу є агентно-орієнтованою (рис. 1), оскільки ґрунтується на: інтелектуальному агенті на основі онтологічного підходу для семантичного аналізу (парсингу) специфікацій вимог до програмного забезпечення та інтелектуальному агенті на основі онтологічного підходу для оцінювання достатності інформації на ранніх етапах життєвого циклу.

Інтелектуальний агент на основі онтологічного підходу для семантичного парсингу специфікацій вимог до програмного забезпечення приймає на вхід специфікацію вимог та проводить автоматичний аналіз специфікації на предмет пошуку атрибутів, необхідних для визначення якості програмного забезпечення. Шаблон специфікації вимог до програмного забезпечення, який демонструє всі необхідні атрибути для визначення якості, а також їх місце розташування у специфікації, пропонується користувачу у вигляді базової онтології предметної галузі «Інженерія програмного забезпечення» (частина «Специфікація вимог до ПЗ (атрибути)»), розробленої на основі стандарту ISO 29148:2011 [13]. Після проведення аналізу специфікації формується множина атрибутів, наявних у реальній специфікації. Використовуючи розроблену базу (універсальну) онтологію для визначення якості (відомі факти) та множину наявних атрибутів, інтелектуальний агент формує онтологію для реального програмного забезпечення, яку передає як вхідні дані інтелектуальному агенту на основі онтологічного підходу для оцінювання достатності інформації на ранніх етапах життєвого циклу.

Інтелектуальний агент на основі онтологічного підходу для оцінювання ранніх етапів життєвого циклу проводить порівняння базової онтології для визначення якості (відомі факти) із отриманою онтологією для реального програмного забезпечення. В результаті такого порівняння агент формує підмножини характеристик якості та їх підхарактеристик, які неможливо обчислити на основі наявних у реальній специфікації атрибутів; надає висновок про достатність або недостатність інформації у специфікації вимог для визначення кожної характеристики якості окремо та для визначення всіх характеристик якості разом; обчислює числові оцінки рівня достатності наявної у специфікації вимог інформації для визначення кожної характеристики якості та для визначення всіх характеристик якості; надає візуалізацію прогалів у знаннях щодо якості для розглядуваного програмного проекту.

Якщо рівень достатності інформації складає 100% або є прийнятним для замовника, то виконується подальша робота над програмним проектом, в іншому випадку розробникам специфікації надається запит на додавання необхідних атрибутів у специфікацію (з візуалізованими підказками, які саме атрибути необхідно додати), після чого специфікація може бути знову опрацьована розроблюваною агентно-орієнтованою інформаційною технологією.

Розроблювана агентно-орієнтована інформаційна технологія дає можливість порівняти між собою різні специфікації вимог для програмних проектів зі схожими або однаковими вартістю і тривалістю, гарантувати внесення у вимоги інформації, необхідної для подальшого визначення якості програмного забезпечення, за рахунок чого зменшується розрив у знаннях про програмний проект. Основною перевагою розроблюваної агентно-орієнтованої інформаційної технології є автоматизація процесів аналізу специфікації та оцінювання достатності інформації вимог для визначення якості програмного забезпечення, за рахунок чого досягається усунення суб'єктивного впливу людини в процесі опрацювання інформації та формування нових знань.

Визначальною відмінністю розроблюваної агентно-орієнтованої інформаційної технології виступає надання можливості усунення людини з процесів опрацювання інформації щодо якості у специфікації вимог до програмного забезпечення шляхом автоматизації опрацювання такої інформації інтелектуальними агентами на основі онтологічного підходу, що забезпечує усунення суб'єктивного впливу людини та збережуваність важливої інформації у софтверній компанії у випадку звільнення фахівця.

Практична значущість розроблюваної агентно-орієнтованої інформаційної технології для підвищення якості програмного забезпечення шляхом оцінювання достатності інформації на ранніх етапах життєвого циклу полягає у:

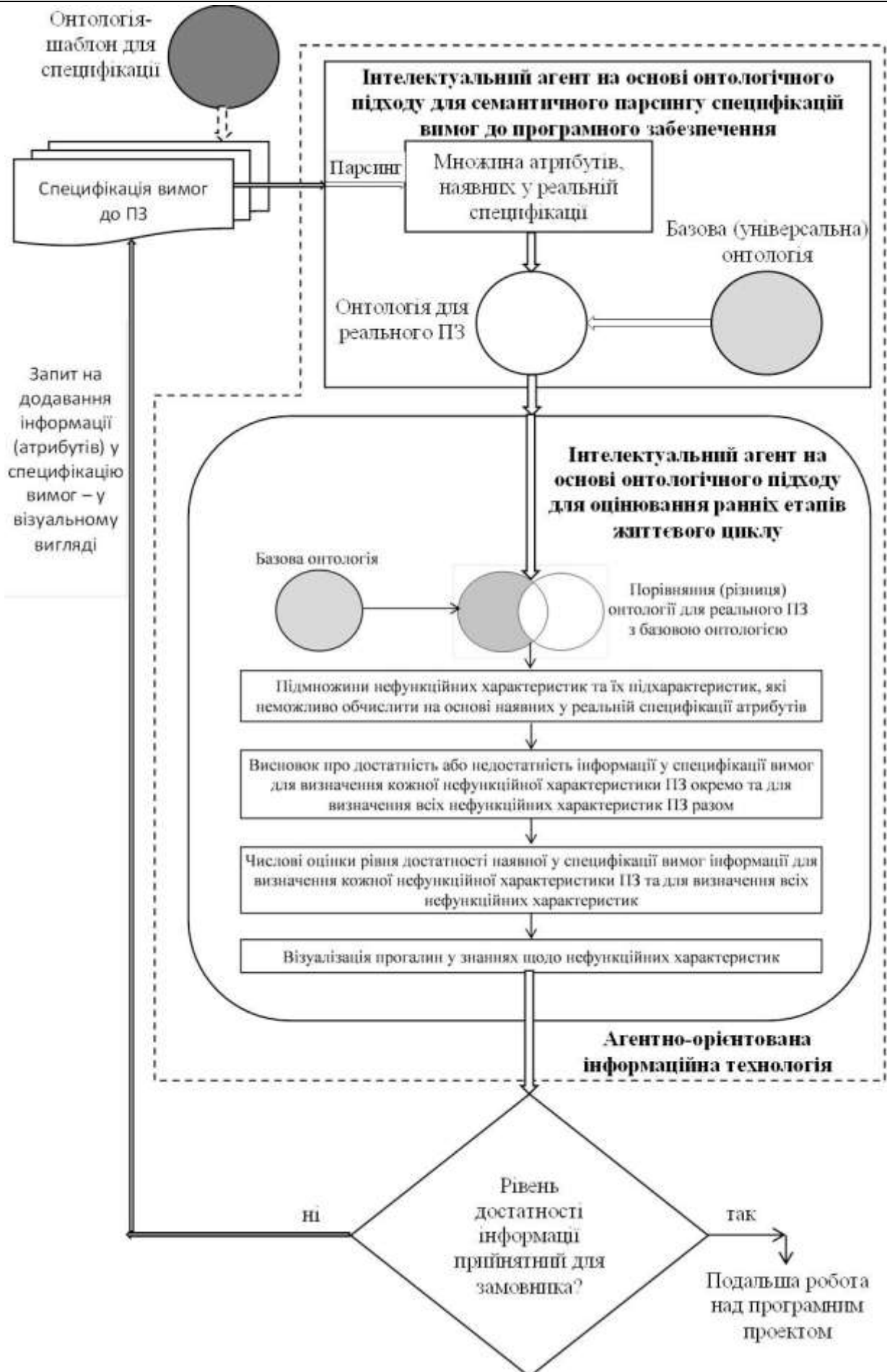


Рис. 1. Структура агентно-орієнтованої інформаційної технології оцінювання початкових етапів життєвого циклу програмного забезпечення на основі онтологічного підходу

- підтримці процесу оцінювання та підвищення якості програмного забезпечення на ранніх етапах життєвого циклу на основі оцінювання достатності інформації щодо якості у специфікаціях вимог до програмного забезпечення;
- опрацюванні інформації щодо якості у специфікаціях вимог до програмного забезпечення інтелектуальними агентами, без участі фахівців, що дає можливість автоматизації таких процесів та усунення суб'єктивного впливу фахівців, а також збережуваність цієї інформації у софтверній компанії у випадку звільнення фахівця;
- автоматизації трудомісткої, рутинної та схильної до помилок роботи з аналізу (розбору, парсингу) специфікацій вимог до програмного забезпечення та забезпеченні її швидкого виконання;
- оцінюванні та підвищенні достатності об'єму наявної у специфікації вимог інформації щодо якості (за необхідності (для систем критичного застосування) або за вимогою замовника – до 100%);
- демонстрації слабких місць специфікації вимог до програмного забезпечення (у вигляді відсутніх атрибутів для визначення якості), які потребують доопрацювання або переробки;
- забезпеченні можливості виправлення та усунення помилок у вимогах до програмного забезпечення в той момент, коли вони виникають – на ранніх етапах життєвого циклу програмного проекту – до того, як вартість їх виправлення збільшиться в десятки, а то й сотні разів;
- наданні можливості швидкої підготовки нових системних інженерів і менеджерів проектів (використання розроблюваної агентно-орієнтованої інформаційної технології для аналізу специфікацій вимог допомагає їм швидко побачити помилки, які вони можуть зробити, і розпізнавати ці помилки в роботі інших);
- наданні інструменту для розроблення та вибору більш якісних специфікацій вимог до програмного забезпечення;
- можливості використання розроблюваної інформаційної технології в процесі розроблення програмного забезпечення для державних установ, військових формувань та правоохоронних органів, комерційних організацій (як для організацій, які займаються розробленням програмного забезпечення, так і для організацій, які є замовниками ПЗ).

Економічним ефектом від використання розроблюваної агентно-орієнтованої інформаційної технології оцінювання початкових етапів життєвого циклу програмного забезпечення на основі онтологічного підходу є можливість економії коштів програмних проектів на їх переробку та на виправлення (протягом життєвого циклу) дефектів та помилок програмного забезпечення, внесених на ранніх етапах життєвого циклу (за статистикою, вартість виправлення дефектів та помилок програмного забезпечення, внесених на ранніх етапах життєвого циклу, експоненційно зростає з кожним наступним етапом життєвого циклу проекту) за рахунок демонстрації слабких місць специфікації вимог до програмного забезпечення, які потребують доопрацювання або переробки, а також помилок та дефектів у вимогах до програмного забезпечення в той момент, коли вони виникають на ранніх етапах життєвого циклу програмного проекту.

Висновки

Розроблювана агентно-орієнтована інформаційна технологія оцінювання початкових етапів життєвого циклу програмного забезпечення на основі онтологічного підходу: виконує автоматичне оцінювання та забезпечує підвищення рівня достатності інформації вимог для визначення якості програмного забезпечення, за рахунок чого зменшується розрив у знаннях про програмні проекти; надає висновок про достатність інформації щодо якості у специфікації вимог; визначає пріоритетність доповнення специфікації необхідною інформацією (в разі недостатності інформації); забезпечує кількісне оцінювання та, за потреби, підвищення рівня достатності наявної у специфікації інформації щодо якості; забезпечує можливість опрацювання інформації щодо якості у специфікаціях вимог до програмного забезпечення інтелектуальними агентами, без участі фахівців, що забезпечує можливість автоматизації таких процесів, усунення суб'єктивного впливу фахівців та збережуваність цієї інформації у софтверній компанії у випадку звільнення фахівця.

Розроблювана агентно-орієнтована інформаційна технологія є інтелектуальною, оскільки автоматично опрацьовує наявні знання (вимоги щодо якості зі специфікації) та формує нові знання (висновки про достатність інформації, про рівень достатності інформації, рекомендації щодо підвищення рівня достатності інформації у специфікації вимог).

Перспективними напрямками для майбутніх досліджень авторів є:

- реалізація інтелектуального агента на основі онтологічного підходу для семантичного парсингу специфікацій вимог до програмного забезпечення;
- реалізація інтелектуального агента на основі онтологічного підходу для оцінювання ранніх етапів життєвого циклу;
- реалізація агентно-орієнтованої інформаційної технології оцінювання початкових етапів життєвого циклу програмного забезпечення на основі онтологічного підходу.

References

1. Sivarajah U., Kamal M. M., Irani Z., Weerakkody V. Critical analysis of Big Data challenges and analytical methods. *Journal of Business Research*. 2017. Vol. 70. P. 263–286.
2. Luo Y. D., Bu J. How valuable is information and communication technology? A study of emerging economy enterprises. *Journal of World Business*. 2016. Vol. 51. Issue 2. P. 200–211.
3. Tian X. M. Big data and knowledge management: a case of deja vu or back to the future? *Journal of Knowledge Management*. 2017. Vol. 21. Issue 1. P. 113–131.
4. Mauerhoefer T., Strese S., Brettel M. The impact of information technology on new product development performance. *Journal of Product Innovation Management*. 2017. Vol. 34. Issue 6. P. 719–738.
5. Golub K. Subject access to information: An interdisciplinary approach. *Libraries Unlimited*, 2015. 165 p.
6. Maedche A., Botzenhardt A., Neer L. *Software for people: fundamentals, trends and best practices (Management for professionals)*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012. 293 p.
7. Latest study shows rise in project failures. URL: <http://kinzz.com/resources/articles/91-project-failures-rise-study-shows> (Last accessed: February 18, 2020).
8. Hastie Shane, Wojewoda Stéphane. Standish Group 2015 Chaos Report – Q&A with Jennifer Lynch. URL: <http://www.infoq.com/articles/standish-chaos-2015> (Last accessed: February 18, 2020).
9. Cost of a bug within a software lifecycle. URL: <http://www.testically.org/2012/02/09/cost-of-a-bug-within-a-software-lifecycle/> (Last accessed: February 18, 2020).
10. The Standish Group Report CHAOS. URL: <https://www.projectsmart.co.uk/white-papers/chaos-report.pdf> (Last accessed: February 18, 2020).
11. 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).
12. ISO 25023:2016. Systems and software engineering. Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE). Measurement of system and software product quality. [Introduced 31.03.2016]. Geneva (Switzerland), 2016. 45 p. (International standard).
13. ISO/IEC/IEEE 29148:2011. Systems and software engineering. Life cycle processes. Requirements engineering. [Introduced 01.12.2011]. Geneva (Switzerland), 2011. 28 p. (International standard).

Рецензія/Peer review : 19.1.2020 р.

Надрукована/Printed : 14.2.2020 р.
Рецензент: д.т.н., проф. В.В. Мартинюк

В.В. ГУЗЕНКО

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

Н.В. ТІТОВА

Національний транспортний університет, м. Київ

Г.М. НОВІЦЬКИЙ

Вінницький національний технічний університет

АНАЛІЗ ВЗАЄМОДІЇ РАДІОІМПУЛЬСНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ З БІОЛОГІЧНО АКТИВНИМИ ТОЧКАМИ ТВАРИН

Як електродинамічна модель біологічно активної точки була розглянута плоскошарова діелектрична структура. Ця структура утворена трьома плоскими діелектричними шарами і кінцевим циліндром, заповненим діелектриком (білком колагену). Верхній шар моделює огрядні клітини, середній шар – кровоносні і лімфатичні судини, а нижній шар утворений провідними нервовими волокнами, які передають сигнали управління від біологічно активної точки до центральної нервової системи. Така електродинамічна структура є діелектричним резонатором. Завдання про взаємодію хвиль радіоімпульсного випромінювання з біологічно активною точкою є нестационарним завданням дифракції. За допомогою методу комплексних амплітуд ця задача була зведена до задачі дифракції для електромагнітних полів, що залежать експоненціально від часу. Для вирішення завдання про дифракції електромагнітного випромінювання на біологічно активних точках був використаний метод об'ємних інтегральних рівнянь. Метод об'ємних інтегральних рівнянь дозволив отримати інтегральне рівняння за обсягом циліндричного резонатора моделі біологічно активної точки тварин. Як ядро інтегрального рівняння виступає функція Гріна для плоскошарового середовища. Використовуючи результати, отримані з літературних джерел, був побудований алгоритм для розрахунку цієї функції Гріна. Оскільки геометричні розміри БАТ значно менше довжини хвилі, що відповідає частоті заповнення радіоімпульсу, то для практичних розрахунків обмежимося напруженістю електричного поля, усередненого за обсягом біологічно активної точки тварин. Після низки перетворень були отримані вирази, які дозволили розрахувати усереднену напруженість електричного поля як функцію параметрів радіоімпульсу: ω – частота заповнення радіоімпульсу, Ω – частота модуляції амплітуди, m – глибина модуляції, а також геометричних і матеріальних параметрів біологічно активної точки тварин. Чисельні розрахунки показали, що при зміні частоти заповнення в інтервалі $40 \text{ ГГц} \leq \omega/2\pi \leq 50 \text{ ГГц}$ напруженість електричного поля досягає максимуму $\bar{E}_r/E_0 = 0.6 \div 0.7$ при цьому $\omega/\Omega = 10.26$.

V. V. GUZENKO

Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of the Agriculture

N. V. TITOVA

National University of Transport, Kyiv

H. M. NOVITSKII

Vinnytsia National Technical University

ANALYSIS OF THE INTERACTION OF RADIO PULSE RADIATION WITH BIOLOGICALLY ACTIVE POINTS OF ANIMALS

A plane-layered dielectric structure was considered as an electrodynamic model of a biologically active point. This structure is formed by three flat dielectric layers and a finite cylinder filled with a dielectric (collagen protein). The upper layer models cells, the middle layer models blood and lymph vessels, and the lower layer is formed by conducting nerve fibers that transmit control signals from a biologically active point to the central nervous system. This electrodynamic structure is a dielectric resonator. The problem of the interaction of radio-pulse waves with a biologically active point is an unsteady diffraction problem. Using the complex amplitude method, this problem was reduced to the diffraction problem for electromagnetic fields that exponentially depend on time. To solve the problem of diffraction of electromagnetic radiation on biological disks at active points, the method of volume integral equations was used. The method of volumetric integral equations made it possible to obtain an integral equation for the volume of a cylindrical resonator of a biological model of the active point of animals. The Green function for a plane-layered medium acts as the core of the integral equation. Using the results obtained from literary sources, an algorithm was constructed to calculate this Green's function. Since the geometrical dimensions of the BAP are much smaller than the wavelength corresponding to the filling frequency of the radio pulse, for practical calculations, we restrict ourselves to the electric field strength averaged over the volume of the biological active point of animals. After a series of transformations, expressions were obtained that made it possible to calculate the averaged electric field strength as a function of the parameters of the radio pulse: ω – the frequency of filling the radio pulse; Ω – the frequency of the amplitude modulation; m – the depth of the modulation, as well as the geometric and material parameters of the biologically active point of the animals. Numerical calculations showed that when the filling frequency changes in the range of $40 \text{ GHz} \leq \omega/2\pi \leq 50 \text{ GHz}$, the electric field strength reaches its maximum $\bar{E}_r/E_0 = 0.6 \div 0.7$, where $\omega/\Omega = 10.26$.

Вступ

Збільшення поголів'я великої рогатої худоби пов'язане з підвищенням життєздатності телят в перші дні після їх народження.

За даними літературних джерел із-за хвороб найбільші втрати телят бувають до 15-денного віку. За громадськими даними, на перші 5 днів життя доводиться 40...50% загибелі телят, на перші 10 днів – 65...70% і до 15-денного віку – 75...80% від полеглих впродовж першого року життя [1].

Нині для збереження молодняка використовують антимікробні препарати, гормони і інші хімічні препарати. Медикаментозні засоби є часто неефективними, а тривале їх застосування нерідко спричиняє за собою важкі ускладнення, що викликаються бурхливим розвитком грибків, стафілококів, гематологічних штамів кишкових паличок і протей [2].

Результати досліджень показують, що альтернативою медикаментозним засобам, для терапії хворих диспепсією новонароджених телят може бути використання радіоімпульсних інформаційних електромагнітних випромінювань для дії на біологічно активні точки, огрядні клітини і нейтрофіли в кровоносних судинах на ранніх стадіях розвитку диспепсії тварин [3].

Радіоімпульсні інформаційні електромагнітні випромінювання для опромінення тварин здатні модифікувати імунний статус організму тварин, чинити протизапальну дію, покращувати мікроциркуляцію крові в тканинах, активізувати фізіологічну і репаративну регенерацію. В основі радіоімпульсного електромагнітного впливу на біологічні об'єкти лежать резонансні явища, ступінь прояви яких залежить від молекулярної організації опромінюваної тварини та умов її існування [4]. Науковим фундаментом досліджень, що проводяться, є той факт, що явища електромагнітної природи являються не супутніми, а суттєвими факторами життєдіяльності любого живого організму [5]. Враховуючи, що біологічно активні точки шкірного покриву тварин характеризуються шаруватою будовою і, отже, різними електрофізичними характеристиками, то вимагалось теоретично розглянути розподіл ЕМП усередині неоднорідної структури цього біологічного об'єкту. Основною метою теоретичного аналізу ЕМП усередині біологічного об'єкту було вивчення розподілу його в об'ємі об'єкту з метою управління біофізичними процесами за рахунок зміни біотропних параметрів.

Аналіз попередніх досліджень

Аналіз показує, що найбільший вплив на фізико-хімічні процеси у біологічних об'єктах слід чекати в мм діапазоні довжин хвиль [6, 7]. Взаємодію ЕМП з біологічними об'єктами слід розглядати у рамках розвитку єдиної теорії інформаційного поля ноосфери. На самому мікроенергетичному рівні взаємодії ЕМП з біологічними об'єктами стоїть інформаційний тип взаємодії, потужність близько 10^{-12} Вт. ЕМП є лише енергетичним носієм інформації у рамках ноосфери, тому необхідно розглядати саме несучу частину цих полів при взаємодії з мікрооб'єктами тварин [8].

У ряді функціональних робіт [9, 10] обговорені механізми дії ЕМП на біологічні об'єкти. У [10] запропонований механізм дії слабого, нетеплового ЕМВ на живі організми, заснований на пропозиції про електромеханічні автоколивання клітинних субструктур, як природний стан живих клітин. Там же показано, що синхронізація випромінювання веде до появи внутрішніх інформаційних сигналів, що впливають на регуляторні системи організму.

У ряді робіт вказано на резонансний характер дії ЕМП [10, 11]. Тобто біологічний ефект спостерігається у вузьких частотних інтервалах, причому дія ЕМП на живі організми носить не енергетичний, а інформаційний характер [11], при цьому первинна дія ЕМП реалізується на клітинному рівні і пов'язана з біоструктурами, загальними для різних організмів.

Передбачається, що механізм генерації ЕМВ клітин обумовлюється коливаннями заряджених клітинних мембран, мікροструктура яких забезпечує виникнення дипольної компоненти з частотою випромінювання 30...80 ГГц [11]. Цей електричний диполь, що коливається, є свого роду «клітинним випромінювачем», причому слід враховувати зв'язок випромінювання з акустичним коливанням мембрани.

Таким чином, дію мм хвиль не можна зводити до простого відокремлення процесів клітинного дихання і окислювального фосфорилування. Швидше можна говорити про зміну балансу хемоосмотичного сполучення на користь процесів фосфорилування при деякому антиоксидантному ефекті.

В той же час, дія зовнішніх управляючих ЕМП може бути пов'язана не лише з просторовим розподілом поля, але і з резонансними частотами тих або інших білкових молекул або внутрішньоклітинних елементів [12].

Унікальні можливості інформаційних ЕМП мм діапазону знайшли широке застосування в медичній практиці [13]. Висока ефективність хвиль КВЧ діапазону для відновлення і підтримки гомеостазу живих організмів пов'язана з тим, що використовувані сигнали імпульсного характеру імітують сигнали, генеровані в тих же цілях самим організмом. КВЧ-медичина заснована на відновленні за допомогою ЕМВ власної інформаційно-управляючої системи організму.

Ефективність КВЧ-терапії залежить від безлічі чинників, безліч яких неможливо врахувати. Проте, можна виділити основні чинники, які фіксуються в процесі КВЧ-терапії. Це імпульсний характер ЕМВ мм діапазону, період дотримання імпульсів – десятки мс, тривалість імпульсів – одиниці мкс.

Результати досліджень показують, що для терапії хворих диспепсією новонароджених телят можуть бути використані радіоімпульсні інформаційні електромагнітні випромінювання для дії на біологічно активні точки, огрядні клітини і нейтрофіли в кровоносних судинах на ранніх стадіях розвитку диспепсії тварин. У зв'язку з чим виникла необхідність проведення теоретичних досліджень по розподілу електромагнітного поля усередині біологічно активних точок (БАТ) шкірного покриву тварин.

Мета і завдання досліджень

Метою роботи є визначення біотропних параметрів радіоімпульсного електромагнітного випромінювання для лікування диспепсії новонароджених телят великої рогатої худоби.

Розподіл напруженості електричного поля у біологічно активних точках шкірного покриву тварин

В якості електродинамічної моделі біологічно активної точки (БАТ) розглядатимемо плоскошарову діелектричну структуру (рис. 1). Ця структура утворена трьома плоскими діелектричними шарами і

кінцевим циліндром, заповненим діелектриком (білком колагену). Верхній шар моделює огрядні клітини, середній шар – кровоносні і лімфатичні судини, а нижній шар утворений провідячими нервовими волокнами, що передають сигнали управління від БАТ до центральної нервової системи. Така електродинамічна структура є діелектричним резонатором (кінцевий циліндр), розташований в діелектричному середовищі.

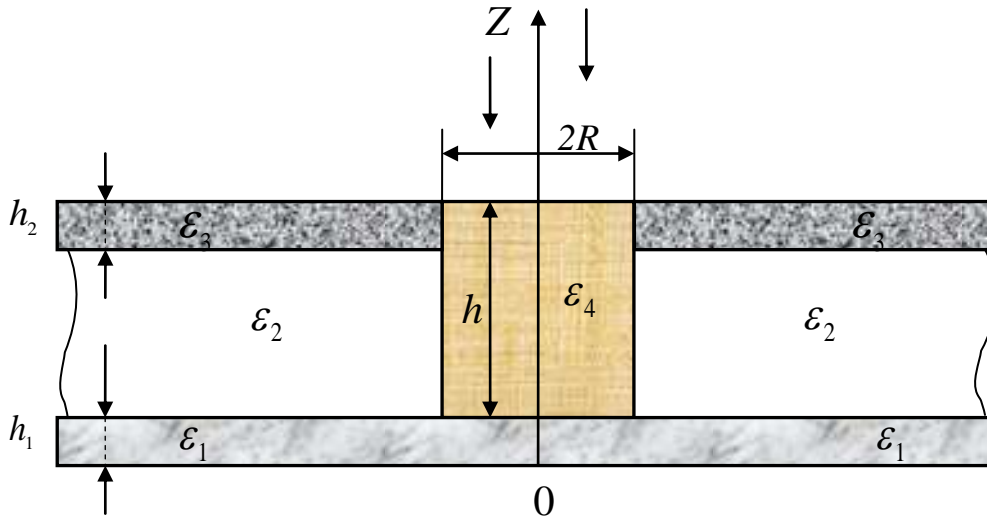


Рис. 1. Електродинамічна модель БАТ

Геометричні характеристики і матеріальні параметри БАТ показані на рис. 1: $2R$ і h – діаметр і висота циліндра; h_2 – товщина шару, що моделює огрядні клітини; h_1 – товщина шару, що моделює нервові волокна; $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3, \epsilon_4$ – діелектрична проникність відповідних елементів плоскошарової діелектричної структури.

Після ряду перетворень, початкове нестационарне завдання дифракції радіоімпульсного випромінювання на БАТ зведене до трьох завдань дифракції (1), (2) і (3).

$$\frac{\partial^2 U_n}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U_n}{\partial r} + \frac{\partial^2 U_n}{\partial z^2} + \left(k_n^2 \epsilon - \frac{1}{r^2} \right) U_n = 0, \tag{1}$$

$$\bar{H}_{nr} = -\frac{i}{k_n} \frac{\partial U_n}{\partial z} e^{i\omega_n t}, \quad \bar{H}_{nz} = -\frac{i}{k_n r} \frac{\partial (r U_n)}{\partial r} e^{i\omega_n t}, \tag{2}$$

$$\bar{E}_{n\phi} = U_n e^{i\omega_n t}, \quad n = 1, 2, 3. \\ \bar{E}_{n\phi}^b = E_n e^{-ik_n z} e^{i\omega_n t}, \quad n = 1, 2, 3., \tag{3}$$

де $E_1 = E_0, E_2 = E_3 = \frac{E_0 m}{2}, \omega_1 = \omega, \omega_2 = \omega + \Omega, \omega_3 = \omega - \Omega, k_n = \frac{\omega_n}{c}, \bar{H}_{nr}, \bar{H}_{nz}$ – компоненти напруженості магнітного поля. Можна показати, що крайові умови для функції U_n полягають у безперервності самої функції і її нормальної похідної на межах розділу середовищ. Як випливає з (1), (2), ці завдання відрізняються тільки хвиловими числами $k_n = \frac{\omega_n}{c}, n = 1, 2, 3$. Ця обставина дозволяє будувати рішення одного з цих завдань, а для інших досить замінити відповідні хвилеві числа.

Для побудови рішення задачі (1), (2) використовуватимемо метод об'ємних інтегральних рівнянь [14, 15].

Як вже було зазначено вище, електродинамічна модель БАТ є відкритим циліндричним, діелектричним резонатором поміщеним в плоскошарове діелектричне середовище (див. рис. 1). Нижче буде отримано інтегральне рівняння за об'ємом цього резонатора. Ядром інтегрального рівняння в цьому випадку виступає функція Гріна для плоскошарового середовища [14]. Використовуючи результати, отримані в [14], був побудований алгоритм для розрахунку цієї функції Гріна. Завдання знаходження функції Гріна полягає в наступному. Вимагається знайти функцію $G(r, z, r_0, z_0)$ чотирьох змінних r, z, r_0, z_0 , яка за змінними r, z задовольняє рівнянню:

$$\frac{\partial^2 G}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 G}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial G}{\partial r} + \left(k_n^2 \bar{\epsilon} - \frac{1}{r^2} \right) G = 0, \tag{4}$$

а за змінними r_0, z_0 – рівнянню:

$$\frac{\partial^2 G}{\partial r_0^2} + \frac{\partial^2 G}{\partial z_0^2} - \frac{1}{r_0} \frac{\partial G}{\partial r_0} + k_n^2 \bar{\epsilon} G = 0. \tag{5}$$

При збігу точок (r, z) і (r_0, z_0) , тобто при $r = \sqrt{(r-r_0)^2 + (z-z_0)^2} \rightarrow 0$, G має логарифмічну особливість $G \sim -2 \ln r$.

На осі z функція G повинна задовольняти співвідношенням:

$$\begin{aligned} G &\sim o(r_0^2), \quad r_0 \rightarrow 0, \\ G &\sim o(r^2), \quad r \rightarrow 0 \end{aligned} \tag{6}$$

У рівняннях (4) і (5) хвилеве число набуває значень $k = k_n, n = 1, 2, 3$, а кусочно-постійна функція визначається за формулою:

$$\bar{\varepsilon} = \begin{cases} 1, & z > h + h_2 \\ \varepsilon_1, & 0 < z < h_1 \\ \varepsilon_2, & h_1 < z < h + h_2 - h_1 \\ \varepsilon_3, & h + h_1 - h_2 < z < h + h_1 \\ 1, & z < 0 \end{cases} \tag{7}$$

Окрім перерахованих умов, функція Гріна повинна задовольняти умовам сполучення на межі розділу середовищ.

Тоді, використовуючи результати, отримані в [14], можна показати, що рішення рівняння (1) задовольняє наступному інтегральному рівнянню:

$$U_n(r, z) = E_n e^{-ikz} + \frac{k_n^2}{4\pi D} \int (\varepsilon_4 - \varepsilon_2) G_n(r, z, r_0, z_0) U_n(r_0, z_0) r_0 dr_0 dz_0, \tag{8}$$

$$n = 1, 2, 3, k_n = \frac{\omega_n}{c}.$$

Тут $E_n e^{-ikz}$ – збудливе поле (див. 3), ε_4 – діелектрична проникність середовища, яке заповнює циліндр, що моделює БАТ, ε_2 – діелектрична проникність шару, що моделює кровоносні і лімфатичні судини, $G_n(r, z, r_0, z_0)$ функція Гріна плоскошарової діелектричної структури при значенні хвилевого числа $k = k_n$. У рівнянні (8) точка (r, z) належить області D .

Визначивши $U_n(r, z), n = 1, 2, 3$ з рівняння (8), шукане поле збуджуване у БАТ радіоімпульсним випромінюванням можна представити у вигляді:

$$E_\varphi = \text{Re}(U_1 e^{i\omega_1 t} + U_2 e^{i\omega_2 t} + U_3 e^{i\omega_3 t}) \tag{9}$$

де $\omega_1 = \omega, \omega_2 = \omega + \Omega, \omega_3 = \omega - \Omega, \text{Re}(\dots)$ означає реальну частину комплексного числа.

Оскільки геометричні розміри БАТ значно менше довжини хвилі, що відповідає частоті заповнення радіоімпульсу, то для практичних розрахунків досить обмежитися напруженістю електричного поля усередненого за об'ємом БАТ:

$$E_{cp} = \frac{1}{\bar{V}} \int E_\varphi r dr dz d\varphi, \tag{10}$$

де \bar{V} – об'єм БАТ.

Величину \bar{V} для даної електродинамічної моделі БАТ можна розрахувати за формулою:

$$\bar{V} = \pi R^2 h. \tag{11}$$

Тоді з урахуванням (9) усереднене поле можна представити у вигляді:

$$E_{cp} = \frac{2}{R^2 h} \text{Re}(e^{i\omega_1 t} U_1^{cp} + e^{i\omega_2 t} U_2^{cp} + e^{i\omega_3 t} U_3^{cp}). \tag{12}$$

Тут:

$$U_n^{cp} = \int_{h_1}^{h+h_1} dz \int_0^R U_n r dr, \quad n = 1, 2, 3. \tag{13}$$

Наша мета полягає в обчисленні величин U_n^{cp} за допомогою рівняння (8).

Для розрахунку усередненого електричного поля, що збуджується у БАТ рівняння (8) було наведено до рівняння (14):

$$U_n(r, z) = E_n e^{-ikz} + \frac{k_n^2 (\varepsilon_4 - \varepsilon_2)}{4\pi} \int_0^R dr_0 \int_{h_1}^{h+h_1} dz_0 G_n(r, z, r_0, z_0) U_n(r_0, z_0) \tag{14}$$

Тут:

$$G_n(r, z, r_0, z_0) = 2\pi r_0 \int_0^\infty g_2(\gamma, z, z_0) J_1(\gamma r_0) J_1(\gamma r) \gamma d\gamma \tag{15}$$

Рішення цього рівняння було побудоване за допомогою методу послідовних наближень [16].

Застосовність цього методу до рівняння (14) обґрунтовується тим, що геометричні розміри БАТ значно менше довжини хвилі відповідній частоті заповнення радіоімпульсу ($2r \ll \lambda, h \ll \lambda$). Тому, для інтеграла в (14) виконується нерівність:

$$\left| \frac{k_n^2 (\varepsilon_4 - \varepsilon_2)}{4\pi} \int_0^R r_0 dr_0 \int_{h_1}^{h+h_1} G_n(r, z, r_0, z_0) U_n(r_0, z_0) dz_0 \right| < 1, \tag{16}$$

що є достатньою умовою для застосовності методу послідовних наближень. Обмежуючись першим наближенням, було отримано вираз (17):

$$U_n(r, z) = E_n \left(e^{-ikz} + \frac{k_n^2 (\varepsilon_4 - \varepsilon_2)}{4\pi} \int_0^R r_0 dr_0 \int_{h_1}^{h+h_1} G_n(r, z, r_0, z_0) e^{-ikz_0} dz_0 \right). \tag{17}$$

Як показали чисельні розрахунки, подальші наближення складають величину менше 5%. Тому, для практичних розрахунків досить обмежитися першим наближенням.

Формула (17) дає вираз для комплексної амплітуди напруженості електричного поля як функції змінних r, z , що змінюються в об'ємі БАТ.

Оскільки наша мета обчислення усередненого електричного поля, то проінтегруємо (17) по змінних r і z (за об'ємом БАТ). Тоді отримаємо:

$$U_n^{cp} = E_n \left(\frac{R^2 \sin(0.5kh) e^{-ik(h_1+0.5h)}}{k} + \frac{k_n^2 (\varepsilon_4 - \varepsilon_2)}{4\pi} \int_0^R r_0 dr_0 \int_{h_1}^{h+h_1} e^{-ikz_0} \int_0^R r dr \int_{h_1}^{R+h_1} G_n(r, z, r_0, z_0) dz \right). \tag{18}$$

Оскільки розміри БАТ є досить малими, то інтеграли в (18) були вичислені за квадратною формулою трапецій [17].

Після ряду еквівалентних перетворень маємо:

$$E_{cp} = E_1 + E_2. \tag{19}$$

Тут:

$$E_1 = E_0 \cos \alpha t (1 + m \cos \Omega t), \tag{20}$$

$$E_2 = \frac{E_0 k^2 R^2}{12} \operatorname{Re} \left[e^{i\omega t} (\varepsilon_4 - \varepsilon_2) \int_0^\infty J_1^2(x) x Q(x) dx \right], \tag{21}$$

$$Q(x) = \bar{Q}_1 + \frac{m}{2} \left[e^{i\Omega x} \left(1 + \frac{\Omega}{\omega} \right) \bar{Q}_2 + e^{-i\Omega x} \left(1 - \frac{\Omega}{\omega} \right) \bar{Q}_3 \right], \tag{22}$$

$$\bar{Q}_n = e^{-\bar{\alpha}_2 (h_1+0.5h)/R} \bar{\alpha}_2^{-1}, \quad \bar{\alpha}_2 = \sqrt{x^2 - k_n^2 R^2 \varepsilon_2}. \tag{23}$$

У (21) $\operatorname{Re}[\dots]$ означає реальну частину комплексного числа.

Формули (19) – (23) дозволяють розрахувати усереднену напруженість електричного поля як функцію параметрів радіоімпульсу: ω – частота заповнення радіоімпульсу, Ω – частота модуляції амплітуди, m – глибина модуляції, а також геометричних і матеріальних параметрів БАТ: R і h – радіус і висота циліндра (модель БАТ), ε_4 – діелектрична проникність середовища, що заповнює циліндр (білок колагену), h_1 – товщина шару, що моделює нервові волокна, ε_2 – діелектрична проникність шару, що моделює кровоносні і лімфатичні судини.

Після ряду перетворень, було отримано рівняння (24):

$$\bar{E}_{cp} = \frac{E_0 \Omega \sin\left(\frac{2\pi\omega}{\Omega}\right)}{2\pi\omega} \left[1 + \frac{m}{1 - \frac{\Omega^2}{\omega^2}} + \frac{k^2 R^2}{12} \left(\frac{\kappa^2 R^2 \varepsilon_2}{2\delta} \left(1 + \frac{m}{2} \left(1 + \frac{\Omega^2}{\omega^2} \right) \right) - \frac{2\kappa R \sqrt{\varepsilon_2}}{\pi} (1+m) + \frac{2\delta}{\pi} \left(1 + \frac{m}{8} \right) \right) \right]. \tag{24}$$

Формула (24) є основою для дослідження залежності напруженості електричного поля у БАТ від параметрів радіоімпульсного випромінювання.

Перш ніж викладати результати чисельних експериментів, відмітимо деякі якісні властивості процесу взаємодії радіоімпульсного випромінювання з БАТ. Як випливає з (24), при значеннях параметра $\omega/\Omega = n/2, n=1,2,\dots$ величина \bar{E}_{cp} перетворюється на нуль. Крім того, в двох граничних випадках, а саме, при $\Omega \rightarrow 0$ і $\omega/\Omega \rightarrow \infty$ величина \bar{E}_{cp} прагне до нуля. Як відзначалося вище, БАТ можна розглядати як діелектричний резонатор, поміщений в плоскошарове діелектричне середовище. Тому, якщо частота заповнення радіоімпульсу ω близька до власної частоти такого резонатора, то можливе резонансне збільшення напруженості електричного поля у БАТ. Проведені чисельні розрахунки за формулою (24) підтвердили це припущення. У рамках розглянутої електродинамічної моделі БАТ були вибрані наступні геометричні і матеріальні параметри: $R = 0.1 \div 0.3$ мм, $h = 0.1 \div 0.5$ мм, $h_1 = 10^{-6}$ мм, $h_2 = 10^{-3}$ мм, $\varepsilon_1 = 10$, $\varepsilon_2 = 20$, $\varepsilon_3 = 15$, $\varepsilon_4 = 3$. Такі геометричні і матеріальні параметри є деякими середніми значеннями [18].

Радіоімпульсне випромінювання мало наступні параметри: частота заповнення

$40 \text{ ГГц} \leq \omega/2\pi \leq 50 \text{ ГГц}$, частота модуляції $10 \leq \omega/\Omega \leq 11$, коефіцієнт глибини модуляції $0 < m < 0.2$.

На рис. 2 представлені результати розрахунків за формулою (24) залежності напруженості електричного поля нормованої по амплітуді E_0 від параметра ω/Ω для різних значень коефіцієнта глибини модуляції m . Аналіз цих результатів дозволяє зробити висновок про те, що існує співвідношення між частотою заповнення і частотою модуляції радіоімпульсу, при якому напруженість електричного поля набуває максимального значення. Так при зміні частоти заповнення в інтервалі $40 \text{ ГГц} \leq \omega/2\pi \leq 50 \text{ ГГц}$ напруженість електричного поля досягає максимуму $\bar{E}_v/E_0 = 0.6 \div 0.7$ при цьому $\omega/\Omega = 10.26$ (рис. 2). Це значення ω/Ω практично не залежить від коефіцієнта глибини модуляції $0 \leq m \leq 0.2$.

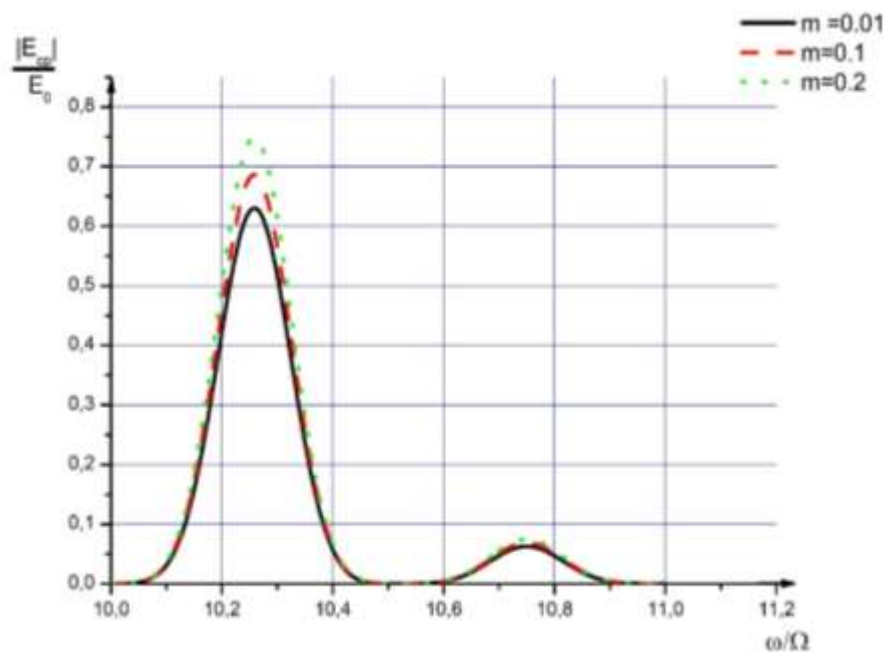


Рис. 2. Залежність нормованої напруженості електричного поля у БАТ від параметра ω/Ω при різних значеннях глибини модуляції

Висновки

Для аналізу розподілу електричної напруженості у БАТ шкірного покриття тварин слід використати модель, яка утворена трьома плоскими діелектричними шарами і кінцевим циліндром, заповненим діелектриком (білком колагену).

Для аналізу розподілу інформаційного радіоімпульсного електромагнітного випромінювання у БАТ новонароджених телят слід використати рівняння (24).

Для лікування телят хворих диспепсією слід використати частоту заповнення імпульсів 45 ГГц з нормованою напруженістю електричного поля 0.65.

Література

1. Карлик А. В. Повышение сохранности новорожденных телят / А. В. Карлик, В. И. Пушкарев // Ветеринария. – 1996. – № 12. – С. 20.
2. Урван В. П. Болезни молодняка в промышленном животноводстве / В. П. Урван, Л. Найманов. – М. : Колос, 1984. – 152 с.
3. Воронцов Л. А. О профилактике и лечении желудочно-кишечных болезней телят / Л.А. Воронцов, М. Г. Гамидов // Сб. науч. тр. БСХИ. – Благовещенск, 1992. – Вып. 9. – С. 14–21.
4. Иноземцев В. П. Профилактика незаразных болезней основа сохранности животных / В.П. Иноземцев, О. В. Самсонов, Б. Г. Таллер // Ветеринария. – 2000. – № 11. – С. 9–13.
5. Манасян А. В. Активность ферментов пищеварительной системы у телят при диспепсии / С.В. Манасян, Г. Р. Петоян, А. М., Шахбазян // Ветеринария. – 2003. – № 7. – С. 39–40.
6. Девятков Н. Д. Применение низкоинтенсивных электромагнитных миллиметровых волн в медицине и биологии / Н. Д. Девятков, Ю. Л. Арзуманов, О. В. Бецкий, Н. Н. Лебедев. – М. : ИРЭ РАН, 1995. – 8 с.
7. Сасимова И. А. Обоснование биофизического действия информационных электромагнитных излучений на микробиологические объекты животноводства / И. А. Сасимова, Л. Ф. Кучин // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2008. – № 4/2 (34). – С. 27–29.

8. Нефедов Е. Н. Концепция единого информационного поля ноосферы Земли / Е.Н. Нефедов, А.А. Яшин // Журнал русской физической мысли. – 1995. – Т. 67. – № 1. – С. 190–198.
9. Девятков Н. Д. Роль синхронизации в воздействии слабых электромагнитных сигналов миллиметрового диапазона волн на живые организмы / Н.Д. Девятков, М.Б. Голант, А.С. Тагер // Биофизика, 1983. – Т. 28, вып. 5. – С. 895–896.
10. Эйди У. Р. Частотные и энергетические окна при воздействии слабых электромагнитных полей на живую ткань / У. Р. Эйди // ТИИЭР. – 1980. – Т. 86, № 1. – С. 135–143.
11. Макаренко Б. И. Низкоинтенсивная импульсная модуляция ЭМИ СВЧ диапазона в лечении больных начальной цереброваскулярной патологией / Б.И. Макаренко, В.А. Малахов // Труды 2-й научно-практической конференции. – К., 1997. – С. 68–70.
12. Наумчева Н. Н. Применение электромагнитных волн миллиметрового диапазона в медицине / Н.Н. Наумчева // ММ-волны в биологии и медицине. – 1995. – № 6. – С. 26–30.
13. Чукова Ю. П. Применение миллиметрового излучения низкой интенсивности в биологии и медицине / Ю. П. Чукова // ММ-волны в биологии и медицине. – 1996. – № 7. – С. 5–14.
14. Дмитриев В. Н. Интегральные уравнения в краевых задачах электродинамики / Дмитриев В. Н., Захаров Е. В. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1987. – 167 с.
15. Вычислительные методы в электродинамике / под. ред. Р. Митры. – М. : Мир, 1977. – 486 с.
16. Конторович Л. В. Приближенные методы высшего анализа / Конторович Л. В., Крылов В. И. – М. : ГИФИМАТ, 1962. – 708 с.
17. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Корн Г., Корн Т. – М. : Наука, 1970. – 720 с.
18. Мычковский Ю. Г. Радиоэлектроника биологически активных точек / Ю. Г. Мычковский // Вісник Кр Н І ім. М. Островського. – 2012. – Вып. 4. – С. 45–47.

References

1. Karlik A. V. Povyshenie sohrannosti novorozhdennyh telyat / A. V. Karlin, V. I. Pushkarev // Veterinariya. – 1996. – № 12. – С. 20.
2. Urban V. P. Bolezni molodnyaka v promyshlennom zhivotnovodstve / V. P. Urban, L. Najmanov. – М. : Kolos, 1984. – 152 s.
3. Voroncov L. A. O profilaktike i lechenii zheludочно-kishechnyh boleznej telyat / L.A. Voroncov, M. G. Gamidov // Sb. nauch. tr. BSHI. – Blagoveshensk, 1992. – Вып. 9. – С. 14–21.
4. Inozemcev V. P. Profilaktika nezaraznyh boleznej osnova sohrannosti zhivotnyh / V.P. Inozemcev, O. V. Samsonov, B. G. Taller // Veterinariya. – 2000. – № 11. – С. 9–13.
5. Manasyan A. V. Aktivnost fermentov pishvaritelnoj sistemy u telyat pri dispepsii / S.V. Manasyan, G. R. Petoyan, A. M., Shahbazyan // Veterinariya. – 2003. – № 7. – С. 39–40.
6. Devyatkov N. D. Primenenie nizkointensivnyh elektromagnitnyh millimetrovyyh voln v medicine i biologii / N. D. Devyatkov, Yu. L. Arzumanov, O. V. Beckij, N. N. Lebedev. – М. : IRE RAN, 1995. – 8 s.
7. Sasimova I. A. Obosnovanie biofizicheskogo dejstviya informacionnyh elektromagnitnyh izluchenij na mikrobiologicheskie obekty zhivotnovodstva / I. A. Sasimova, L. F. Kuchin // Vostochno-evropejskij zhurnalпередовyyh tehnologij. – 2008. – № 4/2 (34). – С. 27–29.
8. Nefedov E. N. Konceptiya edinogo informacionnogo polya noosfery Zemli / E.N. Nefedov, A.A. Yashin // Zhurnal russkoj fizicheskoy mysli. – 1995. – Т. 67. – № 1. – С. 190–198.
9. Devyatkov N. D. Rol sinhronizacii v vozdeystvii slabyyh elektromagnitnyh signalov millimetrovogo diapazona voln na zhivye organizmy / N.D. Devyatkov, M.B. Golant, A.S. Tager // Biofizika, 1983. – Т. 28, вып. 5. – С. 895–896.
10. Ejdi U. R. Chastotnye i energeticheskie okna pri vozdeystvii slabyyh elektromagnitnyh polej na zhivuyu tkan / U. R. Ejdi // TIIEP. – 1980. – Т. 86, № 1. – С. 135–143.
11. Makarenko B. I. Nizkointensivnaya impulsnaya modulyaciya EMI SVCh diapazona v lechenii bolnyh nachalnoj cerebроваскулярноj patologiej / B.I. Makarenko, V.A. Malahov // Trudy 2-j nauchno-prakticheskoy konferencii. – К., 1997. – С. 68–70.
12. Naumcheva N. N. Primenenie elektromagnitnyh voln millimetrovogo diapazona v medicine / N.N. Naumcheva // ММ-волны в биологии и медицине. – 1995. – № 6. – С. 26–30.
13. Chukova Yu. P. Primenenie millimetrovogo izlucheniya nizkoj intensivnosti v biologii i medicine / Yu. P. Chukova // ММ-волны в биологии и медицине. – 1996. – № 7. – С. 5–14.
14. Dmitriev V. N. Integralnye uravneniya v kraevyyh zadachah elektrodinamiki / Dmitriev V. N., Zaharov E. V. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1987. – 167 s.
15. Vychislitelnye metody v elektrodinamike / pod. red. R. Mitry. – М. : Mir, 1977. – 486 s.
16. Kontorovich L. V. Priblizhennyye metody vysshego analiza / Kontorovich L. V., Krylov V. I. – М. : GIFIMAT, 1962. – 708 s.
17. Korn G. Spravochnik po matematike dlya nauchnyh rabotnikov i inzhenerov / Korn G., Korn T. – М. : Nauka, 1970. – 720 s.
18. Mychkovskij Yu. G. Radioelektronika biologicheskii aktivnyh toček / Yu. G. Mychkovskij // Visnik Kr N I ім. М. Островського. – 2012. – Вып. 4. – С. 45–47.

Рецензія/Peer review : 22.1.2020 р.

Надрукована/Printed : 16.2.2020 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

Л.Б. ДЕМИДЧУК, Д.І. САПОЖНИК
Львівський торговельно-економічний університет

ВПЛИВ СКЛАДУ ЗАХИСНОГО ПОКРИТТЯ БУДІВЕЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ ІЗ ЗАЛІЗОБЕТОНУ НА ЙОГО АТМОСФЕРОСТІЙКІСТЬ

В роботі досліджено питання щодо можливості підвищення атмосферостійкості будівельних залізобетонних конструкцій поверхневою обробкою захисними покриттями, закономірності процесів формування структуроутворюючої основи кремнійорганічних сполук на основі наповнених поліметилфенілсилоксанів; визначено ефективні матеріали та умови формування атмосферостійкого покриття на поверхні залізобетонних конструкцій. Запропоновано склад вихідних композицій для захисних покриттів та вивчено їх вплив на атмосферостійкість та довговічність залізобетонних конструкцій в умовах реальної експлуатації. Показано можливість підвищення атмосферостійкості будівельних залізобетонних конструкцій із розробленими захисними покриттями.

Ключові слова: будівельна конструкція, залізобетон, атмосферостійкість, захисне покриття, вихідна композиція, поліметилфенілсилоксан (ПМФС).

L.B. DEMYDCHUK, D.I. SAPOZHNYK
Lviv University of Trade and Economics

THE INFLUENCE OF THE COMPOSITION OF PROTECTIVE COATING OF BUILDING MATERIAL FROM REINFORCED CONCRETE ON ITS ATMOSPHERE RESISTANCE

The problem of the possibility of increasing the weather resistance of building reinforced concrete structures by surface treatment of protective coatings, the regularities of the processes of forming a structure-forming base of silicone compounds based on filled polymethylphenylsiloxanes (PMFS); effective materials and conditions of formation of weatherproof covering on a surface of reinforced concrete structures are determined. The composition of the original compositions for protective coatings is proposed and their effect on the weather resistance and durability of reinforced concrete structures in the conditions of actual operation is studied. Accelerated studies of weatherproofing compositions of these coatings have shown their high insulating ability, which depends on the content and type of filler used. The wetting boundary angle for all investigated variants of coating compositions at a temperature of 293 K is greater than 90 degrees, which confirms their high hydrophobicity. Water absorption of coatings on reinforced concrete surfaces is almost 1.5 ... 2 times higher than the similar indicator for concrete due to the lower continuity of the latter, which is determined by the surface relief. The developed variants of the compositions of the protective coatings can be used in conditions of sub-zero temperatures. The proposed method of mechanical dispersion of oxides and silicates in PMFS environment provides the formation of material with improved insulating and protective properties. The action of atmospheric factors does not cause a deep and significant destruction of the protective coatings. The main oxidation processes occur only in the surface layer of the polymer without significantly reducing the content of the filler. The possibility of increasing the weather resistance of building reinforced concrete structures with developed protective coatings is shown.

Keywords: building structure, reinforced concrete, weatherproofing, protective coating, initial composition, polymethylphenylsiloxane.

Постановка проблеми. В реальних умовах експлуатації будівельні конструкції піддаються комплексній дії значної кількості атмосферних чинників, що значною мірою зменшує їх корозійну стійкість та може приводити до руйнування. Результатом їх дії є, зокрема, втрата міцнісних характеристик і як результат – руйнування будівельної конструкції із залізобетону. Відомо [1], що довговічність та експлуатаційна надійність будівельних матеріалів і конструкцій визначаються їх стійкістю до дії несприятливих атмосферних факторів, а саме низьких та значно змінних температур, високої вологості та хімічних реагентів, які знаходяться в атмосфері.

Підвищити атмосферостійкість залізобетонних конструкцій можливо шляхом їх поверхневої модифікації захисними матеріалами різної хімічної природи. Розроблені на даний час склади таких покриттів не в повній мірі забезпечують ступінь необхідного захисту таких будівельних конструкцій в умовах реальної експлуатації. Підвищити довговічність залізобетонних конструкцій можливо шляхом нанесення на їх поверхню наповнених компонентів полісилоксанів, які володіють потрібними експлуатаційними властивостями в широкому діапазоні зовнішніх атмосферних чинників та температур [2, 3]. А їх ефективність залежить від складу нанесеної на матеріали захисної композиції, способу її нанесення, температурного режиму тверднення тощо [4].

Тому виникає доцільність у кількісній оцінці стійкості розроблених складів захисних покриттів до агресивної дії атмосферних чинників.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Поліфункціональні захисні покриття на основі наповнених полісилоксанових композицій характеризуються технологічністю та можуть використовуватися для підвищення атмосферостійкості залізобетонних конструкційних матеріалів внаслідок властивостей, які визначаються їх стабільним структурним та фазовим складом [4]. Разом з тим, вирішення питання впливу способу нанесення захисного покриття на поверхню залізобетону, його товщини, температури тверднення та складу вихідної композиції на стійкість обробленого матеріалу залишається актуальним.

Формулювання цілі статті

Метою дослідження було вивчення впливу захисного покриття на основі наповненого оксидними компонентами полісилоксану на властивості атмосферостійкості оброблених ними залізобетонних конструкцій. Склад вихідних композицій для захисних покриттів обрано за допомогою методу математичного планування експерименту [5].

Досліджувані варіанти складів захисних покриттів (табл. 1) наносили на попередньо оброблені поверхні шаром товщиною 0,4...0,6 мм. Режим тверднення покриттів обрано при кімнатній температурі протягом 24 годин для досягнення максимального ступеня мікротвердості (не менше $120,0 \text{ Н/м}^2 \cdot 10^6$).

Таблиця 1

Склади вихідних композицій для захисних покриттів

№ складу покриття	Вміст компонентів (наповнювачів), мас. %					
	лак КО-08	Al ₂ O ₃	ZrO ₂	Каолін	Каолінове волокно	Шамотний бій
1	20	40	35	-	5,0	-
2	40	20	38	-	2,0	-
3	25	40	10	20	5,0	-
4	35	35	18	10	2,0	-
5	30	30	22	12,5	3,5	2,0
6	35	25	25	10	2,0	3,0

Прискорені дослідження показників атмосферостійкості складів зазначених захисних покриттів показали їх високу ізолюючу здатність, яка залежить від вмісту та виду використаного наповнювача (табл. 2).

Таблиця 2

Фізичні властивості захисних покриттів на залізобетоні

№ складу покриття	Крайовий кут змочування після випробувань при температурі		Водопоглинання після 48 год. експозиції, %
	293 К	243 К	
1	91	90	0,92
2	93	91	0,63
3	97	90	0,27
4	90	88	0,77
5	91	89	0,62
6	92	88	0,29

Крайовий кут змочування для всіх досліджуваних варіантів складів покриттів за температури 293 К більший за 90 градусів, що підтверджує їх високу гідрофобність. Водопоглинання покриттів на залізобетонній поверхні практично у 1,5...2 рази вище, ніж аналогічний показник для бетонної за рахунок нижчої суцільності останньої, що визначається рельєфом поверхні.

Дослідження динаміки змін показників захисної здатності покриттів під дією атмосферних чинників вказує на часткове погіршення їх властивостей, особливо для варіантів складів покриттів, наповнених шамотним боєм, за рахунок їх високої адсорбційної здатності.

Розроблені варіанти складів захисних покриттів можна використовувати і в умовах мінусових температур. Дослідженням встановлено, що експлуатаційні властивості наповнених силіційорганічних покриттів суттєво змінюються в умовах довготривалої дії низьких температур (експозиція 240 год; T = 243 К, підкладка – залізобетон). Для металевих підкладок результати досліджень аналогічні.

Встановлено, що при вказаних температурах (243...293 К) крайові кути змочування становлять 88...91 градуси, що на 1...7 градусів менше порівняно із аналогічними даними для кімнатної температури. При цьому максимальне значення гідрофобних властивостей спостерігається при захисті будівельних конструкцій покриттями складів № 1–3. Тому, показник водостійкості захисних покриттів до дії від'ємних температур залежить в основному від вмісту зв'язуючого та наповнювача.

Відносний ступінь екранування (X^1), як показник гідрофобності, залежить від тривалості експозиції та складу покриття. Встановлено (рис. 1), що найбільш стабільні властивості при дії від'ємних температур мають покриття складів № 2 та 5. Після перших 48 год експозиції показник X^1 досягає мінімуму, а після 96 год починається його значне підвищення з наступним поступовим спадом. Показник відносного ступеня екранування стабілізується після 150 год експозиції, а після 240 годин його значення складає 0,42...0,48.

Отже, дія низьких температур (мінус 30 °С) незначною мірою впливає на гідрофобність захисного покриття. При цьому, крайові кути змочування зменшуються не більше ніж на 5...17 градусів, а для більшості варіантів складів покриттів вони становлять близько 90 градусів, за рахунок дії мінерального наповнювача, який значною мірою може знижувати дифузюю води. Але руйнуюча дія води при температурі 243 К може призводити до часткового руйнування самого матеріалу.

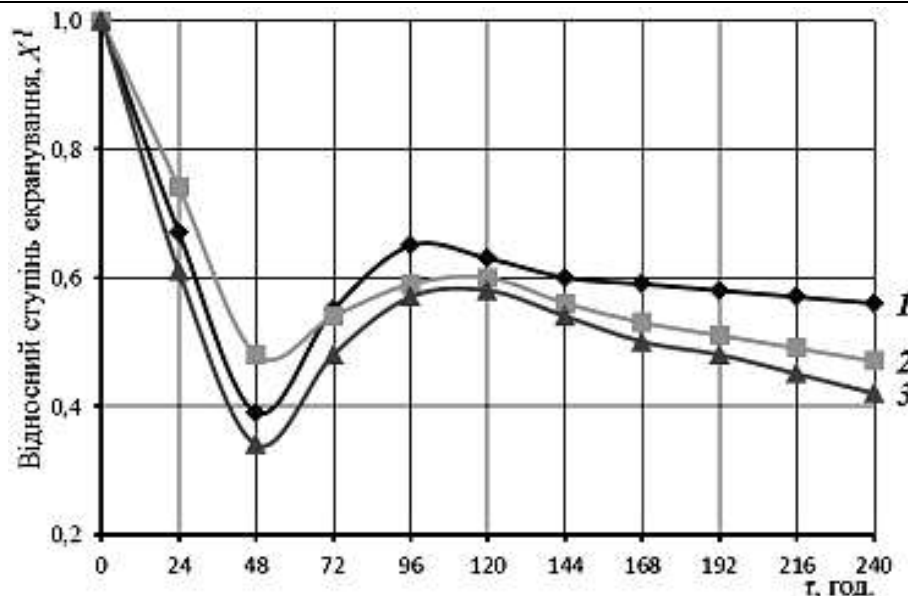


Рис. 1. Залежність відносного ступеня екранування від тривалості експозиції при низьких температурах (243 К) для покриттів на бетоні складів: 1 – склад № 2; 2 – склад № 5; 3 – склад № 6

Проведеними дослідженнями встановлено, що при циклічній дії знакозмінних температур деструкція покриттів, яка впливає на їх гідрофобність, проходить значно глибше (табл. 3). При цьому крайовий кут змочування під час експозиції тривалістю 24 цикли зменшується на 6...18 градусів, а відносний ступінь екранування – на 0,05...0,11.

Таблиця 3

Крайовий кут змочування покриттів після циклічної дії знакозмінних температур тривалістю 24 цикли

№ складу покриття	Крайовий кут змочування на залізобетоні, градуси
1	79
2	86
3	93
4	73
5	84
6	83

Аналізуючи результати досліджень атмосферостійкості покриттів необхідно відзначити, що запропонований метод механо-хімічного диспергування оксидів та силікатів у середовищі ПМФС забезпечує формування матеріалу з покращеними ізолюючими та захисними властивостями. Дія атмосферних чинників не викликає глибокого та суттєвого руйнування захисних покриттів. Основні процеси окиснення протікають тільки у поверхневому шарі полімеру без значного зменшення вмісту наповнювача.

Таблиця 4

Зміна шорсткості поверхні захисних покриттів під час випробувань

Варіант складу покриття	Показник R_a (чисельник) та R_z (знаменник), мкм	
	у сухих умовах	у вологих умовах
1	0,323 / 0,521	0,412 / 0,912
2	0,357 / 0,537	0,391 / 1,141
3	0,412 / 0,683	0,382 / 1,240
4	0,352 / 0,487	0,253 / 1,007
5	0,381 / 0,510	0,268 / 1,217
6	0,351 / 0,612	0,308 / 1,573

ПРИМІТКА: R_a – значення шорсткості до випробування; R_z – значення шорсткості після випробування.

Проходження корозійних процесів у поверхневих шарах покриття підтверджується зміною їх шорсткості. При випробуваннях покриттів у сухому (вологість до 60%) та вологому (вологість 90%) середовищах протягом 1 року встановлено, що максимальне збільшення шорсткості R_a та R_z відповідно, складає для складу № 6 (на 48,9%) і мінімальне – для складу № 5 (на 25%), а максимальний і мінімальний показники шорсткості становлять відповідно 0,683 і 0,487 мкм (в сухих умовах). Для вологих умов максимальне збільшення шорсткості спостерігається для складу № 6 (на 80,4%), мінімальне – для складу №

1 (на 54,8%), значення максимальної і мінімальної шорсткості складає відповідно 1,573 і 0,912 мкм (табл. 4).

Мінімальне значення шорсткості характерне для покриття композиційного складу № 5, а максимальне – для складу № 1. Корозійні процеси у покриттях проходять інтенсивніше у вологих умовах, про що свідчать більш високі значення R_a та R_z .

Збільшення показника шорсткості візуально підтверджується зміною мікроструктури поверхні захисних покриттів (рис. 2). Найменш інтенсивно цей процес проходить на поверхні покриття композиційного складу № 5. Руйнування відбувається на окремих ділянках розміром до 200×400 мкм.

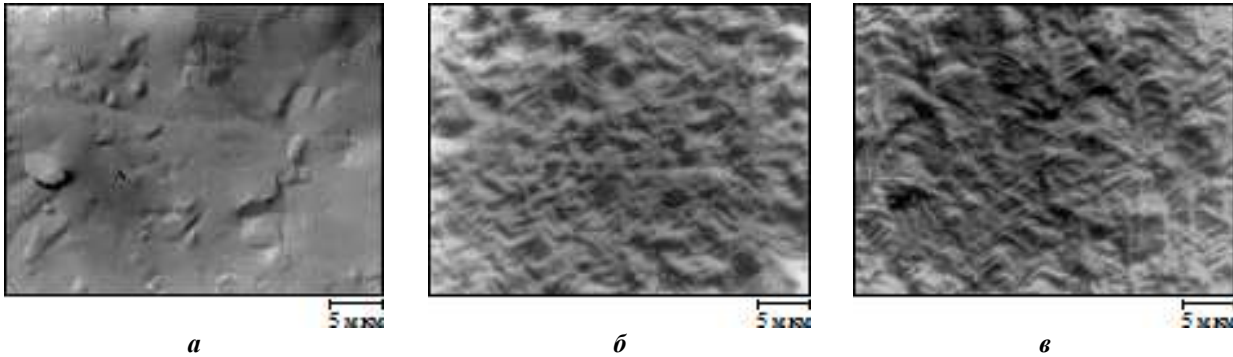


Рис. 2. Мікроструктура захисного покриття складу № 5 після випробувань на атмосферостійкість:
1 – склад № 2; 2 – склад № 5; 3 – склад № 6

Для визначення змін у складі портландцементного каменю під дією впливу води було сформовано кубики розміром 2×2×2 см з цементного тіста, які після 28 діб тверднення у воді висушувались, оброблялись і розміщувались для подальшого тверднення у вологих умовах.

Рентгенофазовий аналіз свідчить, що цементний камінь, який перебував у водному середовищі до двох років, не пошкоджений навіть у зовнішніх шарах (рис. 3). Оброблені зразки цементного каменю захищеними покриттями, які знаходились в аналогічних умовах протягом 3-х років, практично не змінили свій фазовий склад.

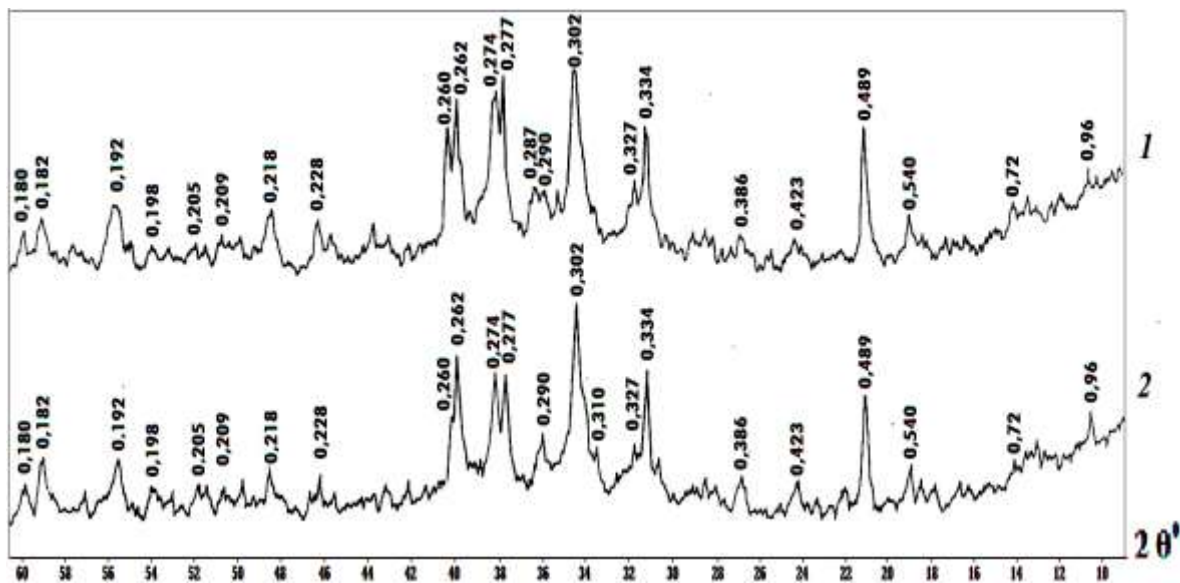


Рис. 3. Дифрактограма цементного каменю після тверднення протягом 2-х років:
1 – зовнішній шар; 2 – внутрішній шар

На рентгенограмах присутні аналогічні дифракційні максимуми, тільки лінії кальцію гідроксиду частково зменшилися за рахунок його карбонізації.

Адгезійний контакт з поверхнею залізобетону для всіх досліджуваних варіантів захисних покриттів міцний і його руйнування внаслідок дії зовнішнього середовища не виявлено.

Висновок

Результати прискорених досліджень атмосферостійкості свідчать про високу ізолюючу здатність захисних покриттів, яка залежить від вмісту ПМФС та каоліну. Крайовий кут змочування для всіх покриттів більший за 90 градусів, що підтверджує їх високий показник гідрофобності, а значення водопоглинання складає 0,18...0,72 мас. %. Максимальна деструкція покриттів при від’ємних та знакозмінних температурах призводить до їх часткового руйнування, що підтверджено наявністю корозійних процесів у поверхневих шарах покриття. Незначне зменшення відносного ступеня екранування вказує на ефективність захисної дії

покриття.

Отримані результати свідчать про можливість використання розроблених складів захисних покриттів на основі наповненого оксидними та силікатними компонентами полісилоксану для підвищення атмосферостійкості залізобетонних конструкцій

Література

1. Сви́дерский В. А. Защитное покрытие на основе модифицированного полифенилсилоксана / В.А. Сви́дерский, А. Х. Сорсер // Прогрессивные лакокрасочные материалы и их применение : матер. семинара. – М. : Знание, 1990. – С. 63–67.
2. Демидчук Л. Б. Органосилікатні температуростійкі покриття для будівельних матеріалів / Л.Б. Демидчук, Гивлюд М. М., Маргаль І. В. // Вісник Хмельницького національного університету : науковий журнал, технічні науки. – 2012. – № 1. – С. 92–96.
3. Демидчук Л. Б. Шляхи підвищення довговічності бетонних конструкцій гідрофобними захисними покриттями / Л. Б. Демидчук, М. М. Гивлюд, Б. В. Федунь // Науковий вісник УкрНДТУ. – Луцьк, 2012. – № 5(18). – С. 51–56.
4. Литовченко С. В. Повышение стабильности многофазных силицидных покрытий на молибдене / С. В. Литовченко, Т. С. Маслова, В. Г. Кириченко // Вісн. НТУ «ХПІ». – Харків : НТУ «ХПІ», 2005. – № 52. – С. 94–98.
5. Демидчук Л. Б. Формування складу високотемпературних захисних покриттів будівельних конструкційних матеріалів / Л. Б. Демидчук, М. М. Гивлюд // Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. – Львів, 2012. – Вип. 22.4. – С. 140–144.
6. Демидчук Л. Б. Дослідження захисних властивостей покриттів на основі поліорганосилоксанових компонентів / Л. Б. Демидчук // Актуальні питання сучасного товарознавства : матеріали II міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. / Мін-во освіти і науки, молоді та спорту України, Донец. Нац. Ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського. – Донцьк : ДонНУЕТ, 2013. – С. 64–66.

References

1. Sviderskij V. A. Zashitnoe pokrytie na osnove modifitsirovannogo polifenilsiloksana / V. A. Sviderskij, A. X. Sorser // Progressivnye lakokrasochnye materialy i ih primenenie : mater. seminar. – M. : Znanie, 1990. – S. 63–67.
2. Demydchuk L. B. Orhanosylkatni temperaturostiiiki pokryttia dlia budivelnnykh materialiv / L. B. Demydchuk, Huvliud M. M., Marhal I. V. // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2012. – № 1. – S. 92–96.
3. Demydchuk L. B. Shliakhy pidvyshchennia dovhovichnosti betonnykh konstruktzii hidrofobnymy zakhysnymy pokryttiamy / L.B. Demydchuk, M. M. Huvliud, B. V. Fedun // Naukovyi visnyk UkrNDTU. – Lutsk, 2012. – № 5(18). – S. 51–56.
4. Litovchenko S. V. Povyshenie stabilnosti mnogofaznykh silicidnykh pokryttij na molibdene / S. V. Litovchenko, T. S. Maslova, V.G. Kirichenko // Visn. NTU «HPI». – Harkiv : NTU «HPI», 2005. – № 52. – S. 94–98.
5. Demydchuk L. B. Formuvannia skladu vysokotemperaturnykh zakhysnykh pokryttiv budivelnnykh konstrukttsiinykh materialiv / L.B. Demydchuk, M. M. Huvliud // Naukovyi visnyk Natsionalnoho lisotekhnichnoho universytetu Ukrainy. – Lviv, 2012. – Vyp. 22.4. – S. 140–144.
6. Demydchuk L. B. Doslidzhennia zakhysnykh vlastyvoستي pokryttiv na osnovi poliorhanosyloksanovykh komponentiv / L.B. Demydchuk // Aktualni pyttannia suchasnoho tovaroznavstva : materialy II mizhnar. nauk.-prakt. internet-konf. / Min-vo osvity i nauky, molodi ta sportu Ukrainy, Donets. Nats. Un-t ekonomiky i torhivli im. M. Tuhan-Baranovskoho. – Dontsk : DonNUET, 2013. – S. 64–66.

Рецензія/Peer review : 7.1.2020 р. Надрукована/Printed : 14.2.2020 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Пелик Л.В.

В.М. ДЖУЛІЙ, Ю.П. КЛЮЦ, І.В. МУЛЯР, В.М. ЧЕШУН
Хмельницький національний університет

ІТЕРАЦІЙНО-ГЕОМЕТРИЧНИЙ МЕТОД ДЛЯ СТІЙКОГО ПЕРЦЕПТУАЛЬНОГО ХЕШУВАННЯ ЗОБРАЖЕННЯ

В роботі запропоновано уніфіковану структуру для перцептивного медіа хешування. Також розвивається формальний (кількісний) опис потрібних властивостей перцептивного хешування зображення. Головна мета – розглянути фундаментальні ідеї у перцептивному хешуванні зображення. Для підвищення ефективності обробки інформації в автоматизованих системах управління та обробки зображень виникає необхідність розробки методів надійного хешування та ідентифікації графічних зображень. У статті розглянуті підходи для обчислення статистичних значень графічних зображень, які захоплюють головні особливості зображення і залишаються по суті незмінними через прийняті перетворення. Запропоновані методи є гнучкими і можуть використовуватися для розв'язування інших задач.

Ключові слова: хешування зображення, алгоритми, ідентифікація, метод, хеш функція, ідентифікатор, електронний підпис.

V.M. DZHULII, Y.P. KLOTS, I.V. MULIAR, V.M. CHESHUN
Khmelnitskyi National University

ITERATION-GEOMETRIC METHOD FOR PERMANENT PERCEPTUAL HASHING OF IMAGE

The purpose of the work is to create a unified structure for perceptual media hashing. The main goal is to consider fundamental ideas in perceptual hashing of an image. To increase the efficiency of information processing in automated control systems and image processing, there is a need to develop methods for reliable hashing and identification of graphic images. Improving the efficiency will significantly expand the scope of application software in control systems and information processing. This approach will be useful for identifying images in databases, in which it is possible to make various changes to the image, such as compression and format changes, general signal processing algorithms, scanning, or creating watermarks. Developed basic clustering, allows clusters not to bear any losses. Based on the study, two main goals of perceptual image hashing have been identified: resistance to unintentional or perceptually minor image modifications - perceptual hash persistence; the ability to withstand deliberate attacks (caused by a malicious opponent) is a hash of security. The hash of the security properties is closely related to the randomization scheme that is used when creating the hash algorithm. Another extremely important question that needs to be answered is what hash length is required to successfully obtain the desired level of stability. The theoretical analysis of randomized media hashing algorithms and the quantitative relation of randomized parameters with hash security has not yet been addressed in the literature. In the article the approaches for calculation of statistical values of graphic representations which will grasp the main features of the image are considered and remain as a matter of fact not changed through comprehensible transformations. The offered methods are flexible and can be used for the decision of other problems.

Keywords: image hashing, algorithms, identification, method, hash function, ID, electronic signature.

Вступ

Зображення як носій інформації є джерелом первинних даних у численних напрямках людської діяльності: екологічні, космічні, геологічні та біологічні дослідження. Проблема створення комп'ютерного зору та питанням цифрової обробки зображень приділяють велику увагу багато дослідників, оскільки кількість практичних задач, у яких використовуються зображення або результати їх аналізу, весь час зростає. Тому оброблення та розпізнавання зображень є невід'ємною складовою частиною сучасних інформаційних систем.

Важливе значення в конструюванні технологій машинного сприйняття та інтерпретації зображень мають методи та алгоритми розпізнавання зображень. Завдяки популярності цифрових технологій, сьогодні створюється та зберігається все більше і більше цифрових зображень. Виникає проблема управління великими базами зображень. Без ретельного пошуку по всіх записах, важко визначити чи вже існує зображення у базі даних. Подальші труднощі виникають через те, що два зображення, які видаються однаковими для ока людини, можуть мати різні цифрові представлення, що ускладнює порівняння пари зображень, наприклад, оригінальне зображення та його стиснута версія; зображення, що зберігається із використанням чітких перетворень, чи зображення, поліпшене через операції загальної обробки знаків.

Все це спонукало до розробки алгоритмів для створення підходящих ідентифікаторів зображення, або хеш функцій зображення. Одним з можливих варіантів отримання із зображення залежних від вмісту, коротких двійкових ланцюжків, є використання традиційних криптографічних хешів, таких як MD5 та SHA-256, SHA-384, SHA-512 [1]. Проте, проблема, яка пов'язана з ними, полягає в тому, що вони надзвичайно чутливі до повідомлення, тобто найменша зміна у введених інформації радикально змінює результат. Замість цього, ці ідентифікатори повинні обов'язково брати до уваги зміни у візуальній зоні та фіксувати важливі перцептивні властивості зображення. Подальша потреба для такого дескриптора зображення виникає на підставі контролю цілісності. Через легкість копіювання цифрових медіа, цифрові дані можуть підроблятися, тому існує потреба перевірки вмісту медіа, щоб переконатись у його автентичності.

Постановка задачі

На основі проведеного дослідження встановлено дві головні мети перцептивного хешування

зображення: стійкість проти ненавмисних чи перцептивно незначних модифікацій зображення – перцептивна стійкість хешу; здатність протистояти навмисним атакам (спричинені зловмисним супротивником) – хеш безпека. Хеш властивості безпеки тісно пов'язані із схемою рандомізації, яку застосовують при створенні хеш алгоритму. Інше надзвичайно важливе питання, на яке потрібно знайти відповідь, це яка (мінімальна) довжина хешу потрібна, щоб успішно отримати потрібний рівень стійкості. Теоретичний аналіз алгоритмів рандомізованого медіа хешування, та кількісного відношення рандомізованого параметру(ів) з хеш безпекою, ще не розглядався в літературі.

Для підвищення ефективності обробки інформації в автоматизованих системах управління та обробки зображень виникає необхідність розробки методів надійного хешування та ідентифікації графічних зображень. Підвищення ефективності дозволить значно розширити область використання прикладного забезпечення у системах управління і обробки інформації.

Основна частина

В криптографії хеш функції використовуються для електронного підпису, щоб підтвердити відправку повідомлення, а також щоб отримувач міг перевірити його достовірність. Хеш функція «дуже» чутлива до зміни повідомлення, це виражається в тому, що зміна повідомлення m поверне інший бітовий рядок h [1]. В додатках, що включають цифрове створення водяних знаків та аутентифікацію електронних зображень, вимоги, на яких повинне відбуватися стиснення картинок, дещо різняться. Зміна значення одного пікселя не зробить зображення іншим чи ненадійним. Стиснення чи типова обробка зображення не змінюють візуальний зміст зображення. Важливим є механізм, який повертає би майже такий же бітовий рядок для усіх подібних зображень, в той же час, два зовсім різних зображення будуть видавати некорельовані рядки хешування. Це ми і називаємо функцією стійкого перцептуального хешування зображення. Необхідно отримати майже схожі бітові рядки для двох зображень, коли людина може сказати, що ці зображення однакові.

Хеш функція зображення $HK(I)$ бере зображення I і визначає короткий вектор $h = HK(I)$, який є в більшості випадковим значенням (індексованим у відповідності з секретним ключем K). Значення хеш функції повинне бути інваріантним до невеликих змін I , які перцептуально незначні, тоді як на введення різних значень хеш функції вони повинні бути незалежними (і відповідно різними з високою ймовірністю). Така функція буде корисна для ідентифікації зображень в базі даних, можливе проведення різних змін з I (такі як стиснення та зміна формату, алгоритми загальної обробки сигналів, сканування чи створення водяних знаків). Якщо h двійкове, то можна використовувати стандартний пошук та методи сортування для додатків, які працюють з базою даних. Якщо розмір бази даних n , то в цьому випадку пошук скоріше визначався б як логарифм кроків від n . Ця задача значно ускладнюється, якщо необхідно витримати зловмисні атаки на I , які хочуть перешкодити ідентифікації зображення.

Алгоритми стійкого хешування зображення можуть використовуватися в додатках захисту мультимедіа для створення водяних знаків та ідентифікації. З точки зору надійності використання одного і того ж ключа для багатьох зображень сприяє послабленню надійності, як наслідок, атакуючий може повернути єдиний секрет багатьох зображень, на яких створювалися водяні знаки одним ключем, так як кожне зображення може видати деяку інформацію про ключ. Можливо уникнути цієї проблеми, якщо замість використання для кожного I залежного ключа зображення $s = HK(I)$ (з K секретом) використовувати алгоритми стійкого хешування зображення. Якщо значення хеш функції при створенні водяних знаків інваріантне та здійснюються невеликі атаки, декодер може вирахувати S , якщо відоме K . Загалом, значення хеш функції може використовуватися як вказівники, які показують місце знаходження водяного знаку. Такий підхід також забезпечив би додаткову ефективність обчислення, коли розмір вхідного потоку, в якому створені водяні знаки, дуже великий. Ці проблеми були також обговорені в [2, 3].

Хеш функції важливі в різних криптографічних та пошукових додатках баз даних, в тих, що компілюють довгі двійкові рядки в короткі. Вимогами є рівномірний розподіл вихідних даних і парної незалежності (подана пара вихідних даних хеш функцій має бути незалежна одна від одної). Обмеження, що вивід хеш функції має бути інваріантним за невеликих перцепційно неважливих модифікацій (ненавмисних чи злонавмисних) вимагає розробки нових підходів. Два зображення «перцепційно однакові», якщо людське око не може розрізнити їх. Нехай X позначає специфічне зображення, а X' – змінену версію цього зображення, яке «перцепційно схоже на X у всіх практичних цілях». Нехай Y позначає зображення, яке «перцепційно несхоже» на X . Нехай L позначає кінцеву довжину хешування і нехай $HK(\cdot)$ позначає хеш функцію, яка використовує секретний ключ K . Ми використовуємо нормалізовану відстань Хеммінга $D(\cdot; \cdot)$ для того, щоб порівняти два значення хеш функції, яка є відношенням звичайної відстані Хеммінга і розміром введення. Для того, щоб спростити задачу, ми пропонуємо розділити її на 2 стадії:

1. Обчислити проміжне значення хеш функції. В кінці першої стадії отримуємо значення хеш функції, яке має довжину M , і має наступні властивості розподілення:

$$\begin{aligned} D(H_K(X), H_K(X')) < T_1 \\ D(H_K(X), H_K(Y)) > T_2 \end{aligned} \quad (1)$$

де $0 < T_1 < T_2 < 0,5$.

2. Обчислити кінцеве значення хеш функції. Враховуючи проміжне хешування, необхідно отримати рандомізаційне решіткове векторне квантування, для того щоб отримати кінцеве значення хеш функції.

Для вирішення поставленої задачі пропонується два алгоритми: алгоритм *A* і алгоритм *B*. Алгоритм *A* є детермінований і формує основу для першого та другого алгоритму, який використовує рандомізацію, щоб збільшити вивід ентропії та надійності. Задача розглядається як безповоротне стиснення, яке зменшує введення при збереженні сутності вхідного зображення, а також використовується дискретне перетворення Уолта [4], так як воно стисло фіксує характеристики зображення через час та частоту локалізації. Далі ми піднімаємо суттєві області за допомогою порогової класифікації. Щоб отримати надійність проти модифікацій, пропонується проста ітераційна методика фільтрації, яка зменшує наявність «геометрично слабких компонентів» і збільшує «геометрично сильні компоненти» за допомогою засобу росту області. Число потенційних меж більшості зображень досить велике, так як вивід заснований на геометричній структурі введеного зображення. Вивід запропонованої ітераційної системи фільтрації – стійка приваблива точка для області більш можливих малих модифікацій.

Розглянемо покроковий опис алгоритму *A*.

Алгоритм *A*.

1. Обчислити дискретне перетворення Уолта X до рівня L , де L – число рівнів дискретного перетворення Уолта. Нехай X' – результат піддіапазону прямого потоку.

2. Виконати операцію порогової обробки X_A , щоб отримати двійкове зображення M :

$$M(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{if } X_A(i, j) \geq T \\ 0 & \text{інакше} \end{cases}, \quad (2)$$

T – вибраний таким чином, що $W(M) \approx q$, де $0 < q < 1$ параметр алгоритму, $W(M)$ – нормалізована вага Хеммінга.

3. Обчислити геометричний ріст області. $M1 = M, ctr = 1$.

3.1. Виконати порядково-статистичне фільтрування $M1$. $M2 = S[m; n]; p(M1)$, де m, n і p параметри алгоритму.

3.2. Провести двомірне інваріантне фільтрування $M3$ через фільтр f , де $M3(i; j) = AM2(i; j); f$ і A параметри алгоритму. Нехай вихідним параметром буде $M4$.

3.3. Виконати операцію порогової обробки $M4$. Нехай $M5$ вихідний параметр, так як $W(M5) \approx q$.

3.4. Якщо $ctr \geq C$, то закінчити ітерацію і перейти до кроку 4. Якщо це не так, знайти $D(M5; M1)$; якщо його значення менше T , то закінчити ітерацію та перейти до кроку 4; якщо ні, то $M1 = M5$, $ctr = ctr + 1$ і перейти до кроку 3.1.

4. $H(X) = M5$.

5. Кінець алгоритму.

Підхід розглянутий в алгоритмі *A*, є загальним, дозволяє використовувати різні зміни зображення, фіксує характеристики зображення і при цьому досягається надійність. Використання рандомізації (отриманої із секретного ключа) важливе не тільки для надійності та захисту проти атак, а також для масштабності. Як було зазначено раніше, мета полягає в тому, щоб отримати однорідне розповсюдження значень хешування і значень вхідних параметрів, які будуть попарно незалежні. Алгоритм *A* не використовує секретного ключа, тому ми використовуємо $H(\cdot)$ замість $HK(\cdot)$.

Розглянемо покрокове описання алгоритму *B*. Введемо основні позначення. Нехай N буде кількістю прямокутників зображення; нехай R_i буде i -й прямокутник і нехай w_i і h_i будуть відповідно шириною і висотою R_i , де $i \in \{1, 2, \dots, N\}$. Нехай X_1 буде підзображення, яке сформовано за допомогою частини X , що знаходиться в R_i , $i \leq N$. Секретний ключ буде використовуватися як початок генератора випадкових чисел, який буде використатися для рандомізації всіх нижче зазначених кроків. Тепер переходимо до покрокового описання алгоритму *B*.

Алгоритм *B*.

1. Для кожного i випадковим чином знайти встановлений прямокутник R_i , таким чином щоб $w_s \leq w_i \leq w_l$ і $h_s \leq h_i \leq h_l$, де w_s, w_l, h_s, h_l параметри алгоритму.

2. Використати алгоритм *A* на всі $X1$; вихідними є $H(X_i), i \leq N$

3. Перетворити кожен матрицю $H(X_i)$ в одномірний вектор \hat{H}_i в вибіркового порядку. Об'єднати $\{\hat{H}_i\}, i \leq N$, щоб отримати \hat{H} .

4. Виконати випадкове планування \hat{H} . Нехай M буде довжиною \hat{H} . Випадково вибрати $\{i_1, i_2, \dots, i_M\} \subseteq \{1, 2, \dots, N\}$. Обчислити $HK(X) = [\hat{H}(i_1), \dots, \hat{H}(i_M)]$. Якщо N достатньо велике і R_i також, то геометричні стійкості алгоритму *A* зберігаються для алгоритму *B*.

5. Кінець алгоритму.

Подальшою перевагою використання алгоритмів A і B є зменшення колізійної ймовірності і підвищення стійкості проти атак через рандомізацію, але за рахунок складності, як наслідок, алгоритм A використовується для кожного зображення індивідуально.

Висновки

Запропонований ітераційно-геометричний метод хешування зображення використовує перцепційно суттєві компоненти зображень через методи ітеративного фільтрування. Метод базується на емпірично проглянутих фактах, які, у випадку атак, виробляють перцепційно схожі зображення. Алгоритми рандомізаційної векторно-решітчастої квантизації можливо використовувати на проміжне хешування, щоб провести заключне хешування. Даний підхід буде корисним для ідентифікації зображень в базах даних, при якому можливе проведення різних змін з зображенням, таких як стиснення та зміна формату, алгоритми загальної обробки сигналів, сканування чи створення водяних знаків. Розроблено базову кластеризацію, що дає можливість кластерам не зазнавати жодних втрат. Для не згрупованих векторів, що залишились, було представлено два підходи, що полегшують баланси стійкості та слабкості.

Література

1. Бабаш А.В. Криптографические методы защиты информации : учебник для студ. вузов / А.В. Бабаш, Е. К. Баранова. – М. : КНОРУС, 2016. – 190 с.
2. Батурин Ю.М. Компьютерная преступность и компьютерная безопасность / Ю.М. Батурин, А.М. Жодзинский. – М. : Юридическая литература, 2006. – 160 с.
3. Борисов М.А. Основы программно-аппаратной защиты информации : учеб. пособие для вузов / М. А. Борисов, И. В. Заводцев, И. В. Чижов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : ЛЕНАНД, 2016. – 416 с.
4. Нестеров С.А. Основы информационной безопасности : учебник / С. А. Нестеров. – СПб : Лань, 2017. – 423 с.
5. Шаньгин В. Ф. Информационная безопасность и защита информации / В.Ф. Шаньгин. – М. : ДМК Пресс, 2017. – 702 с.
6. Нетравали А. Н. Цифрові зображення: Представлення і компресія / А. Н. Нетравали, Б.Г. Хаскель. – Нью-Йорк, 2002. – 430 с.

References

1. Babash A.V. Kriptograficheskie metody zashity informacii : uchebnyk dlya stud. vuzov / A. V. Babash, E. K. Baranova. – M. : KNORUS, 2016. – 190 s.
2. Baturin Yu.M. Kompyuternaya prestupnost i kompyuternaya bezopasnost / Yu.M. Baturin, A.M. Zhodzinskij. – M. : Yuridicheskaya literatura, 2006. – 160 s.
3. Borisov M.A. Osnovy programmno-apparatnoj zashity informacii : ucheb. posobie dlya vuzov / M. A. Borisov, I. V. Zavodcev, I.V. Chizhov. – 4-e izd., pererab. i dop. – M. : LENAND, 2016. – 416 s.
4. Nesterov S.A. Osnovy informacionnoj bezopasnosti : uchebnyk / S. A. Nesterov. – SPb : Lan, 2017. – 423 s.
5. Shangin V. F. Informacionnaya bezopasnost i zashita informacii / V.F. Shangin. – M. : DMK Press, 2017. – 702 s.
6. Netravali A. N. Tsyfrovі zobrazhennia: Predstavleniia i kompressiia / A. N. Netravali, B.H. Khaskel – Niu-York, 2002. – 430 s.

Рецензія/Peer review : 3.1.2020 р. Надрукована/Printed : 14.2.2020 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

О.М. ДМИТРИК, В.І. БЕЗСМЕРТНА, Л.Є. ГАЛАВСЬКА

Київський національний університет технологій та дизайну

ВПЛИВ ТИПУ ПЛОСКОВ'ЯЗАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ НА ПЕТЕЛЬНУ СТРУКТУРУ ТРИКОТАЖУ, ВИРОБЛЕНОГО З СИРОВИНИ ПІДВИЩЕНОЇ МІЦНОСТІ ТА У ПОЄДНАННІ З МЕТАЛЕВОЮ МОНОНИТКОЮ

У даній статті представлено результати дослідження впливу типу плосков'язального обладнання на формоутворення петель з сировини підвищеної міцності, високомолекулярних поліетиленових та параарамідних ниток, а також у разі їх поєднання у процесі в'язання з металевою монониткою. У ході досліджень виявлено вплив типу плосков'язального обладнання та виду надміцної сировини на зміну форми осьової лінії нитки в петлі. Дослідні зразки трикотажу, вироблені на плоскофанговій машині типу ПВРК із загальним зусиллям відтягування полотна, характеризуються більшою висотою петель порівняно з їх шириною. У разі виконання операції відтягування за допомогою платин, як на рукавичному автоматі, на формоутворення петель більшою мірою впливають фізико-механічні характеристики параарамідних і поліетиленових ниток. Одержані вихідні дані, що характеризують геометрію нитки в петлі кулірного трикотажу, виробленого з високомолекулярної поліетиленової та параарамідної ниток, дозволяють перейти до етапу створення цифрових 3D прототипів його структури та реалізації віртуальних експериментів з визначення його фізико-механічних характеристик сучасними засобами комп'ютерних програм. Адаптація 3D моделі до опису геометрії ниток підвищеної міцності в структурі кулірного трикотажу дозволить моделювати його властивості у віртуальних програмах: ansys, abacus, autodesk simulation CFD.

Ключові слова: трикотаж технічного призначення, кулірний трикотаж, формоутворення петель з ниток підвищеної міцності, сировина підвищеної міцності, поліетиленова нитка, параарамідна нитка, металева мононитка.

O.M. DMYTRYK, V.I. BEZSMERTNA, L. Ye. HALAVSKA

Kyiv National University of Technologies and Design

INFLUENCE OF TYPE OF FLAT KNITTING EQUIPMENT ON THE LOOP STRUCTURE OF KNITWEAR FROM HIGH STRENGTH RAW MATERIALS AND IN COMBINATION WITH METAL MONOFILAMENT

This article presents the results of a research of the influence of the type of equipment on the formation of loops from raw materials of increased strength. For the task were selected high molecular weight polyethylene threads (UHMWPE), para-aramid threads and their combination with metal monofilament. Samples of knitted fabrics were made by plain knitted fabric, on two types of knitting equipment (8 gauge): a flat knitting machine PVRK and a glove machine PA-8-33. During knitting, the length of the thread in the loop remained unchanged ($l = 8,9$ mm). In the course of research, the influence of the type of equipment and the type of high strength raw materials on the change in the shape of the center line of the thread in the loop was revealed. Samples of knitwear produced on a flat knitted machine with general force of pulling the fabric are characterized by a greater height of the loops compared to their width. While fulfilling the pulling operation using the sinker, as on a glove machine, the physical-mechanical characteristics of para-aramid and polyethylene threads have a greater effect on the formation of loops. Polyethylene thread is a multifilament twisted yarn. In the process of converting it on knitting equipment, the smoothness of the surface of the UHMWPE thread leads to a significant change in its orientation in the structure of knitwear. Namely: the thread is redistributed from the needle and sinker arches to the loop base, as a result of which the height of the loop grows and its width decreases. Introduction of metal monofilament, rigid in structure, into the structure of knitwear, leads to the formation of a loop, the parameters of which are the same in height and width. The obtained initial data which characterizes the geometry of the thread in the loop of high-strength knitwear allows to go to the stage of creating digital 3D prototypes of its structure and implementing virtual experiments to determine its physical and mechanical characteristics using modern computer software. The adaptation of the 3D model to the description of the geometry of high-strength yarns in the structure of knitwear will allow to model its properties in virtual programs: ansys, abacus, autodesk simulation CFD.

Keywords: technical knitwear, weft knitting, forming loops from threads of increased strength, raw materials of increased strength, polyethylene thread (UHMWPE), para-aramid thread, metal monofilament.

Вступ

Одним з пріоритетних завдань текстильної галузі України у час відстоювання територіальної цілісності на Сході нашої держави залишається розробка якісних текстильних матеріалів з прогнозованими споживними характеристиками для потреб оборонно-промислового комплексу. Широке використання текстилю для виготовлення засобів індивідуального захисту від дії механічних ушкоджень стало можливим завдяки появі сировини підвищеної міцності різноманітного походження: вуглецеві, скляні, керамічні, кварцеві, метаарамідні, параарамідні та поліетиленові волокна й нитки.

Дані, що характеризують геометрію нитки в петлі кулірного трикотажу переплетення гладь, виробленого з поліетиленової та параарамідної ниток, дозволяють перейти до етапу 3D моделювання його структури та реалізації віртуальних експериментів з визначення його фізико-механічних характеристик у сучасних САПР та подальше створення трикотажу технічного призначення з прогнозованими споживними властивостями. Реалізація експериментальних досліджень дозволить встановити параметри петель, що визначають їх формоутворення залежно від виду надміцної сировини та особливостей процесу петлетворення на тому чи іншому типі в'язального обладнання. Вирішення питання адекватності математичного опису структури проектного трикотажу та створення його тривимірних геометричних

моделей (3D моделей) для проведення віртуальних експериментів в комп'ютерних системах імітаційного моделювання дозволить, у свою чергу, виключити необхідність виготовлення реальних зразків трикотажу та проводити натуральні експерименти з метою створення текстильного матеріалу з прогнозованими фізико-механічними характеристиками.

Постановка задачі

Аналіз науково-технічної та патентної літератури показав, що у даний час недостатньо вивчено вплив умов переробки надміцної сировини у текстильний матеріал, зокрема вплив процесу в'язання та типу в'язального обладнання, на характеристики ниток підвищеної міцності. Наявна в літературних джерелах інформація не дає надійних відомостей при порівняльних випробуваннях ниток підвищеної міцності із застосуванням ідентичних методів, ускладнює зіставлення властивостей ниток і оптимізацію їх застосування. Крім того, відсутні відомості щодо впливу типу в'язального обладнання на нормальний перебіг процесу петлетворення, геометрію осьової лінії нитки в петлях трикотажу, що є важливим етапом розробки цифрових 3D прототипів структури кулірного трикотажу для реалізації віртуальних експериментів з прогнозування фізико-механічних характеристик трикотажу підвищеної міцності.

Авторами роботи [5] досліджено вплив параметрів в'язання на структурні характеристики трикотажу, виготовленого з високомолекулярних поліетиленових ниток на сучасній в'язальній машині Stoll CMS 330 10 класу. Встановлено, що найбільший вплив на властивості трикотажу має глибина кулірування, саме цей технологічний параметр процесу в'язання визначає довжину нитки в петлі, а відповідно і щільність в'язання. Однак у роботі відсутні відомості щодо впливу виду сировини на формування петель в структурі кулірного трикотажу, що є не менш важливим чинником, що впливає на показники якості трикотажу з сировини підвищеної міцності і відповідно сфери його подальшого застосування.

У роботі [6] реалізовано однофакторний експеримент з визначення характеру впливу глибини кулірування на параметри структури трикотажу, виробленого подвійним кулірним переплетенням виворітний ластик, виробленого з високомолекулярних поліетиленових ниток. При цьому натяг нитки та зусилля відтягування залишалися незмінними. Особливістю обраної структури є шахове чергування лицьових та виворітних петель у петельних рядах. Дослідні зразки трикотажу вироблені на двофонтурній плосков'язальній машині Stoll CMS 330 10 класу. На підставі проведеної математичної обробки експериментальних даних авторами встановлено відповідні регресійні залежності. Однак відсутні відомості щодо впливу глибини кулірування на формування петель.

Авторами іншої роботи [7] описано особливості переробки високомолекулярної поліетиленової нитки на двох типах плосков'язального обладнання, які відрізняються за принципом виконання відтягування полотна та наявністю платин на одному з них. У роботі надано обґрунтування причини зміни типу в'язального обладнання. Однак відсутній порівняльний аналіз процесу в'язання на обраних двох типах плосков'язального обладнання.

У роботі [8] проаналізовано в'язальну здатність високомолекулярної поліетиленової нитки торгової марки Doyentrontex фірми «Beijing Tongyizhong» (Китай) 132 текс при переробці її в структуру подвійних кулірних переплетень: ластик 1+1, комбіновані на базі ластика і гладі на двофонтурній плосков'язальній машині 6 класу. Авторами візуально за показником поверхневого заповнення трикотажу та рівномірністю петельної структури полотна встановлено, що переробка надміцної нерозтяжної нитки значно впливає і на форму структурних елементів у порівнянні з елементами структури трикотажу з традиційної сировини. Однак відсутні інформація про чисельні показники зміни форми осьової лінії нитки в петлях трикотажу.

Авторами роботи [9] досліджено характер зміни геометричних параметрів поліетиленової та параарамідної ниток в структурі трикотажу переплетення «кулірна гладь» під дією епоксидного зв'язуючого. Однак у роботі не наведено заправні дані вироблення дослідних зразків трикотажу.

Робота [10] направлена на розробку трикотажу підвищеної міцності для захисту рук від механічних небезпек. Дослідні зразки трикотажу трубчастого форми вироблені з високомолекулярної поліетиленової нитки торгової марки Doyentrontex компанії «Beijing Tongyizhong» (Китай) на в'язальному обладнанні двох типів. Автором роботи проаналізовано переваги та недоліки виготовлення трикотажу на обраних двох типах плосков'язального обладнання: плоскофангова машина ПВРК та рукавичний автомат ПА-8-33. Досліджено стійкість трикотажу до порізу, розривальне навантаження та розривальне видовження по довжині трикотажу. Однак у роботі відсутні відомості щодо впливу типу в'язального обладнання на втрату міцності ниток після в'язання та геометрію нитки в структурі трикотажу.

Аналіз вищенаведених робіт дозволив зробити висновок, що одержані результати досліджень не дають відомостей про поведінку поліетиленових та параарамідних ниток підвищеної міцності при їх переробці на в'язальному обладнанні різних типів. Тому вивчення впливу виду надміцної сировини та типу плосков'язального обладнання на формування петель кулірного трикотажу є актуальною задачею з точки зору подальшого використання одержаного банку даних для побудови тривимірних геометричних моделей (3D моделей) та їх подальшого використання у проведенні віртуальних експериментів в комп'ютерних системах імітаційного моделювання.

Експериментальна частина

При створенні трикотажу з сировини підвищеної міцності з прогнозованими фізико-механічними характеристиками важливо розуміти як впливає процес в'язання трикотажу та вид сировини на формування петель. Дослідні зразки трикотажу вироблено одинарним кулірним переплетенням гладь з

двох видів надміцної сировини: високомолекулярних поліетиленових (ПЕ) та параарамідних (ПА) ниток. Крім того, додатково в структуру трикотажу у процесі в'язання введено металеву мононитку діаметром 0,12 мм, що дозволить підвищити його міцність та формостійкість. Вироблення дослідних зразків трикотажу виконано на двох типах плосков'язального обладнання 8 класу: плоскофанговій машині типу ПВРК та рукавичному автоматі ПА-8-33 (РА). При цьому довжина нитки в петлі залишалась незмінною ($\ell=8,9$ мм). Заправні дані та параметри структури розроблених зразків трикотажу наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Параметри структури дослідних зразків трикотажу

Номер зразка	Тип в'язального обладнання	Вид сировини	Лінійна густина, текс	Щільність по горизонталі, Nc	Щільність по вертикалі, Np	Товщина, мм	Поверхнева густина, г/м ²
1	ПВРК	ПЕ	44X2	46	35	0,8	177,9
2		ПА	92	40	53	0,7	192,5
3		ПЕ металева нитка	44X2 0,12 мм	38	36	0,85	304,2
4		ПА металева нитка	92 0,12 мм	39	51	0,79	312,0
5	РА	ПЕ	44X2	31	52	1,1	191,0
6		ПА	92	38	52	1,0	196,0
7		ПЕ металева нитка	44X2 0,12 мм	27	56	1,2	306,8
8		ПА металева нитка	92 0,12 мм	39	51	1,12	323,7

Для обох обраних типів плосков'язального обладнання процес петлетворення протікає за в'язальним способом, тобто кулірування (згинання) нитки відбувається у момент опускання внутрішньої точки гачка голки нижче відбійної площини. Відмінність у виконанні процесу петлетворення полягає у тому, що на рукавичному автоматі у процесі петлетворення приймають участь платини, які не лише створюють своїми підборіддями відбійну площину, а й забезпечують виконання зосередженої на платинних дугах петель операції відтягування (рис. 1). При цьому на плоскофанговій машині типу ПВРК реалізується загальне відтягування, тобто зусилля відтягування прикладене в цілому до полотна і забезпечується за допомогою гребінки з тягарцями (рис. 2).

Рис. 1.
Фотозображення виконання операцій процесу петлетворення на рукавичному автоматі ПА-8-33 з використанням платин



Рис. 2. Фотозображення виконання операцій процесу петлетворення на плоскофанговій машині типу ПВРК без використання платин



Слід зауважити, що внаслідок значної жорсткості параарамідних ниток при їх переробці на рукавичному автоматі зосередженого на платинних дугах петель зусилля відтягування, створеного горловинами платин, що тиснуть на платинні дуги сформованих у попередньому циклі петлетворення петель, виявилось недостатньо. Це призвело до формування у структурі трикотажу витягнутих пресових петель. Створене за допомогою підвищування до полотна тягарців сумарною вагою 596 г додаткове зусилля відтягування, дозволило забезпечити нормальний перебіг процесу петлетворення.

Для визначення характеристик форми петель,

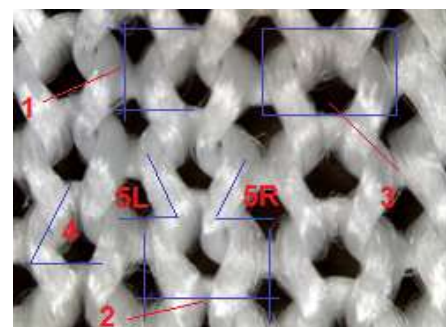


Рис. 3. Досліджувані лінійні розміри петель в структурі кулірного трикотажу

використано електронний мікроскоп (usb digital microscope MM-2288-5X-BH) та спеціалізовану програму SHINY VISION для роботи з макрозображеннями. У роботі встановлено наступні лінійні розміри петель: висота петлі – 1, ширина петлі – 2, площа петлі – 3, кут нахилу дотичної у точці переплетення – 4, кут нахилу паличок остова петлі: ліва паличка – 5L, права паличка – 5R (рис. 3). Отримані дані лінійних розмірів петель дослідних зразків трикотажу наведено у таблиці 2.

Таблиця 2

Лінійні розміри петель дослідних зразків трикотажу

Номер зразка	Ширина петлі, мм	Висота петлі, мм	Площа петлі, мм ²	Кут нахилу палички, °		Кут нахилу дотичної у точці переплетення, °
				L	R	
1	1,950	2,550	4,97	65,61		46,486
2	2,474	1,772	4,40	96,5	64,1	60,303
3	2,295	2,318	5,32	61,53		42,496
4	1,844	1,901	3,50	79,8	67,8	68,996
5	2,549	1,470	3,75	58,7		58,208
6	2,388	2,038	4,90	76	75,9	77,748
7	2,582	1,620	4,18	72,37		61,482
8	2,377	2,412	5,70	75,4	75,9	70,995

Для того, щоб з'ясувати який з видів сировини більш чутливий до впливу типу в'язального обладнання та введення у структуру металевої мононитки на з точки зору геометрії нитки в петлі, нами проведено порівняльний аналіз одержаних результатів експериментальних досліджень. На підставі даних таблиць 1 та 2 побудовано діаграми (рис. 4–8), які наглядно ілюструють вплив зміни виду сировини та типу в'язального обладнання на вищезазначені лінійні розміри петель.

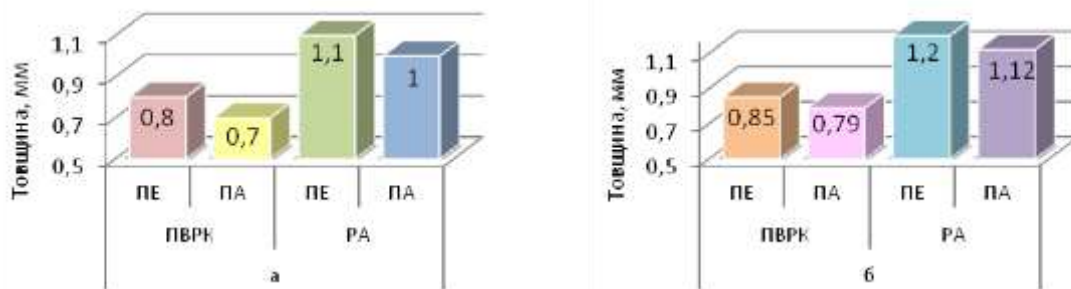


Рис. 4. Діаграми товщини дослідних зразків трикотажу з поліетиленової та параарамідної ниток: а – без металевої мононитки, б – з металевою монониткою

З діаграм, наведених на рис. 4, видно як в межах використання одного типу в'язального обладнання відрізняється товщина поліетиленової та параарамідної ниток (рис. 4,а) в структурі трикотажу, а також у разі поєднання їх з металевою монониткою (рис. 4,б).

Товщина дослідних зразків трикотажу з ПА нитки без введення у структуру металевої мононитки (зразки 2 та 6), порівняно з трикотажем з ПЕ нитки (зразки 1 та 5) незалежно від типу в'язального обладнання зменшується, а саме: товщина з ПА нитки порівняно з ПЕ без вв'язування металевої мононитки у разі вироблення трикотажу на машині ПВРК зменшується на 12,5%, у разі в'язання на РА – на 9,1%.

Аналіз одержаних результатів товщини дослідних зразків трикотажу з ПЕ (зразки 3 та 7) та ПА (зразки 4 та 8) ниток з введеною у структуру металевою монониткою дозволив з'ясувати наступне: незалежно від типу в'язального обладнання товщина трикотажу з ПА нитки порівняно з ПЕ ниткою зменшується. А саме: у разі вироблення на плосков'язальній машині типу ПВРК товщина трикотажу з ПА нитки порівняно з ПЕ з вв'язуванням металевої мононитки зменшується на 7%, у разі зміни типу в'язального обладнання на РА – на 6,7%.

З діаграм, наведених на рис. 5 видно, як в межах використання одного типу в'язального обладнання відрізняється ширина петлі трикотажу, виробленого з ПЕ та ПА ниток (рис. 5,а), а також у разі поєднання їх з металевою монониткою (рис. 5,б).

Ширина петлі трикотажу без введення у структуру металевої мононитки, виробленого з ПА нитки (зразки 2 та 6), порівняно з трикотажем з ПЕ нитки (зразки 1 та 5) залежно від типу в'язального обладнання також змінюється, а саме: у разі вироблення трикотажу на машині ПВРК збільшується на 26,7%, у разі в'язання на РА зменшується на 6,3%.

Аналіз одержаних результатів щодо ширини петлі трикотажу з ПЕ (зразки 3 та 7) та ПА (зразки 4 та 8) ниток дослідних зразків трикотажу з введеною у структуру металевою монониткою дозволив з'ясувати наступне: незалежно від типу в'язального обладнання ширина петлі трикотажу з ПА нитки порівняно з ПЕ ниткою зменшується, а саме: у разі вироблення на плоскофанговій машині типу ПВРК ширина петлі трикотажу з ПА нитки порівняно з ПЕ з вв'язуванням металевої мононитки зменшується на 20%, у разі зміни типу в'язального обладнання на рукавичний автомат (РА) – на 8,1%.

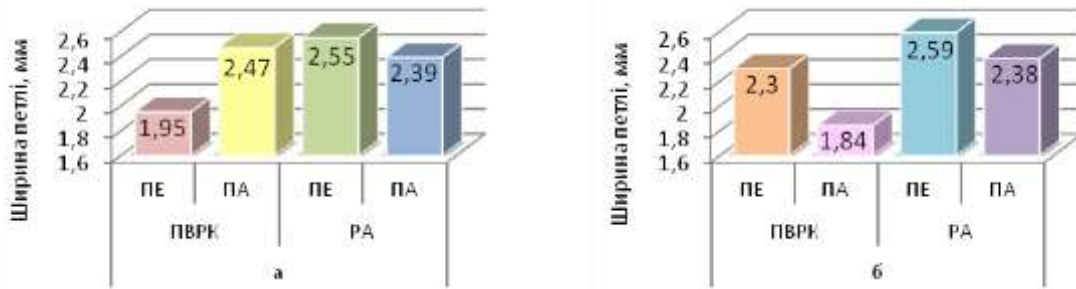


Рис. 5. Діаграми ширини петлі дослідних зразків трикотажу з поліетиленової та параарамідної ниток: а – без металевої мононитки, б – з металевою монониткою

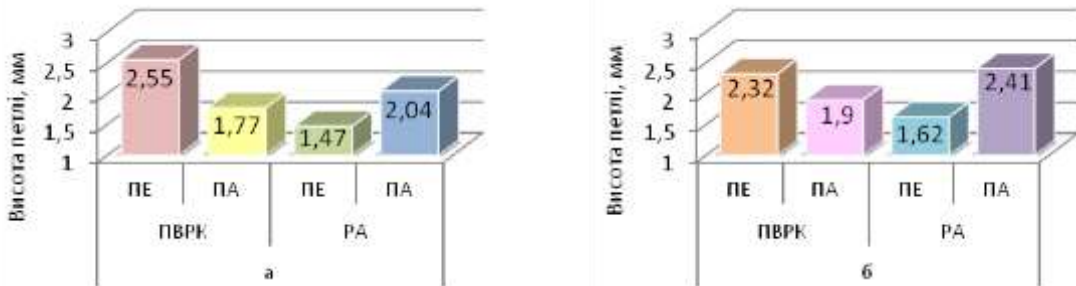


Рис. 6. Діаграми висоти петлі дослідних зразків трикотажу з поліетиленової та параарамідної ниток: а – без металевої мононитки, б – з металевою монониткою

З діаграм, наведених на рис. 6 видно, як в межах використання одного типу в'язального обладнання відрізняється висота петлі трикотажу, виробленого з поліетиленової (ПЕ) та параарамідної (ПА) ниток (рис. 6,а), а також у разі поєднання їх з металевою монониткою (рис. 6,б).

Висота петлі дослідних зразків трикотажу без введення у структуру металевої мононитки з ПА нитки (зразки 2 та 6), порівняно зі зразками трикотажу з ПЕ нитки (зразки 1 та 5) залежно від зміни в'язального обладнання також змінюється, а саме: у разі вироблення трикотажу на машині типу ПВРК зменшується на 30,6%, у разі в'язання на РА збільшується на 38,8%.

У разі введення у структуру металевої мононитки виявлено, що при зміні типу в'язального обладнання висота петлі зразків трикотажу з ПА (зразки 4 та 8) нитки порівняно зі зразками з ПЕ (зразки 3 та 7) нитки змінюється наступним чином: у разі вироблення на машині ПВРК висота петлі трикотажу з ПА нитки порівняно з ПЕ з вв'язуванням металевої мононитки зменшується на 18,1%, у разі зміни типу в'язального обладнання на РА збільшується на 48,8%.

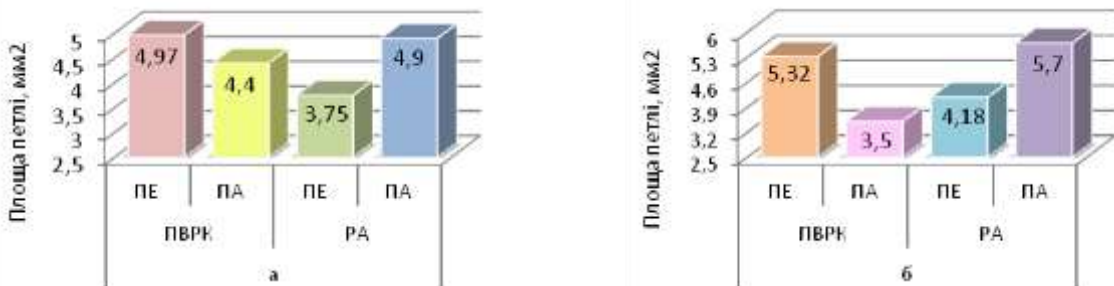


Рис. 7. Діаграми площі петлі дослідних зразків трикотажу з поліетиленової та параарамідної ниток: а – без металевої мононитки, б – з металевою монониткою

Діаграми, наведені на рис. 7 наглядно ілюструють як у межах використання одного типу в'язального обладнання відрізняється площа петлі трикотажу, виробленого з поліетиленової та параарамідної ниток (рис.7, а), а також у разі поєднання їх з металевою монониткою (рис. 7,б).

Площа петлі дослідних зразків трикотажу без введення у структуру металевої мононитки з ПА нитки (зразки 2 та 6), порівняно зі зразками з ПЕ нитки (зразки 1 та 5) залежно від типу в'язального обладнання змінюється наступним чином: у разі вироблення трикотажу на машині ПВРК зменшується на 11,5%, у разі в'язання на РА збільшується на 30,7%.

Введення у структуру трикотажу металевої мононитки призводить до наступних змін площі петлі у разі вироблення дослідних зразків з ПЕ (зразки 3 та 7) та ПА (зразки 4 та 8) ниток у разі вироблення на машині ПВРК площа петлі трикотажу з ПА нитки порівняно з трикотажем з ПЕ нитки з вв'язуванням металевої мононитки зменшується на 34,2%, у разі зміни типу в'язального обладнання на РА збільшується на 36,4%.

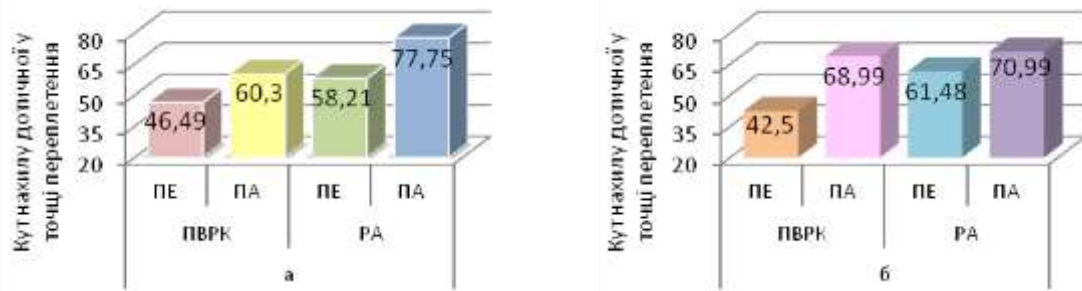


Рис. 8. Діаграми кута нахилу дотичної у точці переплетення дослідних зразків трикотажу з поліетиленовою та параарамідною ниток: а – без металевої мононитки, б – з металевою монониткою

Кут нахилу дотичної у точці переплетення є характеристикою петлі, що впливає на формування її осевої лінії нитки в структурі трикотажу. Саме цей параметр форми петлі використовується під час побудови 3D моделі структури трикотажу. Діаграми, наведені на рис.8а ілюструють вплив виду надмічної сировини на формоутворення петель у разі незмінного типу в'язального обладнання, діаграми на рис. 8,б у випадку їх поєднання з металевою монониткою.

Кут нахилу дотичної у точці переплетення дослідних зразків трикотажу без введення у структуру металевої мононитки з ПА нитки (зразки 2 та 6), порівняно зі зразками з ПЕ нитки (зразки 1 та 5) незалежно від типу в'язального обладнання збільшується, а саме: у разі вироблення трикотажу на машині типу ПВРК збільшується на 29,7%, у разі в'язання на РА – на 33,6%.

Аналіз одержаних результатів кута нахилу дотичної у точці переплетення трикотажу з ПЕ (зразки 3 та 7) та ПА (зразки 4 та 8) ниток дослідних зразків трикотажу з введеною у структуру металевою монониткою дозволив з'ясувати наступне: незалежно від типу в'язального обладнання кут нахилу дотичної у точці переплетення трикотажу з ПА нитки порівняно з трикотажем з ПЕ нитки збільшується. Зокрема у разі вироблення на машині типу ПВРК з ПА нитки порівняно з ПЕ з вв'язуванням металевої мононитки збільшується на 62,3%, у разі зміни типу в'язального обладнання на РА збільшується на 15,5%.

Висновки

У результаті проведених досліджень встановлено, що на формоутворення петель кулірного трикотажу з високомолекулярних поліетиленових та параарамідних ниток, за умови однакової довжини нитки в петлі та класу в'язального обладнання, впливають особливості виконання окремих операцій процесу петлетворення: кулірування, формування та відтягування. Це, у свою чергу, безпосередньо залежить від типу в'язального обладнання та конструкції робочих органів, задіяних при виконанні окремих операцій процесу петлетворення. Введення у структуру трикотажу металевої мононитки також призводить до зміни форми осевої лінії нитки в петлі.

У результаті дослідження параметрів структури та лінійних вимірів петель виявлено, що за умови збереження незмінної довжини нитки в петлі ($l=8,9$ мм), введення металевої нитки та зміна типу в'язального обладнання з плоскофангової машини типу ПВРК на рукавичковий автомат типу ПА-8-33 призводить до деформації петельної структури трикотажу, що може призвести до функціональних змін готової продукції з нього. Такі зміни у формоутворенні петель пов'язані не лише з особливостями протікання процесу петлетворення, а й обумовлені фізико-механічними характеристиками надмічної сировини. Поліетиленова нитка представляє собою багатофіламентну не кручену нитку, яка у процесі її переробки на в'язальному обладнанні внаслідок гладкості поверхні призводить до суттєвої зміни орієнтації нитки в структурі трикотажу, а саме: відбувається перерозподіл нитки з голкових та платинних дуг у палички остова петлі, внаслідок чого висота петлі зростає, а її ширина зменшується. При цьому параарамідна нитка характеризується більшою жорсткістю, що впливає на формування опуклої форми петлі і близьких за розмірами її висоти та ширини. У разі введення у структуру металевої мононитки внаслідок її значної жорсткості незалежно від виду основної сировини фігура, в яку вписана петля, близька до квадрату.

Література

1. Полотна и изделия трикотажные. Методы определения линейных размеров, перекоса, числа петельных рядов и петельных столбиков и длины нити в петле : ГОСТ 8846-87.
2. Дмитрик О.М. Дослідження впливу типу плосков'язального обладнання на форму петель трикотажу з сировини підвищеної міцності / О. М. Дмитрик // Наукові розробки молоді на сучасному етапі : тези доповідей XVII Всеукраїнської наукової конференції молодих вчених та студентів (26-27 квітня 2018 р., Київ). Т. 1: Сучасні матеріали і технології виробництва виробів широкого вжитку та спеціального призначення. – Київ : КНУТД, 2018. – С. 266–267.
3. Дмитрик О.М. Дослідження впливу особливостей виконання операції кулірування на плосков'язальному обладнанні на якість петельної структури трикотажу, виробленого з параарамідної нитки у поєднанні з металевою монониткою / О.М. Дмитрик // Наукові розробки молоді на сучасному етапі : тези доповідей XVIII Всеукраїнської наукової конференції молодих вчених та студентів (18-19 квітня 2019 р., Київ). Т. 1: Сучасні матеріали і технології виробництва виробів широкого вжитку та спеціального

призначення. – Київ : КНУТД, 2019. – С. 221–222.

4. Ключко О.І. Дослідження у трикотажній галузі : навчальний посібник / О.І. Ключко. – К. : КНУТД, 2006.

5. 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. 133–136.

6. Боброва С. Ю. Дослідження параметрів структури трикотажу з високомолекулярних поліетиленових ниток / С. Ю. Боброва, Л. Є. Галавська // Стан і перспективи розвитку хімічної, харчової та парфумерно-косметичної галузей промисловості : матеріали Всеукраїнської конференції, м. Херсон, 22-23 травня 2018 року. – Херсон : ХНТУ, 2018. – С. 42-43.

7. Шиби́рин К. А. Розробка трикотажу підвищеної міцності, що використовується для захисту рук від дії механічних пошкоджень / К. А. Шиби́рин, А. М. Габелко // Наукові розробки молоді на сучасному етапі : тези доповідей XVI Всеукраїнської наукової конференції молодих вчених та студентів (27-28 квітня 2017 р., Київ). Т. 1 : Сучасні матеріали і технології виробництва виробів широкого вжитку та спеціального призначення. – К. : КНУТД, 2017. – С. 306-307.

8. Боброва С. Ю. Розробка структури трикотажу з використанням надміцної сировини на плосков'язальному обладнанні / С. Ю. Боброва, Л. Є. Галавська, Д. А. Бахмач // Тези доповідей II Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасний стан легкої і текстильної промисловості: інновації, ефективність, екологічність», (27–28 жовтня 2016 р.). – Херсон : Видавництво ХНТУ, 2016. – С. 43–45.

9. Калюжний В. Є. Геометрія нитки у структурі трикотажних композитів / В. Є. Калюжний, Т. В. Єліна, Л. Є. Галавська // Збірник матеріалів III Міжнародної науково-практичної конференції текстильних та фешн технологій KyivTex&Fashion. (31 жовтня 2019 р., м. Київ) / за заг. ред. Л. І. Зубкової. – Київ : КНУТД, 2019. – С. 223–226.

10. Боброва С. Ю. Розробка трикотажу для захисту рук від механічних небезпек / С. Ю. Боброва // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2018. – № 5. – С. 242–246.

References

1. Polotna i izdeliya trikotazhnye. Metody opredeleniya lineynykh razmerov, perekosa, chisla petelnykh ryadov i petelnykh stolbikov i dliny niti v petle : GOST 8846-87.

2. Dmytryk O.M. Doslidzhennia vplyvu typu ploskoviazalnogo obladnannia na formu petel trykotazhu z syrovyny pidvyshchenoi mitsnosti / O. M. Dmytryk // Naukovi rozrobky molodi na suchasnomu etapi : tezy dopovidei XVII Vseukrainskoi naukovoi konferentsii molodykh vchenykh ta studentiv (26-27 kvitnia 2018 r., Kyiv). T. 1: Suchasni materialy i tekhnologii vyrobnytstva vyrobiv shyrokooho vzhytku ta spetsialnoho pryznachennia. – Kyiv : KNU TD, 2018. – S. 266–267.

3. Dmytryk O.M. Doslidzhennia vplyvu osoblyvosti vykonannia operatsii kuliruvannia na ploskoviazalnomo obladnanni na yakist petelnoi struktury trykotazhu, vyroblenoho z paraamidnoi nytky u poiednanni z metalevoiu mononytkoiu / O.M. Dmytryk // Naukovi rozrobky molodi na suchasnomu etapi : tezy dopovidei XVIII Vseukrainskoi naukovoi konferentsii molodykh vchenykh ta studentiv (18-19 kvitnia 2019 r., Kyiv). T. 1: Suchasni materialy i tekhnologii vyrobnytstva vyrobiv shyrokooho vzhytku ta spetsialnoho pryznachennia. – Kyiv : KNU TD, 2019. – S. 221–222.

4. Klochko O.I. Doslidzhennia u trykotazhni haluzi : navchalnyi posibnyk / O.I. Klochko. – K. : KNU TD, 2006.

5. Bobrova S.Yu. Vplyv parametrov viazannia na strukturni kharakterystyky trykotazhu, vygotovlenoho z vysokomolekuliarnykh polietylenovykh nytok / S. Yu. Bobrova, L. Ye. Halavska, L. A. Synkova // Visnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. – 2018. – № 4. – S. 133–136.

6. Bobrova S. Yu. Doslidzhennia parametrov struktury trykotazhu z vysokomolekuliarnykh polietylenovykh nytok / S. Yu. Bobrova, L. Ye. Halavska // Stan i perspektyvy rozvytku khimichnoi, kharchovoi ta parfumerno-kosmetichnoi haluzei promyslovosti : materialy Vseukrainskoi konferentsii, m. Kherson, 22-23 travnia 2018 roku. – Kherson : KhNTU, 2018. – S. 42-43.

7. Shybyryn K. A. Rozrobka trykotazhu pidvyshchenoi mitsnosti, shcho vykorystovuietsia dlia zakhystu ruk vid dii mekhanichnykh poskodzen / K. A. Shybyryn, A. M. Habelko // Naukovi rozrobky molodi na suchasnomu etapi : tezy dopovidei XVI Vseukrainskoi naukovoi konferentsii molodykh vchenykh ta studentiv (27-28 kvitnia 2017 r., Kyiv). T. 1 : Suchasni materialy i tekhnologii vyrobnytstva vyrobiv shyrokooho vzhytku ta spetsialnoho pryznachennia. – K. : KNU TD, 2017. – S. 306-307.

8. Bobrova S. Yu. Rozrobka struktury trykotazhu z vykorystanniam nadmitsnoi syrovyny na ploskov'iazalnomo obladnanni / S. Yu. Bobrova, L. Ye. Halavska, D. A. Bakhmach // Tezy dopovidei II Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Suchasnyi stan lehkoї i tekstylnoi promyslovosti: innovatsii, efektyvnist, ekolohichnist», (27–28 zhovtnia 2016 r.). – Kherson : Vydavnytstvo KhNTU, 2016. – S. 43–45.

9. Kaliuzhnyi V. Ye. Neometriia nytky u strukturi trykotazhnykh kompozytiv / V. Ye. Kaliuzhnyi, T. V. Yelina, L. Ye. Halavska // Zbirnyk materialiv III Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii tekstylnykh ta feshn tekhnologii KyivTex&Fashion. (31 zhovtnia 2019 r., m. Kyiv) / za zah. red. L. I. Zubkovoї. – Kyiv : KNU TD, 2019. – S. 223–226.

10. Bobrova S. Yu. Rozrobka trykotazhu dlia zakhystu ruk vid mekhanichnykh nebezpek / S. Yu. Bobrova // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2018. – № 5. – S. 242–246.

Рецензія/Peer review : 20.1.2020 р.

Надрукована/Printed : 14.2.2020 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Березненко С.М.

А. В. ДУДАТЬЄВ, О. П. ВОЙТОВИЧ, В. В. МИРОНЮК
Вінницький національний технічний університет

ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНІ ЦЕНТРИ В УПРАВЛІННІ ІНФОРМАЦІЙНОЮ БЕЗПЕКОЮ ДЕРЖАВИ

Запропоновано модель «інформаційного портрету» об'єкта захисту від локального до держави. Наведена схема інформаційного забезпечення інформаційно-аналітичного центру. На базі отриманих результатів запропонована методологія побудови трьохрівневої політики безпеки, спрямованої на державу, регіон та локальний об'єкт.

Ключові слова: інформаційно-аналітичний центр, інформаційний портрет об'єкта захисту, політика безпеки, інформаційна безпека держави.

A.V. DUDATYEV, O. P. VOITOVYCH, V. V. MIRONIYUK
Vinnytsia National Technical University

INFORMATION-ANALYTICAL CENTERS OF THE STATE INFORMATION SECURITY MANAGEMENT

The methodological basis of the informational-analytic center creation for the state information security management is proposed. The analysis of the existing results upside of the informational-analytic center designing and information support definition in the state management system is carried out. The approach on practical realization of two main tasks, namely assessment and assurance of the information security certain level is proposed. Such approach allows to effectively implement the process of information security management, that is, to implement appropriate situational models, algorithms, rules, etc. Information-analytical work is impossible without effective information support. The analysis shows that the information security management of the state is a multilevel process. Today there is no single understanding of this process, however. The reason is the lack of a consistent methodology of the state information security management system. The methodology that enables effective information-analytical research to provide information support is solving the following tasks: the problem of forecasting and timely detection of information security threats, creating conditions for likelihood minimizing of threats implementation, creating conditions and mechanisms for responding to new threats, countermeasures organization of information-cybernetic and information-psychological operations, countermeasures effectiveness assessment carrying out. The approach to the construction of methodological bases for the information-analytical centers (services) creation in the system of the state information security management is proposed, namely: the model of information profile of the protected object, which allows to formalize the task by the "object - group of objects (region) – state" level; the structural model of the information-analytical center, which includes models of the protected object profile; the method of providing comprehensive information security at the "object - object group (region) – state" level using the proposed models and structures.

Keywords: informational-analytic center, protected object information profile, security policy, state information security.

Вступ

Процес оцінювання та забезпечення заданого рівня інформаційної безпеки держави (ІБД) супроводжується роботою з великою кількістю різноманітної інформації, серед якої доцільно виділити інформацію щодо множини загроз, потенційних порушників, власне самого об'єкта захисту, середовищ, що оточують об'єкт захисту тощо. Необхідно також враховувати залежність рівня ІБД від рівня інформаційної безпеки на локальних об'єктах захисту – окремих підприємствах, установах, організаціях, в першу чергу критичних інфраструктур, порушення інформаційної безпеки яких може призвести до глобальних змін у стані держави в цілому. В напрямку управління інформаційною безпекою підвищився обсяг інформації та динаміка її змін, тому загострюється необхідність оперативного і адекватного реагування на ситуацію, що формується у реальному часі. Необхідність ефективного рішення задачі оцінювання і забезпечення рівня інформаційної безпеки підвищується під час проведення інформаційного протидіювання, зокрема проведення спеціальних інформаційно-психологічних операцій (ІПО) проти соціальної складової соціотехнічних систем (СТС), яке може відбуватися як на рівні окремих підприємств, групи підприємств, так і держави в цілому.

Актуальність створення інформаційно-аналітичного центру обумовлено багатьма факторами, зокрема: необхідністю реалізації комплексного підходу щодо управління ІБД, розв'язання задач прогнозування рівня ІБД, необхідністю реалізації багаторівневої системи управління ІБД. Тому забезпечення процесу управління інформаційною безпекою держави потребує системного підходу до оцінювання рівня загроз, ймовірних порушників, аналізу інформаційних ризиків на всіх рівнях управління інформаційною безпекою.

Метою роботи є розробка методологічних засад для побудови інформаційно-аналітичного центру управління інформаційною безпекою держави.

Задачами дослідження є:

- розробка інформаційного портрету об'єкта захисту;
- розробка структурної моделі інформаційно-аналітичного центру;
- розробка методу забезпечення комплексної інформаційної безпеки.

Аналіз досліджень та публікацій

Відповідно до наказу президента України № 415/2019 від 19.06.2019 був створений національний координаційний центр кібербезпеки, який почав функціонувати при Раді національної безпеки і оборони України. Перед центром поставлено багато складних наукоємних завдань, зокрема: здійснення аналізу стану

кібербезпеки, участь у розробленні галузевих індикаторів стану кібербезпеки, прогнозування та виявлення потенційних та реальних загроз у сфері кібербезпеки України, удосконалення нормативно-правової бази у сфері забезпечення кібербезпеки України, зокрема правового регулювання у сфері відповідальності суб'єктів сектору безпеки і оборони, які забезпечують кібербезпеку України, механізмів взаємодії між ними, оперативне інформаційно-аналітичне забезпечення Ради національної безпеки і оборони України з питань кібербезпеки тощо. У роботі [1] запропоновано теоретичний підхід до інформаційного забезпечення в системі державного управління у воєнній сфері. У роботі [2] пропонується модель підтримки рішень управління інформаційною безпекою, також структурна модель багаторівневого інформаційно-аналітичного центру, діяльність якого спрямовується саме на розв'язок аналогічних задач. Метод виявлення вразливостей об'єкта захисту представлений у роботі [3]. У роботі [4] наведено моделі оцінки стану підприємства від витоку інформації, але в наведених роботах не запропоновано загальний методологічний підхід щодо створення ІАЦ, забезпечення його відповідними інформаційними ресурсами та його подальшого функціонування.

Основна частина

Для створення ефективної структурної моделі ІАЦ необхідно розширити методологічну базу, яка включає теоретичні та методологічні основи проведення інформаційної взаємодії різного типу. Фактично, функціонально ІАЦ має забезпечити комплексний захист від різного роду деструктивних інформаційних впливів. Комплексність тут передбачає забезпечення, по-перше, багаторівневості захисту і, по-друге, реалізацію захисту як від ІПО, так і від інформаційно-кібернетичних атак (ІКО).

Оскільки кінцевою метою створення ІАЦ є розв'язання складної інтегрованої задачі, яка полягає у організації і реалізації комплексного захисту від деструктивних інформаційних атак різного типу, які можуть проводитись на різних рівнях управління, а також прогнозування рівня захищеності, то для формалізації процесу рішення сформульованих задач використовуємо метод декомпозиції. Такий підхід дозволить дещо спростити і узагальнити створення концептуальної моделі багаторівневої структури ІАЦ. Запропонований підхід передбачає виконання декількох етапів. Перший етап передбачає розробку так званих «інформаційних портретів» відповідних рівнів управління ІБ. Другий етап, після створення «інформаційних портретів», передбачає розробку ефективної політики безпеки відповідного об'єкта захисту – локального об'єкта, групи об'єктів або регіону і держави в цілому. Третій етап, ґрунтуючись на результатах двох попередніх етапів, дозволяє організаційно і технічно реалізувати отримані політики безпеки, використовуючи ті чи інші механізми захисту.

Перший етап

Визначення 1. Інформаційний портрет локального об'єкта складається з даних, які характеризують моделі загроз, моделі порушника та середовища, що оточують об'єкт захисту, зокрема інформаційне середовище, фізичне середовище та середовище користувачів, а також результатів аналізу ризиків.

Визначення 2. Інформаційний портрет регіону складається з розподілених у просторі інформаційних портретів локальних об'єктів.

Визначення 3. Інформаційний портрет держави складається з розподілених у просторі інформаційних портретів регіонів.

Використовуючи наведені визначення, формально інформаційний портрет локального об'єкта можна подати так:

$$IP_L = F(Z, PR, PHS, IS, SK, KR, R),$$

де Z – модель загроз; PR – модель порушника; PHS – фізичне середовище; IS – інформаційне середовище; SK – середовище користувачів; KR – критичність об'єкта; R – ризики.

Інформаційний портрет регіону можна подати так:

$$IP_{Reg} = F(IP_{L1}, IP_{L2}, \dots, IP_{Ln}),$$

де $IP_{Li}, (i = 1-n)$ – інформаційні портрети локальних об'єктів; n – кількість локальних об'єктів.

Відповідно інформаційний портрет держави формально можна подати так:

$$IP_D = F(IP_{Reg1}, IP_{Reg2}, \dots, IP_{Regk}),$$

де $IP_{Regi}, (i=1-k)$ – інформаційні портрети регіонів, k – кількість регіонів.

Другий етап

Отримані інформаційні портрети дозволяють інформаційно та аналітично забезпечити розробку трьохрівневої політики безпеки рівня (об'єкт – група об'єктів (регіон) – держава).

На цьому етапі використовують результати аналізу об'єкта захисту, розроблені моделі загроз та моделі потенційних порушників, результати аналізу середовищ, що оточують об'єкт захисту, а також результати аналізу інформаційних ризиків. У практичній площині на цьому етапі відбувається вибір основних рішень і формулювання базових правил з протидії всім суттєвим загрозам, формування загальних вимог, правил, обмежень, рекомендацій тощо, які регламентують використання спеціальних організаційних заходів, інженерно-технічних рішень щодо захисту інформаційних ресурсів на всіх рівнях управління інформаційної безпеки.

На третьому етапі створюється розподілена система захисту, яка забезпечує розроблену багаторівневу політику безпеки. Синтез оптимальної системи захисту інформаційних ресурсів розглянутий у

багатьох роботах, зокрема [5].

Реалізація трьох вищенаведених етапів дозволяє запропонувати метод забезпечення заданого рівня комплексної інформаційної безпеки держави. Структурна модель запропонованого метода показана на рис. 1.

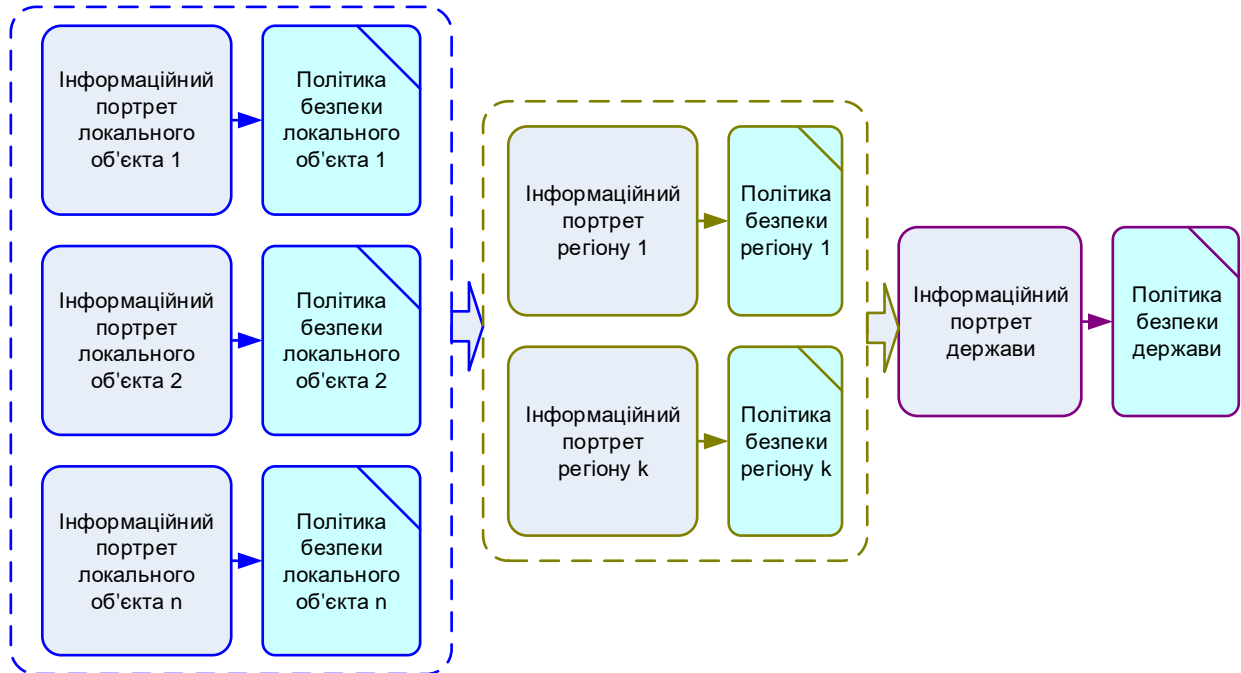


Рис. 1. Структурна модель методу забезпечення комплексної інформаційної безпеки

Інформаційно-аналітична робота неможлива без ефективного інформаційного забезпечення. Аналіз показує, що управління ІБД є багаторівневим процесом. Проте на сьогодні немає єдиного розуміння цього процесу. Причиною цього може бути відсутність сталої методології системи управління ІБД. Методика, що надає можливість ефективно проводити інформаційно-аналітичну роботу щодо забезпечення інформаційно-аналітичної роботи передбачає вирішення таких завдань: вирішення задачі прогнозування і своєчасне виявлення загроз інформаційній безпеці; створення умов для мінімізації ймовірності реалізації загроз; створення умов і механізмів реагування на виникнення нових загроз; організація заходів захисту та протидії ІКО та ІПО; оцінка ефективності контрзаходів.



Рис. 2. Схема інформаційного забезпечення інформаційно-аналітичного центру

Метою інформаційного забезпечення є організація і реалізація інформаційно-аналітичної роботи для управління інформаційною безпекою. Реалізація цієї мети досягається через розв'язання низки задач, серед яких основними є такі:

- реалізація моніторингу щодо загроз (внутрішніх так і зовнішніх) інформаційному простору;
- проведення оперативної роботи з метою виявлення і нейтралізації діючих і потенційних джерел виникнення загроз;
- нейтралізація ІКО та ІПО, що спрямовані на кібернетичний та інформаційний простори держави;
- використання різноманітних ЗМІ (електронних, друкованих) для реалізації протидії деструктивним інформаційним впливам.

На підставі сутності державного управління інформаційною безпекою та з урахуванням представленого методу забезпечення ІБ побудовано схему інформаційного забезпечення ІАЦ (рис. 2).

Аналіз наведеної схеми інформаційного забезпечення ІАЦ фактично описує реалізацію процесу моніторингу різноманітних, як внутрішніх так і зовнішніх інформаційних ресурсів та ймовірних джерел впливу.

Роль інформаційного забезпечення в системі управління ІБД полягає в створенні необхідних умов для реалізації специфічних функцій підготовки та прийняття рішень щодо інформаційної безпеки на підставі своєчасної та достовірної інформації, а його місце визначається відповідним рівнем всього циклу управління інформаційною безпекою.

Виходячи з наведеного структурна модель управління інформаційною безпекою держави наведена на рис. 3.



Рис. 3. Структурна модель управління інформаційною безпекою держави

Задачу моніторингу вирішує Головний ситуаційний центр України, створений відповідно до рішення РНБО України від 25.01.2015 р. Головною задачею центра є збір, накопичення і обробка інформації, для підготовки та прийняття рішень у сфері національної безпеки і оборони для забезпечення інформаційно-аналітичного супроводу роботи РНБО.

РНБО є дорадчим органом, який аналізує отриману інформацію і готує систематизовану інформацію для прийняття рішення. У статті 4 закону України “Про основи національної безпеки України” визначені суб'єкти, що забезпечують інформаційну безпеку держави. Відповідно під органом, що приймає рішення будемо розуміти інтегровану систему таких суб'єктів, яку очолює Президент держави і яка діє інтегровано і незалежно від зовнішніх і внутрішніх деструктивних впливів.

Висновки

Запропоновано підхід до побудови методологічних засад щодо створення інформаційно-аналітичних центрів (служб) в системі державного управління інформаційною безпекою, а саме:

- побудовано модель інформаційного портрету об'єкта захисту, що дозволяє формалізувати задачу за рівнями: об'єкт – група об'єктів (регіон) – держава;
- розроблено структурної моделі інформаційно-аналітичного центру, що включає в себе моделі портрету об'єкта захисту;
- розроблено метод забезпечення комплексної інформаційної безпеки на рівні об'єкт – група об'єктів (регіон) – держава, використовуючи запропоновані моделі та структури.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на формалізацію процесу інформаційного забезпечення інформаційно-аналітичних центрів.

Література

1. Саричев Ю. О. Теоретичний підхід до інформаційного забезпечення в системі державного

управління у воєнній сфері / Ю. О. Саричев // Вісник НАДУ при Президенті України. Серія “Державне Управління”. – 2016. – № 4. – С. 153–160.

2. Дудатьєв А. В. Моделі інформаційної підтримки управління комплексною інформаційною безпекою / А. В. Дудатьєв, О. П. Войтович // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – 2017. – № 1. – С. 107–114.

3. Дудатьєв А. В. Метод оцінювання безпеки інформаційних ресурсів підприємства на основі аналізу вразливостей / А. В. Дудатьєв, Ю. В. Барішев // Вісник Хмельницького національного університету. – 2008. – № 4. – С. 78–83.

4. Колесник І. С. Оцінка впливу витоку інформації на стан підприємства / І. С. Колесник, А. В. Дудатьєв, О. П. Войтович // Системи обробки інформації. – 2010. – № 5. – С. 224–229.

5. Дудатьєв А. В. Розробка уніфікованих моделей системного проектування оптимальних систем захисту інформаційних ресурсів / А. В. Дудатьєв // Вісник Черкаського технологічного університету. – 2008. – № 1. – С. 3–8.

References

1. Sarychev Yu. O. Teoretychnyi pidkhdid do informatsiinoho zabezpechennia v systemi derzhavnoho upravlinnia u voienii sferi / Yu. O. Sarychev // Visnyk NADU pry Prezdyenti Ukrainy. Seriiia “Derzhavne Upravlinnia”. – 2016. – № 4. – S. 153–160.

2. Dudatiev A. V. Modeli informatsiinoi pidtrymky upravlinnia kompleksnoiu informatsiinoiu bezpekoiu / A. V. Dudatiev, O. P. Voitovych // Radioelektronika, informatyka, upravlinnia. – 2017. – № 1. – S. 107–114.

3. Dudatiev A. V. Metod otsiniuvannia bezpeky informatsiinykh resursiv pidpriemstva na osnovi analizu vrazlyvostei / A. V. Dudatiev, Yu. V. Baryshev // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2008. – № 4. – S. 78–83.

4. Kolesnyk I. S. Otsinka vplyvu vytoku informatsii na stan pidpriemstva / I. S. Kolesnyk, A. V. Dudatiev, O. P. Voitovych // Systemy obrobky informatsii. – 2010. – № 5. – S. 224–229.

5. Dudatiev A. V. Rozrobka unifikovanykh modelei systemnoho proektuvannia optymalnykh system zakhystu informatsiinykh resursiv / A. V. Dudatiev // Visnyk Cherkaskoho tekhnolohichnoho universytetu. – 2008. – № 1. – S. 3–8.

Рецензія/Peer review : 24.1.2020 р.

Надрукована/Printed : 14.2.2020 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

О. В. КАЛАШНИК, С. Е. МОРОЗ

Полтавська державна аграрна академія

О. В. КИРИЧЕНКО

Вищий навчальний заклад Укоопспілки «Полтавський університет економіки і торгівлі»

ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ БАЗ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ КОСМЕТИЧНИХ ЗАСОБІВ

Мета статті – показати можливості використання інформаційних баз в інтернет-середовищі для ідентифікації імпортованої косметичної продукції. Право покупців на належну якість продукції порушується, оскільки реквізити маркування на сучасній упаковці товарів не дають можливості зробити компетентний вибір потрібного косметичного засобу. На косметичному засобі, що обраний об'єктом дослідження, нанесений не повний обсяг обов'язкової інформації, що не відповідає вимогам нормативних документів. Під час ідентифікації за допомогою інформаційних web-ресурсів було встановлено справжність тонального крему.

Ключові слова: косметичні засоби, тональний крем, ідентифікація, маркування.

O.V. KALASHNYK, S.E. MOROZ

Poltava State Agrarian Academy

O.V. KYRYCHENKO

Poltava University of Economics and Trade

PRACTICAL ASPECTS OF USING DATABASES TO IDENTIFY COSMETICS PRODUCTS

The purpose of the article is to show the possibilities of using information bases in the Internet environment for the identification of imported cosmetic products. The right of buyers to the proper quality of products is violated, as the requisites of marking on modern packaging of goods do not allow making a competent choice of the desired cosmetic product. The rapid pace of development of innovative developments in the cosmetic industry requires constant updating of the information base. The use of such information and its prompt dissemination can be one of the means of preventing counterfeiting of cosmetic products. Tonal creams are widely used today because cosmetics play a big role in every woman's life, but their quality needs to be clarified. The object of study – accessible to modern consumers means of identification of a tonal cream. The basic information about the object is printed in a typographic way on the bottle itself, on sticky labels with the requisites of marking; the list of constituents of the tonal cream is under the label. Information falsification implies inaccurate information such as product name; trademark, company name, trademark; country of origin of the product; manufacturer and its mailing address; quantitative characteristics of the product; raw material or component composition of the product; date of manufacture, terms, and conditions of sale or storage. Analysis of the marking details showed that the cosmetic product contains not a full amount of mandatory information, which does not meet the requirements of regulatory documents. In addition to the mandatory labeling details, other details are also included on the label. A bar code analysis showed that this compact cosmetic product was manufactured legally and was not rigged. Analysis of the ingredients of the tonal cream showed that they have a safety index of 0 to 4. The average safety index has groups of components that can irritate the skin and mucous membranes and are allergens. Authentication of the tonal cream was established using information Web-resources. Using the information resources, the party number set the date of manufacture of the cosmetic product and compared it with the data indicated on the packaging of the tonal cream.

Keywords: cosmetics, tonal cream, identification, labeling

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями Перший тональний крем, наближений за своїм складом і дією до засобів, до яких звикли сучасні жінки, був винайдений відомою компанією «Max Factor» спеціально для нанесення як гриму на шкіру акторів. Однак його здатність приховувати недоліки і надавати шкірі красивий відтінок був помічений жінками і новий засіб швидко набув приголомшливої популярності [1].

Поки що сучасна наука альтернативи пудрі і тональному крему не винайшла. Ці косметичні засоби залишаються основою макіяжу та використовуються для вирівнювання шкіри, роблять її бархатистою і м'якою. Щороку провідні косметичні компанії випускають на ринок «покрашені» версії своїх торішніх «нових поліпшених» помад, тональних основ, пудр і кремів.

Тональні креми широко використовуються на сьогоднішній день, адже косметика грає велику роль у житті кожної жінки, але питання їхньої якості потребує з'ясування. Адже для споживача проблема вибору на ринку товарів і послуг часто сполучена з дефіцитом інформації про реальні якості продукції. Все це зумовлює актуальність проведення дослідження за обраною темою.

Необхідною умовою для задоволення попиту населення є не тільки постійний аналіз та контроль якості продукції. А якщо взяти до уваги те, що значна частка парфумерної продукції імпортується, то питання проведення їх ідентифікації є досить актуальним і своєчасним.

Аналіз останніх досліджень чи публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор. Дослідження теоретичних і практичних аспектів асортименту, споживчих властивостей та якості парфумерно-косметичних товарів, а також впливу різноманітних чинників та їх якості висвітлено у роботах Вілкової С. А. [2], Яковлевої Л. А. [3], Марголіної А. А. [4], Пешук Л. В. [5], Луців Н. В. [6], Анненкової Н. Б. [7], Гудзь О. Є. [8], Байцар Р. І., Кордіяки Ю. М., Зеліско Ю. М. [9–12] тощо. Методологічним засадам ідентифікації товарів присвячені роботи Полікарпова І. С. [13, 14], Шумського О. В. [15, 16], Осипенко Н. І. [17], Коломієць Т. М., Мережко Н. В., Осієвської В. В. [18], Вілкової С. А., Свеколишкової О. Ю. [19], Байцар Р. І., Кордіяки Ю. М. [20] тощо. Проте зазначимо, що дедалі безсумнівна

актуальність ідентифікації товарів і косметичних виробів зокрема потребує подальших вивчень.

Як відомо, засоби ідентифікації косметичних виробів поділяють на групи, що наведені на рис. 1.

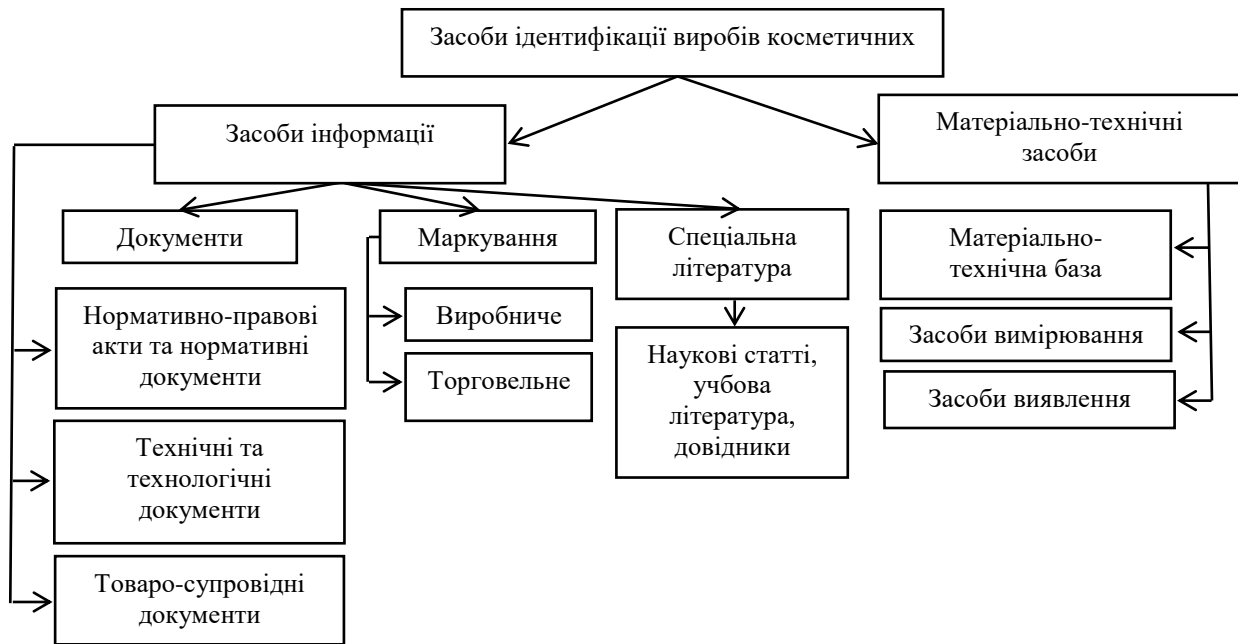


Рис. 1. Засоби ідентифікації виробів косметичних (складено за джерелом [21])

Вимоги щодо якості виробів косметичних для макіяжу в Україні регламентує ДСТУ 4774:2007 «Вироби косметичні для макіяжу на жировосковій основі. Загальні технічні умови» [22], що поширюється на вироби декоративної косметики на жировосковій основі, призначені для макіяжу і догляду за шкірою, очима та губами.

На основі реквізитів маркування, які зазначені на сучасній упаковці товару і косметичних засобів зокрема, покупець іноді не в змозі зробити компетентний вибір потрібного косметичного засобу, чим порушується відповідне право на належну якість продукції. Окрім того, інформація для споживачів, що вказана на косметичних засобах, повинна бути необхідною, достовірною, доступною, достатньою, своєчасною.

Окрім того, інформацію щодо вмісту 412 речовин, які заборонені для застосування як сировина косметична та не повинні входити до складу косметичних засобів, містять Державні санітарні правила і норми безпеки продукції парфумерно-косметичної промисловості [23].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Наразі на ринку часто зустрічаються товари, що мають неточну або перекручену інформацію щодо складу та властивостей товару. Такі товари є фальсифікованими, а фальсифікацію відносять до інформації, яка «забезпечується» спотворенням (усвідомленою зміною) інформаційних даних у маркуванні. За даними [16] важливою проблемою сучасного товарного ринку є наявність великої кількості фальсифікованих товарів – від 5 до 90% обсягу торгового обігу за різними групами товарів. Ринку потребує простих механізмів визначення та підтвердження справжності товарів. Для косметичної продукції ця проблема стоїть досить гостро. Швидкі темпи розвитку інноваційних розробок у косметичній галузі, використання поряд з традиційними нових компонентів (наприклад, речовини, які зв'язують вологу; нові активні речовини; сонцезахисні фільтри тощо), їх поширення у світі, вимагають постійного оновлення інформаційної бази. Використання такої інформації, її швидке оперативне поширення можуть бути одним із засобів запобігання фальсифікації виробів косметичних.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою написання статті є на прикладі імпортої косметичної продукції показати можливості використання інформаційних баз в інтернет-середовищі для їх ідентифікації.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. За даними [17] стверджується, що при інформаційній фальсифікації свідомо спотворюються чи вказуються неточно такі дані: найменування (назва) товару; торгова марка, фірмова назва, товарний знак чи логотип виробника; країна походження товару; фірма-виробник товару та її поштова адреса; кількості



Рис. 2. Фотографічне зображення флакону з упаковкою тональним кремом «Alliance Perfect» ТМ «L'Oreal»


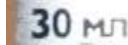



характеристики виробу; сировинний чи компонентний склад виробу; дата виготовлення, терміни та умови реалізації чи зберігання тощо. Розглянемо на прикладі об'єкта даного дослідження – тонального крему «Alliance Perfect» ТМ «L'Oreal» засоби ідентифікації, які доступні сучасним споживачам. На флаконі, в який упакований тональний крем «Alliance Perfect» ТМ «L'Oreal», були нанесені типографським способом реквізити (рис. 2).

Як видно на фотографічному зображенні, на флакон з упакованим тональним кремом «Alliance Perfect» ТМ «L'Oreal» нанесені клейкі етикетки із реквізитами маркування. На етикетці зазначено, що перелік складників тонального крему «Alliance Perfect» ТМ «L'Oreal» знаходиться під етикеткою (рис. 3).

Аналіз реквізитів маркування тонального крему «Alliance Perfect» ТМ «L'Oreal» поданий в таблиці 1.

Таблиця 1

Аналіз реквізитів маркування тонального крему «Alliance Perfect» ТМ «L'Oreal»

№	Назва реквізиту маркування	Характеристика реквізиту маркування	Відповідність вимогам НД
1	2	3	4
Обов'язкові реквізити, що регламентують НД			
1	Назва і призначення виробу	Тональний крем для обличчя «Совершенное слияние», адаптується до кольору та текстури обличчя	Відповідає
2	Назва виробника і його місцезнаходження (юридичну адресу) і/або місця виготовлення продукції	Жене Парі, Лю Ди Параді, 3, Орм, 45144 Сен Жан Де ЛяРуель Седекс Франція	Відповідає
3	Товарний знак виробника		Відповідає
4	Код (номер) партії	16PN00	Відповідає
5	Маса нетто, г, об'єм, см ³ (мл)		Відповідає
6	Термін придатності	12 місяців після початку використання	Відповідає
7	Умови зберігання	Зберігати при температурі від -4°C до +25°C, уникаючи прямого потрапляння сонячних променів	Відповідає
8	Перелік складників	Присутній на пакуванні	Відповідає
9	Колір, номер тону, групи	Колір не вказують у разі використання безколірної або прозорої спожиткової тари	Відповідає
10	Дата виготовлення	11.2017	Відповідає
11	Позначка нормативного документу, згідно з яким виготовлено виріб	–	Не відповідає
12	Інформація про сертифікацію відповідно до законодавства країни, що реалізує ПК виробу	–	Не відповідає
Додаткові реквізити			
13	Штриховий код	3600520659718	–
14	Адреса для звернень в Україні	ТОВ «Лореаль Україна», вул. М. Грінченка 4, Київ, 03880, тел. (044) 390-55-35	–
15	Використати до	11.2025	–
16	Знак «Вага / об'єм нетто» вказує скільки продукт важить без упаковки		–
17	Єдиний знак обігу продукції на ринку держав-членів Митного союзу	 – European Asian Community	–
18	Екологічний знак «Der Grime Punkt», або «Зелена точка»		–
19	Реклама	Технология микрослияния, совершенный оттенок, естественные оттенки сливаются с тонами и полутонами Вашей кожи, совершенная кожа, ультратонкие пигменты обеспечивают ровное покрытие без «эффекта маски», увлажнение 24 часа	–

Аналіз реквізитів маркування показав, що на даному косметичному засобі нанесений не повний обсяг обов'язкової інформації, що не відповідає п. 5.1 ДСТУ 5010:2008 [24]. Окрім обов'язкових реквізитів маркування, що регламентує цей НД, на етикетці нанесені і інші реквізити. Штриховий код і упаковка – це два важливі нероздільні елементи, які супроводжують будь-який сучасний товар. Вони підкреслюють високі споживні властивості продукції, сприяють зростанню її конкурентоспроможності, зручності при реалізації, транспортуванню та зберіганню. Необхідною умовою етикетки європейської якості є наявність на ній штрих-коду, за допомогою якого здійснюється облік, контроль руху товару від виробника до споживача через мережу складів виробників, посередників, торговельних підприємств та транспортних компаній. За допомогою штрихового коду зашифровано інформацію про деякі з найбільш істотних параметрів продукції. Відповідно до Європейської системи кодування EAN кожному виду виробу привласнюється свій номер, що найчастіше складається з 13 цифр (EAN-13). На упакованні тонального крему «Alliance Perfect» ТМ «L'Oreal» нанесений штриховий код (рис. 4).



Рис. 4. Фотографічне зображення штрихового коду, що зазначений на пакуванні тонального крему «Alliance Perfect» ТМ «L'Oreal»

Під час аналізу маркування був перевірений штриховий код, зазначений на пакуванні тонального крему «Alliance Perfect» ТМ «L'Oreal» – 3600520659718. Перші дві цифри (36) означають країну походження (країну-виробника) товару – Франція Остання цифра (8) – контрольна, використовується для перевірки правильності зчитування штрихів коду. Розрахована контрольна цифра співпадає з контрольною цифрою, зазначеною на упакованні, що свідчить про те, що зразок тонального крему «Alliance Perfect» ТМ «L'Oreal» виготовлено законно. Країна-виробник (Франція), зазначена на упакованні даного косметичного компактного засобу збігається з кодом країни-виробника (36), вказаного на штрих-коді.

Зазначений на упакованні штриховий код тонального крему «Alliance Perfect» ТМ «L'Oreal» був перевірений на сайті <http://decode.org.ua/bar> [25] (рис. 5).

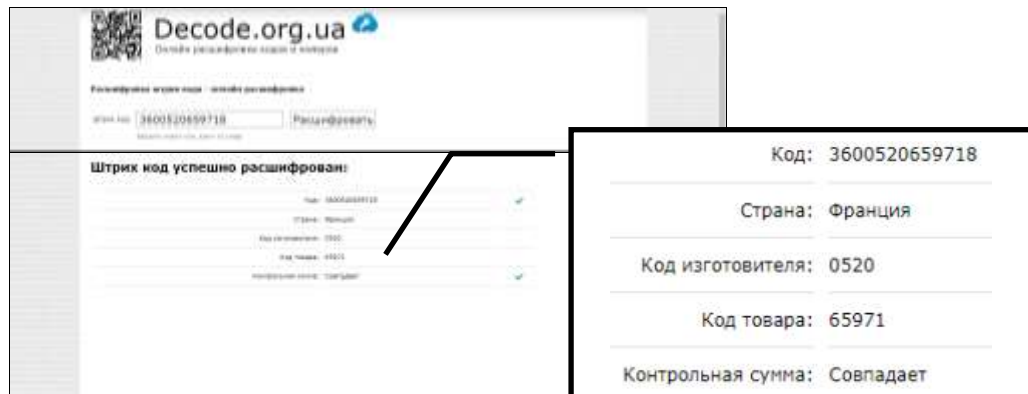


Рис. 5. Скриншот сайту decode.org.ua з розшифрованим штрихкоду тонального крему «Alliance Perfect» ТМ «L'Oreal»

Дані сайту decode.org.ua чітко вказують на те, що країною-виробником тонального крему «Alliance Perfect» ТМ «L'Oreal» є Франція.

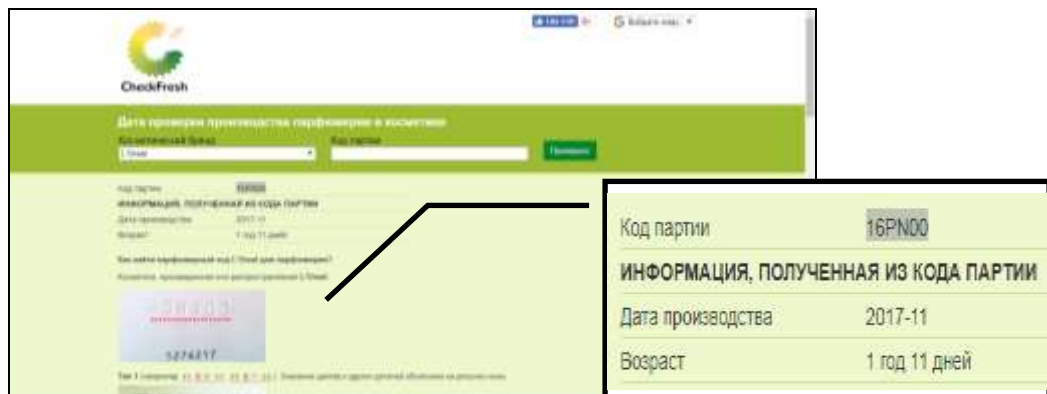


Рис. 6. Скриншот сайту checkfresh.com з розшифрованим дати виготовлення тонального крему «Alliance Perfect» ТМ «L'Oreal»

Також, за допомогою даних сайту checkfresh.com [26] можна через номер партії встановити дату виготовлення косметичного засобу і порівняти її з даними, що зазначені на пакуванні тонального крему «Alliance Perfect» ТМ «L'Oreal» (рис. 6).

Отже, за даними сайту checkfresh.com дата виготовлення тонального крему «Alliance Perfect» ТМ «L'Oreal» 11.2017 відповідає номеру партії 16PN00 та даним, що зазначені на пакуванні.

Окрім того, для ідентифікації та перевірки справжності продукції на офіційному сайті «L'Oreal» було перевірено інформацію про даний косметичний засіб. Порівняння даних офіційного сайту «L'Oreal» та об'єкту дослідження дало змогу встановити, що тональний крем «Alliance Perfect» ТМ «L'Oreal» відповідає заявленому на сайті.

Потім, відповідно до інформації міжнародних експертів, установ і публікацій [27, 28], проаналізовано склад тонального крему «Alliance Perfect» ТМ «L'Oreal» та з'ясовано, що інгредієнти косметичних засобів мають індекс безпеки від 1 до 9. Аналіз реквізитів маркування тонального крему «Alliance Perfect» ТМ «L'Oreal» дав змогу узагальнити інформацію та звести її в таблицю 2.

Таблиця 2

Функції та індекс безпеки інгредієнтів складу тонального крему «Alliance Perfect» ТМ «L'Oreal» [27, 28]

Назва інгредієнту	Функція, яку виконує інгредієнт	Індекс безпеки
Aqua/Water,	Розчинник	1
Dimeticone (Polydimethylsiloxane)	Пом'якшувач	1
Isododecane	Емомент (пом'якшувач), розчинник (солубелізатор)	1
Cyclohexane	Розчинник (солубелізатор)	0
Glycerine	Емульгатор	0
PEG-10 Dimethicone	Пом'якшувач, силіконова ПАР	3
Methyl methacrylate crosspolymer	Регулятор в'язкості, зволожувач	1
Butylene glycol		1
Synthetic fluorophilopite		1
Disteardimonium Hectorite		1
Hydroxyethylpiperazine ethane sulfonic acid		1
Cetyl PEG/PPG-10/1 Dimethicone	Емомент (пом'якшувач)	3
Hexyl laurate		1
Sodium chloride	Структурутворювач (загущувач)	1
Polyglyceryl-4 Isostearate	Емульгатор	1
Caprylylglycol		1
Disodium stearyl glutammate		1
Phenoethanol	Консервант	4
Tocopherol	Антиоксиданти	1
Panthenol	Антистатик, зволожувач	1
Aluminium hydroxite	Антиоксиданти	1
Hydroxyethyl urea	Кондиціонер для шкіри, вологоутримувач	1
Hudrated silica	Контроль в'язкості	1
Methicone	Антистатик, пом'якшувач	1
MAY CONTAIN		
CI 77891 / Titanium dioxide	Пігмент, загусник	0
CI 77491	Пігменти, барвники	2
CI 77492 / Iron oxides		2
CI 77499/ Iron oxides		2
CI 15985 / Yellow 6 lake		1
CI 42090 / Blue 1 lake		3
CI 77510 / Ferric ammonium ferrocyanide		4
CL45410 / Red 7](F.I.L. B167167/1)		1
Mica	Пігмент, барвник, наповнювач (в т.ч. мінеральні)	2

Аналіз інгредієнтів тонального крему «Alliance Perfect» ТМ «L'Oreal» показав, що вони мають індекс безпеки від 0 до 4. Середній індекс безпеки мають такі групи складників:

- Phenoethanol – подразнює шкіру, алерген;
- PEG-10 Dimethicone – подразнює шкіру та слизові, алерген;
- Cetyl PEG/PPG-10/1 Dimethicone – подразнює шкіру та слизові;
- CI 77510 / Ferric ammonium ferrocyanide – потенційний подразнювач;
- CI 42090 / Blue 1 lake – алерген.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку. Таким чином, аналіз реквізитів маркування дав змогу стверджувати, що тональний крем «Alliance Perfect» ТМ «L'Oreal» не відповідає вимогам ДСТУ 5010:2008 [24]. Окрім того, аналіз зазначеного на пакуванні

штрихового коду показав, що даний компактний косметичний засіб виготовлено законно, тобто його не фальсифіковано.

Підприємствам, що імпортують косметичну продукцію, по-перше, під час укладання контрактів з іноземними фірмами вносити пункт щодо зобов'язання маркування за чинними в країні нормативними документами косметичної продукції, яка ввозиться на митну територію України. Це дасть змогу оперативно ідентифікувати продукцію. По-друге, імпортерам слід використовувати інформаційні бази, які включають відкритий доступ до інформації через інтернет для оперативної ідентифікації виробів.

Після узагальнення даних науковців, виробників, нормативних документів створити електронну базу даних, яка б містила інформацію щодо небезпечних речовин, які можуть нанести шкоду здоров'ю споживачів.

Література

1. Тональний крем. История тонального крема [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://cosmetology-info.ru/6379/makeup-Tonalnyy-krem>.
2. Вилкова С. А. Товароведение и экспертиза парфюмерно-косметических товаров : учебник для вузов / С. А. Вилкова. – М. : Деловая литература, 2004. – 286 с.
3. Яковлева Л. А. Товароведение парфюмерно-косметических товаров : учеб. для вуз. / Л. А. Яковлева, Г. С. Кутакова. – СПб : Издательство «Лань», 2001. – 256 с.
4. Марголина А. А. Новая косметология / А. А. Марголина, Е. И. Эрнандес, О. Э. Зайкина. – М. : ИД «Косметика и медицина», 2000. – 206 с.
5. Пешук Л. В. Технологія парфюмерно-косметичних продуктів / Л. В. Пешук, Л. І. Бавіка, І. М. Демідов. – К. : Центр навч. літ-ри, 2007. – 376 с.
6. Луців Н. В. Товарознавчі аспекти дослідження ринку парфюмерних виробів в Україні / Н. В. Луців // Науковий вісник НЛТУ України. – 2013. – Вип. 23.4. – С. 252–261.
7. Анненкова Н. Б. Парфюмерно-косметичні товари / Н. Б. Анненкова, Я. А. Попова, В. І. Бідаш. – Луганськ : Вид-во ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2013. – 244 с.
8. Гудзь О. Є. Критерії безпеки парфюмерно-косметичної продукції / О. Є. Гудзь // Харчова і переробна промисловість. – 2000. – № 5-6. – С. 26-27.
9. Байцар Р. І. Розвиток методів випробувань косметичних засобів / Р. І. Байцар, Ю. М. Кордіяка // Technical Using of Measurement – 2016 : матеріали Всеукр. наук.-техн. конф. молодих вчених у царині метрології, 1–5 лютого 2016 р. : тези доповіді. – Київ : Академія метрології України, 2016. – С. 53–56.
10. Байцар Р. І. Концептуальні підходи до виробництва косметичної продукції та її нормативного забезпечення / Р. І. Байцар, Ю. М. Кордіяка // Проблеми розвитку та впровадження систем управління, стандартизації, сертифікації, метрології в регіонах України : матеріали I Всеукр. наук.-практ. та студ. конф., 24–26 травня, 2011 р. : тези доповідей. – Донецьк : ДНТУ, 2011. – С. 260–262.
11. Кордіяка Ю. М. Проблеми технічного регулювання косметичної галузі / Ю. М. Кордіяка, Р. І. Байцар // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2016. – № 2. – С. 38–44.
12. Байцар Р. І. Забезпечення якості косметичних засобів / Р. І. Байцар, Ю. М. Зеліско // Стратегія якості в промисловості та освіті : VI Міжнар. наук.-практ. конф., 4–11 червня 2010 р. : доповідь. – Варна, Болгарія, 2010 р. – Том. 1 (4). – С. 82–85.
13. Полікарпов І. С. Ідентифікація товарів : [підручник] / І. С. Полікарпов, А. П. Закусілов. – К. : Центр навчальної літератури, 2005. – 344 с.
14. Полікарпов І. С. Товарна інформація – сучасний напрям розвитку теоретичних основ товаровознавства / І. С. Полікарпов, О. В. Шумський // Вісник КНТЕУ. Спецвипуск матеріалів міжнародної науково-практичної конференції «Науки про торгівлю». – 2005. – № 2. – Частина II. – С. 18–23.
15. Шумський О. В. Товарна інформація та її роль в інформаційному забезпеченні діяльності на ринку товарів та послуг / О. В. Шумський, І. С. Полікарпов : матеріали міжнародної науково-практичної конференції 24-25 жовтня 2002 року «Товари XXI століття». – Полтава : РВВ ПУСКУ, 2002. – Ч. 1. – С. 11–15.
16. Шумський О. В. Теоретичні аспекти інформаційного забезпечення товарів [Електронний ресурс] / О. В. Шумський // Вісник Львівської комерційної академії. Серія товаровознавча. – 2011. – Вип. 12. – С. 82–87. – Режим доступу : http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vlca_2011_12_20.
17. Осипенко Н. І. Інформаційна фальсифікація товарів і комплексне інформаційне забезпечення як захист від неї [Електронний ресурс] / Н. І. Осипенко // Вісник Львівської комерційної академії. Серія товаровознавча. – 2011. – Вип. 12. – С. 26–29. – Режим доступу : http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vlca_2011_12_7.
18. Методологічні засади ідентифікації споживчих товарів / Т. Коломієць, Н. Мережко, В. Осієвська // Товари і ринки. – 2012. – № 2. – С. 48–53. – Режим доступу : <http://tr.knteu.kiev.ua/files/2012/14/7.pdf>.
19. Вилкова С. А. Практика идентификации парфюмерно-косметических товаров / С. А. Вилкова, О. Ю. Свекольщикова // Сертификация. – 2001. – № 4. – С. 36–39.
20. Байцар Р. І. До питання фальсифікації косметичних засобів / Р. І. Байцар, Ю. М. Кордіяка // Метрологія, технічне регулювання та забезпечення якості : матеріали V Міжнар. наук.-практ. конф, 8-9 жовтня 2015 р. : тези доповіді. – Одеса, 2015. – С. 32-33.
21. Средства идентификации товаров [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://studwood.ru/891030/marketing/sredstva_identifikatsii_tovarov#78.
22. Вироби косметичні для макіяжу на жировосковій основі. Загальні технічні умови : ДСТУ

- 4774:2007 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://dnaop.com/html/34026/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3_4774_2007.
23. Державні санітарні правила і норми безпеки продукції парфумерно-косметичної промисловості [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0027588-99>.
24. Продукція парфумерно-косметична. Пакування, маркування, транспортування і зберігання : ДСТУ 5010:2008. – К. : Держспоживстандарт України, 2009. – 10 с.
25. Онлайн расшифровка кодов и номеров [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://decode.org.ua/bar>.
26. Дата проверки производства парфюмерии и косметики [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.checkfresh.com/loreal.html>.
27. Анализ косметики [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://cosdna.com/eng/ingredients.php>.
28. База данных косметических компонентов [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://cosmibase.ru/handbook>.

References

1. Tonalnyj krem. Istoriya tonalnogo krema [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu : <https://cosmetology-info.ru/6379/makeup-Tonalnyy-krem>.
2. Vilkovala S. A. Tovarovedenie i ekspertiza parfjumerno-kosmeticheskikh tovarov : uchebnyk dlya vuzov / S. A. Vilkovala. – M. : Delovaya literatura, 2004. – 286 s.
3. Yakovleva L. A. Tovarovedenie parfjumerno-kosmeticheskikh tovarov : ucheb. dlya vuz. / L. A. Yakovleva, G. S. Kutakova. – SPb : Izdatelstvo «Lan», 2001. – 256 s.
4. Margolina A. A. Novaya kosmetologiya / A. A. Margolina, E. I. Ermandes, O. E. Zajkina. – M. : ID «Kosmetika i medicina», 2000. – 206 s.
5. Peshuk L. V. Tekhnologiya parfjumerno-kosmeticheskikh produktiv / L. V. Peshuk, L. I. Bavika, I. M. Demidov. – K. : Tsentr navch. lit-ry, 2007. – 376 s.
6. Lutsiv N. V. Tovaroznavchi aspekty doslidzhennia rynku parfjumerykh vyrobiv v Ukraini / N. V. Lutsiv // Naukovi visnyk NLTU Ukrainy. – 2013. – Vyp. 23.4. – S. 252–261.
7. Annienkova N. B. Parfjumerno-kosmetichni tovary / N. B. Annienkova, Ya. A. Popova, V. I. Bidash. – Luhansk : Vyd-vo DZ «LNU imeni Tarasa Shevchenka», 2013. – 244 s.
8. Hudz O. Ye. Kryterii bezpeky parfjumerno-kosmetichnoi produktsii / O. Ye. Hudz // Kharchova i pererobna promyslovist. – 2000. – № 5-6. – S. 26-27.
9. Baitsar R. I. Rozvytok metodiv vyprobuvan kosmetichnykh zasobiv / R. I. Baitsar, Yu. M. Kordiiaka // Technical Using of Measurement – 2016 : materialy Vseukr. nauk.-tekhn. konf. molodykh vchenykh u tsaryni metrolohii, 1–5 liutoho 2016 r. : tezy dopovidi. – Kyiv : Akademiia metrolohii Ukrainy, 2016. – S. 53–56.
10. Baitsar R. I. Kontseptualni pidkhody do vyrobnytstva kosmetichnoi produktsii ta yii normatyvnoho zabezpechennia / R. I. Baitsar, Yu. M. Kordiiaka // Problemy rozvytku ta vprovadzhennia system upravlinnia, standartyzatsii, sertyfikatsii, metrolohii v rehi onakh Ukrainy : materialy I Vseukr. nauk.-prakt. ta stud. konf., 24–26 travnia, 2011 r. : tezy dopovidei. – Donetsk : DNTU, 2011. – S. 260–262.
11. Kordiiaka Yu. M. Problemy tekhnichnoho rehuliuвання kosmetichnoi haluzi / Yu. M. Kordiiaka, R. I. Baitsar // Standartyzatsiia, sertyfikatsiia, yakist. – 2016. – № 2. – S. 38–44.
12. Baitsar R. I. Zabezpechennia yakosti kosmetichnykh zasobiv / R. I. Baitsar, Yu. M. Zelisko // Stratehiia kachestva v promyshlenosti y obrazovanny : VI Mizhnar. nauk.-prakt. konf., 4–11 chervnia 2010 r. : dopovid. – Varna, Bolhariia, 2010 r. – Tom. 1 (4). – S. 82–85.
13. Polikarpov I. S. Identifikatsiia tovariv : [pidruchnyk] / I. S. Polikarpov, A. P. Zakusilov. – K. : Tsentr navchalnoi literatury, 2005. – 344 s.
14. Polikarpov I. S. Tovarna informatsiia – suchasnyi napriam rozvytku teoretichnykh osnov tovaroznavstva / I. S. Polikarpov, O. V. Shumskiy // Visnyk KNTEU. Spetsvyypusk materialiv mizhnarodnoi naukovy-praktychnoi konferentsii «Nauky pro torhivliu». – 2005. – № 2. – Chastyna II. – S. 18–23.
15. Shumskiy O. V. Tovarna informatsiia ta yii rol v informatsiinomu zabezpechenni diialnosti na rynku tovariv ta posluh / O. V. Shumskiy, I. S. Polikarpov : materialy mizhnarodnoi naukovy-praktychnoi konferentsii 24–25 zhovtnia 2002 roku «Tovary XXI stolittia». – Poltava : RVV PUSKU, 2002. – Ch. 1. – S. 11–15.
16. Shumskiy O. V. Teoretichni aspekty informatsiinoho zabezpechennia tovariv [Elektronnyi resurs] / O. V. Shumskiy // Visnyk Lvivskoi komertsii akademii. Seriia tovaroznavcha. – 2011. – Vyp. 12. – S. 82–87. – Rezhym dostupu : http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vlca_2011_12_20.
17. Osypenko N. I. Informatsiia falsyfikatsiia tovariv i kompleksne informatsiine zabezpechennia yak zakhyst vid nei [Elektronnyi resurs] / N. I. Osypenko // Visnyk Lvivskoi komertsii akademii. Seriia tovaroznavcha. – 2011. – Vyp. 12. – S. 26–29. – Rezhym dostupu : http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vlca_2011_12_7.
18. Metodolohichni zasady identyfikatsii spozhyvchykh tovariv / T. Kolomiiets, N. Merezko, V. Osiievska // Tovary i rynky. – 2012. – № 2. – S. 48–53. – Rezhym dostupu : <http://tr.knteu.kiev.ua/files/2012/14/7.pdf>.
19. Vilkovala S. A. Praktika identifikatsii parfjumerno-kosmeticheskikh tovarov / S. A. Vilkovala, O. Yu. Svekolyshkova // Sertyfikatsiia. – 2001. – № 4. – S. 36–39.
20. Baitsar R. I. Do pytannia falsyfikatsii kosmetichnykh zasobiv / R. I. Baitsar, Yu. M. Kordiiaka // Metrolohii, tekhnichne rehuliuвання ta zabezpechennia yakosti : materialy V Mizhnar. nauk.-prakt. konf., 8-9 zhovtnia 2015 r. : tezy dopovidi. – Odesa, 2015. – S. 32-33.
21. Sredstva identifikatsii tovarov [Elektronnij resurs]. – Rezhym dostupu : https://studwood.ru/891030/marketing/sredstva_identifikatsii_tovarov#78.
22. Vyrobny kosmetichni dlia makiiiazhu na zhyrovoskovii osnovi. Zahalni tekhnichni umovy : DSTU 4774:2007 [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : https://dnaop.com/html/34026/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3_4774_2007.
23. Derzhavni sanitarni pravyla i normy bezpeky produktsii parfjumerno-kosmetichnoi promyslovosti [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0027588-99>.
24. Produktsiia parfjumerno-kosmetichna. Pakuvannia, markuvannia, transportuvannia i zberihannia : DSTU 5010:2008. – K. : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2009. – 10 s.
25. Onlajn rasshifrovka kodov i nomerov [Elektronnij resurs]. – Rezhym dostupu : <http://decode.org.ua/bar>.
26. Data proverki proizvodstva parfjumerii i kosmetiki [Elektronnij resurs]. – Rezhym dostupu : <http://www.checkfresh.com/loreal.html>.
27. Analiz kosmetiki [Elektronnij resurs]. – Rezhym dostupu : <http://cosdna.com/eng/ingredients.php>.
28. Baza dannykh kosmeticheskikh komponentov [Elektronnij resurs]. – Rezhym dostupu : <https://cosmibase.ru/handbook>.

Рецензія/Peer review : 27.12.2019 р.

Надрукована/Printed : 14.1.2020 р.
Рецензент: д.х.н., проф. Сахно Т.В.

С. Є. КАМЕНЕЦЬ, А. І. ТІХОВА

Київський національний університет технологій та дизайну

ДОСЛІДЖЕННЯ ВІДПОВІДНОСТІ ФУНКЦІОНАЛЬНО-СПОЖИВЧИМ ВИМОГАМ ВИРОБІВ З НОВИХ ЕКОЛОГІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ЇХ ПРОСТОРОВИЙ ДИЗАЙН

В статті представлені результати дослідження відповідності функціонально-споживчим вимогам виробів з екологічно чистого матеріалу – рослини айр (лат. *Ácorus*), виявлені позитивні та негативні властивості цього матеріалу, а також запропоновані способи усунення його недоліків у готових виробах. Також апробована методика просторового моделювання шкіргалантерейних виробів із елементами плетіння.

Ключові слова: айр, екоматеріал, порівняння, шкіргалантерейні вироби, плетіння, просторове моделювання, 3D модель.

S. E. KAMENETS, A. I. TIKHOVA

Kyiv National University of Technology and Design

RESEARCH RESPONSIBILITIES OF FUNCTIONAL-CONSUMER REQUIREMENTS OF PRODUCTS OF NEW ENVIRONMENTAL MATERIALS AND THEIR SPATIAL DESIGN

The article presents the results of the study of compliance with the functional and consumer requirements of products made of environmentally friendly material - air plants (Latin *Acorus*), revealed the positive and negative properties of this material, as well as proposed ways to eliminate its shortcomings in finished products. The method of spatial modelling of leather goods with weaving elements was also tested. After studying the influence of the weaving directions on the sample's slipperiness, it was found that the horizontal direction resists sliding, in addition, the greater the surface relief, the greater the resistance. Therefore, it is the horizontal orientation of the weave that is relevant for the manufacture of insoles. Diagonal braiding is the most difficult, so when small braiding less detains dirt, but it is preferable to horizontal braiding. The mentioned properties are relevant for bags and household items. Spatial design of products and separate parts of the fashion industry provides a number of advantages to manufacturers, as it makes it possible to adjust the future product before creating its prototype, allows manufacturers and customers to see the product, evaluating its disadvantages and advantages, and significantly speeds up and improves the quality of design preparation of production.

Keywords: air, eco-material, comparison, leather goods, weaving, spatial modelling, 3D model.

Постановка проблеми

У зв'язку з сучасними глобальними проблемами навколишнього середовища та актуальністю використання екологічно чистої сировини в fashion-індустрії, вперше запропоновано застосовувати екологічно-чисту рослину айр у якості матеріалу деталей чи частин деталей під час виготовлення шкіргалантерейних виробів та взуття.

Аналіз останніх джерел

У зв'язку з новими принципами підходу до екологічно чистого виробництва, актуальними стають питання впровадження сучасних, більш точних способів проектування виробів, нових способів переробки відходів виробництва з мінімізацією трудових затрат, коштів та ресурсів, шляхи заміни небезпечної для людини та природи сировини, та зменшення кількості сміття [1].

Для вирішення цієї проблеми, ми пропонуємо використовувати в ході проектування шкіргалантерейних виробів методи 3D моделювання, зокрема NURBS-орієнтовану програму для тривимірного моделювання Rhinoceros, а для виготовлення деяких частин взуття та сумок натуральну сировину – айр (латинська назва *Ácorus*) [2].

Дослідження властивостей екологічно чистого матеріалу айр показали [3], що у плетеному вигляді матеріал досить міцний та у разі дублювання тканиною показники міцності підвищуються, а еластичність можна відкорегувати, використовуючи текстиль з різними властивостями. Найдоречніше для вкладної устілки використовувати плетіння горизонтального напрямку, яке найміцніше і найменше піддається деформуванню, посилене шаром з текстилю. Плетення у діагональному напрямку є більш еластичнішим, тому його можна застосовувати під час виготовлення сумок, для яких еластичність є бажаною властивістю.

Вже не один рік шкіргалантерейна промисловість активно використовує останні досягнення 3D технологій для створення нової продукції. 3D проектування взуття, сумок та інших шкіряних аксесуарів стало обов'язковим етапом при створенні колекцій [4]. Набуває популярності і 3D друкування, особливо якщо проектується колекція у стилі авангард.

Науковий прогрес дав можливість автоматизувати конструкторську підготовку виробництва, використовуючи системи автоматизованого проектування (САПР), які мають своє застосування у багатьох сферах життя, зокрема у легкій промисловості [5]. У шкіргалантерейній промисловості набувають широкого використання 3D технології, які дають можливість візуалізувати майбутній продукт ще до виготовлення прототипу, даючи можливість завчасно виявити дефекти та недоліки моделі, що проектується, уникнувши матеріальних збитків. Завдяки використанню САПР покращуються умови та якість праці робітників, максимально економиться сировина, так як 3D моделювання дозволяє уникнути необґрунтованих витрат матеріалів та помилок у художньо-естетичному оформленні та функціонуванні, що в кінцевому рахунку

збереже природу. Із САПР стало можливим прискорити процес виробництва з одночасним покращенням якості готового продукту, що корисно як для споживача, так і для виробника.

Мета дослідження. Ціллю роботи є обґрунтування використання рослини аїр для виготовлення деталей взуття та сумок, дослідження відповідності функціонально-споживчим вимогам устілок з цього матеріалу, формування пропозицій з покращення властивостей деталей та виробів з екологічно чистого матеріалу, а також впровадження просторового моделювання шкіргалантерейних виробів з елементами плетіння із аїру.

Виклад основного матеріалу

На сьогоднішній день актуальним є збереження навколишнього середовища, впровадження безвідходного виробництва, запобігання від засмічення планети та ідеї етичної моди. Щодо вирішення екологічної проблеми у fashion-індустрії рішення полягає у використанні для виробництва натуральної сировини і матеріалів, які можна швидко і просто утилізувати, повторно застосовувати, використання яких мінімізує трудові затрати, дозволяє заощадити кошти та ресурси, а також зменшити кількість сміття [1].

Основною метою експериментів є вивчення властивостей аїру та, у кінцевому рахунку, покращення готових виробів. Але покращити будь-який виріб без споживчої оцінки неможливо, тому проведено дослідження з виявлення впливу устілок з аїру в процесі експлуатації на психо-емоційний стан людини, а також проаналізовані експлуатаційні та естетичні, властивості устілок, що дає можливість комплексно її оцінити очима потенційного споживача. Для цього була розроблена просторова модель, а пізніше виготовлені плетені устілки з аїру (рис. 1) різних розмірів та запропоновано для носки впродовж місяця для людей різних за віком, статтю, вагою, діяльністю, вимогами, активністю та особливостями організму. Експеримент проводився влітку.

Суть дослідження полягав у оцінці споживчих властивостей устілок, сплєтених з аїру та порівняння їх з тими, що виготовлені з традиційних матеріалів. Результати експерименту сформовані на основі спостережень його учасників, які заповнювали особистий щоденник (рис. 2), який має наступну структуру:

Оцінювання показників відбувається за 100 бальною системою:

- 1–20 – дуже погано, "ні";
- 20–40 – погано, "скоріше всього ні";
- 40–60 – нормально, "можливо 50/50";
- 60–80 – гарно, "скоріш за все так";

- 80–100 – дуже гарно, "чудово, так".

Наступним етапом дослідження є аналіз щоденників та формулювання висновків щодо властивостей і поведінки устілок у відносно однакових умовах протягом одного відрізка часу, визначення позитивних та негативних властивостей устілок з аїру, формування рекомендацій щодо їх носіння.

Результати дослідження з визначення споживчих властивостей устілки плетеної з аїру показали, що комфортність виробу при експлуатації прямо пропорційна температурі у взутті, що, в свою чергу, залежить від температури зовнішнього середовища та активності людини, що носить виріб. При підвищенні швидкості ходьби, збільшується тертя між устілкою та стопою, що при високій температурі у зовнішньому середовищі призводить до швидкого потіння стопи. Тому дана устілка рекомендується для носіння восени, навесні або взимку, а також знайде застосування у виготовленні домашнього взуття, так як «гріє стопу».

Предмет дослідження не рекомендується використовувати для заняття активними видами спорту, так як при високій температурі стопа потіє і устілка стає ковзкою, що заважає спортсмену повноцінно рухатися.

Усі учасники експерименту зазначили масажний ефект, але для тих, у кого стопа більш груба (стояча професія, вік) масажний ефект забезпечував комфорт, але у кого стопа ніжніша та більш чутлива, на початкових етапах носіння устілки масажний ефект призводив до дискомфорту, тому доцільно плетіння зробити менш грубим, зменшивши його розмір. Всі учасники експерименту зазначили повну відсутність неприємного запаху, незалежно від терміну експлуатації, помітне вологопоглинання. Але поглинання відбувається як з лицьової, так і з протилежної сторони, тому з нижньої частини устілки рекомендується дублювати виріб з матеріалу, який не пропускатиме вологу в зворотному напрямку і одночасно збереже гігієнічні властивості устілки.



Рис. 1. 3D модель і готова вкладна плетена устілка з аїру

Устілка плетена з аїру

Щоденник(П.І.Б) _____

Початок експерименту _____

Кінець експерименту _____

Вік _____

Стать _____

Вага _____

Рід діяльності _____

Перші відчуття, враження при використанні устілки _____

Період звикнення до устілки _____

Втомленість ніг після використання _____

Чи позитивно вплинуло використання устілок на ваш організм в цілому? _____

Негативні властивості устілки _____

Позитивні властивості устілки _____

Побажання, шляхи покращення _____

День №	Комфорт	Масажний ефект	Вологопоглинання,	Ковзкість	Неприємний запах	Стирання	Здатність до формування	Намокаємість	Теплове випромінювання	Електризуємість	Загальне руйнування (тріщини,розриви)	Жорсткість	Естетичний вигляд порівняно з новим зразком	Настрій	Самопочуття	Активність
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																
10																
11																
...																

Рис. 2. Щоденник експерименту

З часом експлуатації, товщина устілки зменшується, починає стиратися і зникає масажний ефект. Спочатку руйнується льон з виворітної сторони, а потім і плетіння з лицьової сторони. Отже дублювати устілку необхідно більш стійким матеріалом з обох боків.

Зі збільшенням строку носіння устілка забруднюється і естетичний вигляд стає незадовільним, тому виріб рекомендується прати або чистити.

Учасники експерименту, що ведуть активний спосіб життя, займаються спортом, та ті, у кого спостерігається гіпергідроз ніг залишили побажання щодо зменшення ковзкості устілок.



Рис. 3. Крупне плетіння



Рис. 4. Дрібне плетіння

Для задоволення потреб споживачів і покращення властивостей устілок проведено експеримент з визначення потенційного опору ковзанню плетених зразків методом похилої площини [6], що дав зрозуміти, який вид плетіння краще підходить для устілок.

Для цього було виготовлено зразки крупного (рис. 3) та дрібного плетіння (рис. 4). Зразки виготовлені розміром 10×10 см у вертикальному, горизонтальному та діагональному напрямках плетіння. Зразок фіксується на рухомій площині. На горизонтально розташовану площину поверх зафіксованого матеріалу розміщується колодка розміром 50×50 мм масою 220 г, обтягнутою шкірою ВРХ, що максимально імітує людську шкіру. Плавню обертаючи рукоятку приладу збільшується кут нахилу рухомої площини, і в момент початку ковзання колодки по плетінню фіксується кут нахилу, що дозволяє визначити вид плетіння та під яким кутом забезпечує мінімальну ковзкість.

Таблиця 1

Ковзкість зразків залежно від напрямку плетіння

№	Напрямок плетіння	Опір при MAX куті,°
Дрібне плетіння		
1	Вертикаль	23,5°
2	Горизонталь	27°
3	Діагональ	23°
Крупне плетіння		
4	Вертикаль	25,5°
5	Горизонталь	34,5°
6	Діагональ	24,5°

Таким чином було встановлено, що горизонтальна орієнтація плетіння зменшує ковзкість устілки, і чим крупніше плетіння, тим більший опір ковзанню: велике плетіння – 34,5°; дрібне плетіння – 27°. Найнижчі показники опору мають зразки з діагональним плетінням: дрібне плетіння – 23°; велике – 24,5°. Зразки з діагональним і вертикальним напрямками плетіння мають близькі показники, хоча вертикальний напрямок плетіння на 0,5–1° виявився менш ковзким.

Отже, горизонтальне плетіння є найпридатнішим для виготовлення устілок. Але дуже об'ємне плетіння викликає дискомфорт. Тому, проаналізувавши споживачькі анкети, для повсякденного взуття рекомендується виготовляти устілки з горизонтальною орієнтацією дрібного плетіння або пропонувати споживачу розмір плетіння залежно від чутливості та розміру стопи. Горизонтальну орієнтацію та крупне плетіння краще використовувати під час виготовлення домашнього взуття.

За допомогою програм 3D моделювання можна максимально візуалізувати створений об'єкт шляхом надання йому кольору, текстури, додати світла та тіні, що зробить об'єкт реалістичнішим та помістить у простір. 3D проектування сумок з елементами плетіння з айру нами було реалізовано у NURBS орієнтованій програмі Rhinoceros 6-сплайнового 3D моделювання від RobertMcNeel & Associates [7], яка активно використовується у промисловому дизайні.

Rhinoceros 3D поєднує в собі інструменти та прийоми для створення як креслень, так і тривимірних моделей. Зазвичай процес просторового проектування має наступні етапи:

- розрахунок параметрів об'єкта;
- креслення «скелета» об'єкта, його деталювання;
- побудова поверхонь і твердих тіл різними методами;
- редагування поверхонь та твердих тіл (нарощування, вирізання, деформування, вигинання, тощо) і перетворення їх у деталі виробу;
- візуалізація, надання текстур, організація освітлення та розміщення у тривимірному просторі;
- перехід від просторової моделі до плоских шаблонів деталей об'єкту.

Для того, щоб виріб мав комерційний успіх, необхідно забезпечити його відповідність моді та індивідуальну естетичну привабливість. «Родзинкою» колекції сумок є деталі і частини виробу плетені з айру. Тому, на початковому етапі в Rhinoceros були розроблені 3D моделі кількох варіантів плетіння для майбутніх сумок та обраний найпривабливіший (рис. 5).

Наступним етапом 3D моделювання була систематизація всіх шарів об'єкта. Так як сумка, що проектується, складається з деталей верху, підкладки, міжпідкладки, фурнітури, плетіння, а також ці деталі виконані з різних матеріалів, які відрізняються за зовнішнім виглядом, призначенням і властивостями, то рекомендується розміщувати деталі по різним шарам. Кожному шару підбирається свій матеріал, текстура і колір, а за необхідності їх можна вимкнути, виділити чи змінити (рис. 6).

Далі, задаючи параметри об'єкта, креслять його тіло, уточнюються та деталюються у відповідності до оригіналу (рис. 7). Деякі частини сумки, такі як фурнітура та плетені деталі, можна проектувати окремо, об'єднуючи їх пізніше в один виріб.

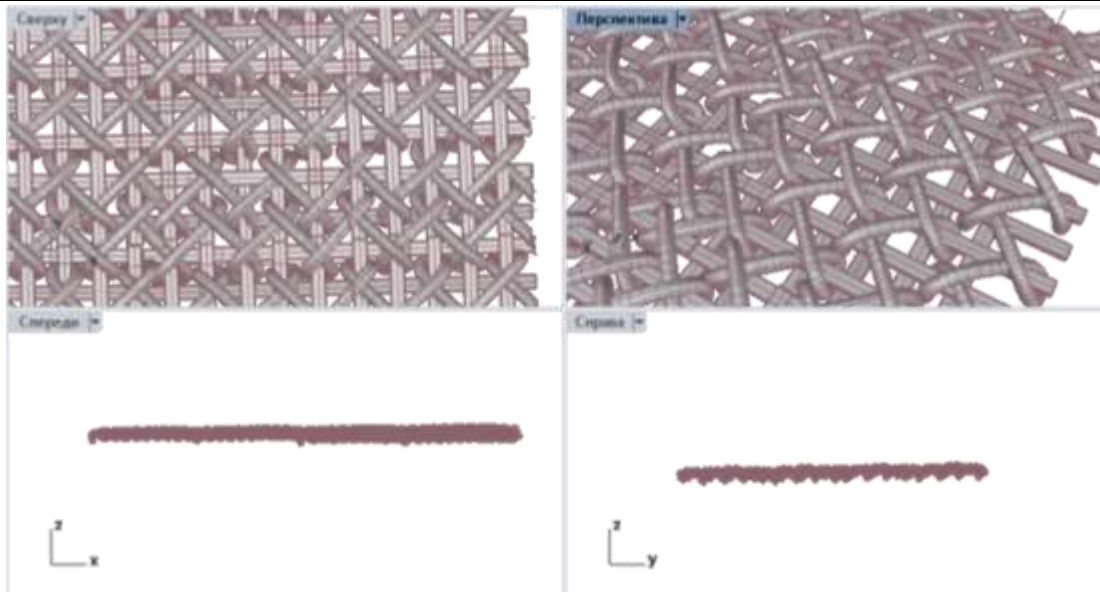


Рис. 5. Обране фігурне плетіння

Имя		Материал	Тип линии
фурнитура			Сплошная
По умолчанию	<input checked="" type="checkbox"/>		Сплошная
КОЖПОДКЛАД			Сплошная
ЖЕЛТАЯ ВЕРХ			Сплошная
ОЛИВКОВАЯ ВЕРХ			Сплошная
ТКАНЬПОДКЛАД			Сплошная
ТЕСЬМА МОЛНИИ			Сплошная
нитка желтая			Сплошная
нитка оливковая			Сплошная
нитка темная			Сплошная
плетение			Сплошная
ТЕМНАЯ ВЕРХ			Сплошная
тесьма тканевой молнии			Сплошная
нитка подклад тканевый			Сплошная

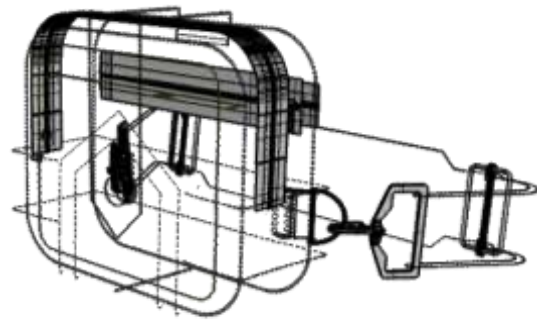


Рис. 6. Систематизація деталей на шарні

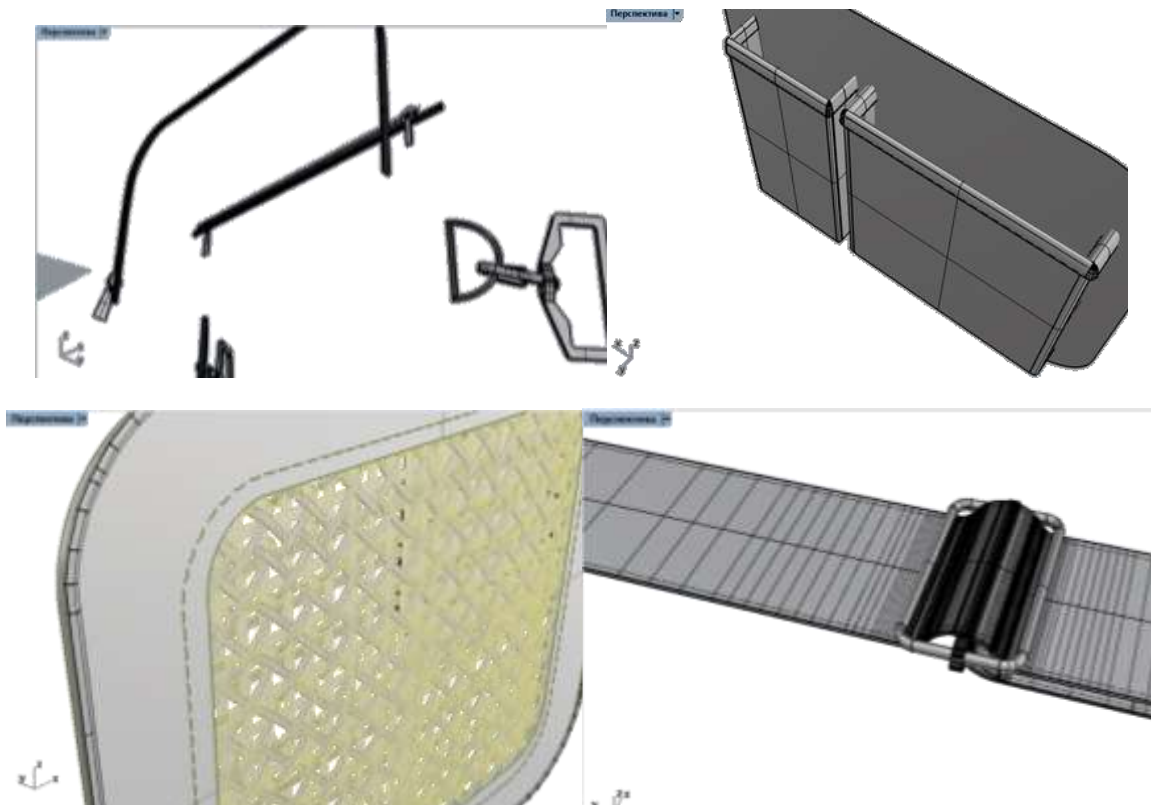


Рис. 7. Створення об'єктів

Потім створені об'єкти з'єднуються один з одним по шарам матеріалів, додаються деталі, деформуються та всіляко змінюються за допомогою широкого спектру інструментів програми, щоб надати об'єкту природний та привабливий вигляд (рис. 8).

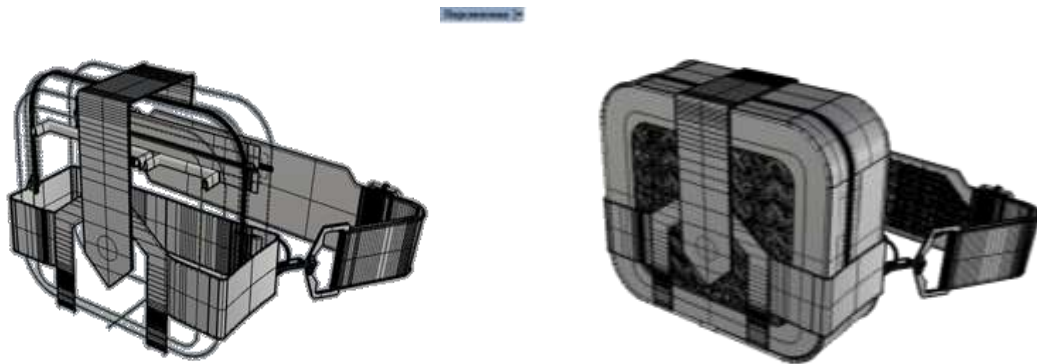


Рис. 8. Компонування об'єктів

Останнім етапом створення 3D моделі є об'єднання виробу у єдиний об'єкт та надання шарам відповідної текстури і кольору, а також розміщення об'єкта у просторі та його візуалізація (рис. 9). В програмі є спеціальні функції, які дозволяють розгорнути і розкатати неплоскі поверхні, що дає змогу одержати шаблони деталей.

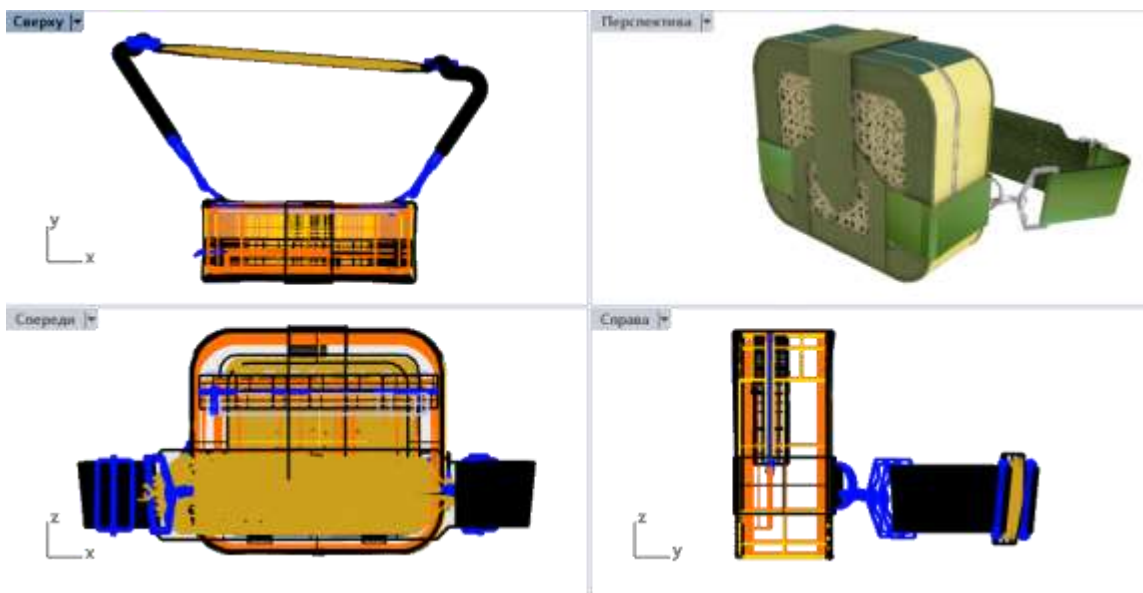


Рис. 9. Просторова модель сумки з деталями з аїру

Застосовуючи таку методику просторового моделювання, нами була розроблена, а пізніше виготовлена колекція сумок (рис. 10).



Рис. 10. Просторові моделі колекції сумок з плетеними елементами

Висновки

В результаті проведених досліджень відповідності функціонально-споживчим вимогам устілки з аїру, можна зробити наступні висновки:

- Використання вкладних устілок поліпшує кровообіг та зменшує втомленість стопи.
- Застосування аїру запобігає появі неприємного запаху та дискомфорту під час тривалої ходьби.
- Плетені устілки з аїру рекомендується використовувати у взутті осінньо-зимового асортименту.
- Розмір плетіння краще підбирати індивідуально.
- Велике плетіння краще використовувати у домашньому взутті, а для підвищення гнучкості та комфортності устілок, а також зменшення їх товщини потрібно використовувати дрібне плетіння.
- Устілка багаторазова та її можна чистити, але швидко стирається, тому доцільно використовувати міцний та гігієнічний дублюючий матеріал з обох боків.

Вивчивши вплив напрямків плетіння на ковзкість зразка, було встановлено, що горизонтальний напрям найбільше чинить опір ковзанню, крім того, чим більша рельєфність поверхні, тим більший опір. Тому саме горизонтальна орієнтація плетіння актуальна для виготовлення устілок. Діагональне плетіння найбільш ковзке, тому при дрібному плетінні менше затримує на собі бруд, але привабливіше за горизонтальне плетіння. Вище вказані властивості актуальні для сумок та предметів побуту.

Просторове проектування виробів і окремих деталей fashion-індустрії надає низку переваг виробникам, так як надає можливість скорегувати майбутній продукт ще до створення його прототипу, дає можливість побачити продукт виробникам і замовникам, оцінивши його недоліки та переваги, та у разі прискорює та підвищує якість конструкторської підготовки виробництва.

Література

1. Рапова О. Альтернативні тканини: з яких матеріалів шують еко-одяг [Електронний ресурс] / Олена Рапова // Burdastyle.ua. – 2018. – Режим доступу : <https://burdastyle.ua/encyclopedia/gid-po-stylyu/trend/alternatyvni-tkanyny-z-yakyh-materialiv-shyut-eko-odyag/>
2. Офіційний сайт Rhinoceros [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.rhino3d.com/6>
3. Каменець С.Є., Тіхова А.І. Дослідження нових екологічних матеріалів для використання в шкіргалантерейних виробках та взутті / С.Є. Каменець, А.І. Тіхова // Тези доповідей XVIII Всеукраїнської наукової конференції молодих учених та студентів [«Наукові розробки молоді на сучасному етапі»], (Київ, 2019 р.) / Мін-во освіти і науки України, КНУТД. – К. : КНУТД, 2019. – Т. 1. – С. 192–193.
4. Каменець С.Є. Аналіз сучасних систем просторового проектування взуття / С.Є. Каменець, О.А. Коваль. – KyivTex&Fashion, 2018.
5. САПР, Информационные технологии в проектировании и производстве [Электронный ресурс] // Форум САПР 2000. – Режим доступа : <http://fsapr2000.ru/lofiversion/index.php/t2003-100.html>
6. Рибальченко В.В. Матеріалознавство виробів легкої промисловості. Методи випробувань : навчальний посібник / В.В. Рибальченко, В.П. Коновал, Е.П. Дрегуляс. – К. : КНУТД, 2010. – 395 с.
7. Матеріал з Вікіпедії Rhinoceros 3D [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://ru.wikipedia.org/wiki/Rhinoceros_3D

References

1. Rapova O. Alternatyvni tkanyny: z yakykh materialiv shiyut eko-odiah [Elektronnyi resurs] / Olena Rapova // Burdastyle.ua. – 2018. – Rezhym dostupu : <https://burdastyle.ua/encyclopedia/gid-po-stylyu/trend/alternatyvni-tkanyny-z-yakyh-materialiv-shyut-eko-odyag/>
2. Ofitsiyniy sait Rhinoceros [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://www.rhino3d.com/6>
3. Kamenets S.Ie., Tikhova A.I. Doslidzhennia novykh ekolohichnykh materialiv dlia vykorystannia v shkirhalantereinykh vyrobakh ta vzutti / S.Ie. Kamenets, A.I. Tikhova // Tezy dopovidei KhVIII Vseukrainskoi naukovoї konferentsii molodykh uchenykh ta studentiv [«Naukovi rozrobky molodi na suchasnomu etapi»], (Kyiv, 2019 r.) / Min-vo osvity i nauky Ukrainy, KNU TD. – K. : KNU TD, 2019. – T. 1. – S. 192–193.
4. Kamenets S.Ie. Analiz suchasnykh system prostorovoho proektuvannia vzuttia / S.Ie. Kamenets, O.A. Koval. – KyivTex&Fashion, 2018.
5. SAPR, Informacionnye tehnologi v proektirovanii i proizvodstve [Elektronnyj resurs] // Forum SAPR 2000. – Rezhim dostupa : <http://fsapr2000.ru/lofiversion/index.php/t2003-100.html>
6. Rybalchenko V.V. Materialoznavstvo vyrobiv lehkoї promyslovosti. Metody vyprobuvan : navchalnyi posibnyk / V.V. Rybalchenko, V.P. Konoval, E.P. Dreghulias. – K. : KNU TD, 2010. – 395 s.
7. Material z Vikipedii Rhinoceros 3D [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : https://ru.wikipedia.org/wiki/Rhinoceros_3D

Рецензія/Peer review : 21.1.2020 р.

Надрукована/Printed : 14.2.2020 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

В.Т. КОНДРАТОВ

Институт кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ МЕТРОЛОГИЯ: МАГНИТОПОЛЕВАЯ ТЕОРИЯ ИЗМЕРЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА ЭНЕРГИИ И ИНФОРМАЦИИ СКВОЗЬ МАТЕРИАЛ ИЛИ ВЕЩЕСТВО

Часть 10. Преобразование потенциальной энергии материала в электроэнергию

Настоящая статья является дальнейшим развитием магнитополевой теории и методов измерений и преобразований физических величин на основе явления переноса энергии и информации сквозь материал. В статье изложена сущность магнитополевого метода преобразования энергии электромеханической системы замкнутого типа в электрическую энергию. Описано ряд технических решений магнитополевых преобразователей потенциальной энергии материала в электрическую энергию. Показана возможность использования разных типов нагрузок: активной, комплексной и реактивной. Работа представляет интерес для метрологов, специалистов, магистров и аспирантов, изучающих магнитополевые методы и средства преобразования потенциальной энергии материалов.

Ключевые слова: магнитополевые методы, преобразование энергии, электромеханическая система.

V.T. KONDRATOV

V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of National academy of Science of Ukraine

FUNDAMENTAL METROLOGY. THE MAGNETIC-FIELD THEORY OF MEASUREMENTS WITH USE OF THE PHENOMENON OF ENERGY TRANSFER AND INFORMATION THROUGH MATERIAL OR SUBSTANCE

Part 10. Transformation of potential energy of a material to the electric power

This article is a further development of the magnetic-field theory and methods for measuring and transforming physical quantities based on the phenomenon of energy and information transfer through material. New, more adequate definitions of the concepts of energy, electrical energy and electrical power are proposed. The essence of the magnetic field method of converting the energy of an electromechanical system of a closed type into electrical energy is described. It is argued that as a source of electrons (moving material particles) a mechanical system of a certain configuration should be used that ensures the fulfilment of two fundamental laws: the law of conservation of mechanical energy and the law of conservation of electromagnetic energy. It is proposed to use a planar double-circuit waveguide as a mechanical system, which is a closed-loop mechanical system that ensures the implementation of these laws. The possibility of using the phenomenon of energy and information transfer is established not only for solving measurement problems, but also for solving the problem of converting the electromagnetic form of energy of a mechanical system of a closed type into electrical energy. For the manufacture of the waveguide, it is necessary to choose a material with high electrical conductivity, which depends on the concentration of free, electrically charged particles that are not associated with atoms and molecules or with the crystal structure of the material. The combined schemes of magnetic-field energy converters with feedback on the magnetic field and with different types of loads: active, complex and resonant are given and described. Of most interest are converters using boost RF transformers of a resonant type. A foundation has been laid for the development of a new direction in conversion technology and in electrical engineering — magnetic-field conversion into electrical energy of the electromagnetic form of the energy of a mechanical system of a closed type.

Keywords: magnetic field methods, energy conversion, electromechanical system.

Введение

Энергия не исчезает и не может быть создана из ничего, а выступает в различных своих формах, например, в форме тепловой, механической, световой, электрической энергии и т. д. [1].

По своей природе различают электрическую энергию, тепловую, механическую, энергию электрического поля атмосферы, энергию магнитного поля, энергию приливов, волн, течений, льда, энергию ветра, энергию за счет ядерного синтеза, химическую энергию, в том числе энергию за счет сверхэффективного электролиза, энергию топливных элементов и др.

В настоящее время освоены большинство из перечисленных родов энергий, созданы соответствующие преобразователи, ведутся исследования по повышению их эффективности и т. д. Особое внимание уделяется развитию альтернативных источников энергии, использующих новые физические эффекты и явления.

В 70-е годы XXI века было открыто явление переноса энергии и информации сквозь материал (вещество), получила развитие новое научное направление в метрологии и измерительной технике — магнитополевая теория измерений. В ее основе в качестве нового принципа измерений используется упомянутое явление переноса. Были разработаны и защищены патентами Украины магнитополевые методы и средства измерений физических величин. Впервые в мире измерены энергия Ферми материалов макромира, энергия дискретных энергетических уровней Ландау, удельная электропроводность листовых материалов и т. д.

Исследования показали возможность использования магнитополевой теории и для решения задач однопроводной передачи энергии и преобразования разных форм энергии физических систем в электрическую энергию.

Целью работы является развитие новой ветви магнитополевой теории измерений, направленной на преобразование разных форм энергии физических систем в электроэнергию.

Объектом исследований являются магнитополевые (МП) преобразователи разных форм энергии физических систем в электроэнергию.

Предметом исследований являются магнитопольевые методы и средства преобразования энергии электромеханической системы в электроэнергию.

Результаты исследований

Рассмотрим новый подход к преобразованию энергии электромеханической системы в электрическую энергию на основе явления переноса энергии и информации сквозь материал.

1. Преобразование потенциальной энергии материала в электроэнергию

1.1. Энергия, новые определения

Энергия — единая мера различных форм движения и взаимодействия материи, мера перехода движения материи из одних форм в другие [2].

Электрическая энергия — это способность электромагнитного поля производить работу, преобразовываясь в другие виды энергии [3].

Согласно [4], электрическая энергия — это способность электромагнитного поля совершать работу под действием приложенного напряжения в технологическом процессе её производства, передачи, распределения и потребления.

Такие определения не корректны, т.к. не отражают физическую сущность энергии. Электрическая энергия — это не способность, а свойство. Предлагается иная трактовка указанных понятий.

Энергия — свойство поля той или иной физической природы совершать работу по изменению формы движения и взаимодействия материи или по переходу движения материи из одних форм в другие.

Электрическая энергия — свойство электромагнитного поля совершать работу по изменению параметров движения и взаимодействия электронов и других отрицательно заряженных квазичастиц или по переходу их движения из одних форм в другие.

Электрическая мощность — это свойство электромагнитного поля совершать работу по перемещению электрических зарядов в единицу времени.

Электрическую энергию получают путем преобразования указанных видов и форм энергий в иные, чаще всего в электроэнергию.

Следует отметить, что до настоящего времени еще ведутся споры, как правильно говорить: «вид энергии» или «форма энергии». Точку в этом споре поставил проф. И.Ш. Коган, предложивший классификацию понятий, связанных с формами и видами энергии в термодинамике [5].

Согласно Большой Советской Энциклопедии «энергия в природе не возникает из ничего и не исчезает; она только может переходить из одной формы в другую». В этом предложении речь идет только о формах движения и о формах энергии [5]. Безусловно, различные формы энергии следует рассматривать в соответствии с различными формами движения материи.

В популярном метрологическом справочнике [6] сказано: «различным видам движения и взаимодействия материи соответствуют разные виды энергии: механическая (кинетическая и потенциальная), внутренняя, электромагнитная, ядерная и др.». Здесь уже говорится о видах движения и видах энергии.

На рис. 1 приведена, связанная с энергией системы, классификация физических понятий по И.Ш. Когану, дополненная еще одной известной формой энергии системы — электромеханической. Последняя занимает в классификации промежуточное положение между механической и чисто электрической формой энергии системы (на рис. 1 выделен утолщенными линиями блок и его связи).

Электромеханическая форма энергии присуща, например, плоским двухконтурным волноводам, — электромеханическим системам замкнутого типа, изучаемым автором настоящей статьи. В такой системе направленное движение электронов характеризует механическую форму энергии системы, а явление переноса ими зарядов — электрическую.

Фактически классификация, приведенная на рис. 1, представляет собой классификацию форм и видов энергии в электродинамике (без указания природы энергий).

В приведенной классификации используется несколько новых понятий: эксергия, анергия и инергия. Приведем их определения согласно [5].

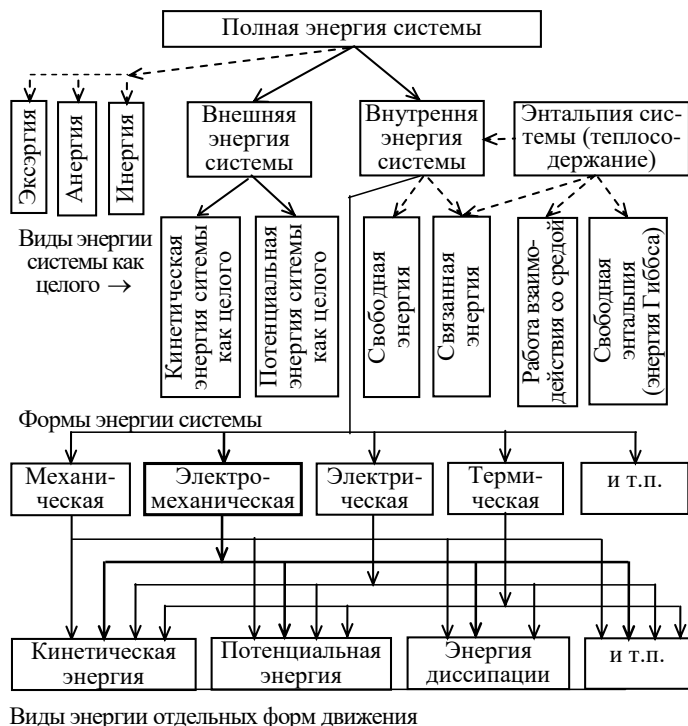


Рис. 1. Классификация физических понятий, связанных энергией системы

Понятия эксергия и анергия призваны различать полную энергию системы только по признаку работоспособности. Эксергия — это работо-способная (технически пригодная) часть полной энергии системы. Анергия — это неработо-способная (технически непригодная) часть полной энергии. Инергия — это часть энергии системы, участвующая во внутренних превращениях безотносительно к тому, в чем эти превращения выражаются — в совершении полезной или диссипативной, внешней или внутренней работы¹.

Следует помнить, что «все виды энергии (потенциальная, кинетическая, энергия диссипации, потенциальная энергия положения и потенциальная энергия деформации²) относятся к любой форме движения и к любой форме энергии» [5].

1.2. Магнитопольевой метод преобразования потенциальной энергии материала в электроэнергию

Рассмотрим сущность магнитопольевого метода преобразования потенциальной энергии материала в электроэнергию. Основными эле-ментами (частицами), передающими электри-ческую энергию являются электроны материала (или вещества). Они обладают определенной частотой вращения и потенциальной энергией в заданном объеме материала. Проблема заключается в разработке такого метода преобразования, при котором потенциальная энергия материала (вещества) преобразуется, в конечном счете, в электрическую энергию посредством, например, изменения формы взаимодействия материи и обеспечения направленного движения электронов, как носителей электрических зарядов, в толще материала заданного объема.

Исследования показали, что в качестве источника электронов (движущихся материальных частиц) должна использоваться электромеханическая система такой конфигурации, при которой одновременно выполняются два фундаментальных закона: закон сохранения механической энергии и закон сохранения электромагнитной энергии. Кроме того, должен быть известен закон симметрии, по которому атомы размещены в ячейке решетки кристалла, и средняя длина свободного пробега электронов. В качестве таковой предложено использовать плоский двухконтурный волновод, представляющий собой электромеханическую систему замкнутого типа с высокой удельной электропроводностью, обеспечивающую выполнение указанных законов.

Благодаря использованию плоского двухконтурного волновода было открыто явление переноса энергии и информации сквозь исследуемый материал. Из этого материала был изготовлен волновод с априори заданными параметрами (электропроводностью, толщиной, площадью поверхности, объемом) и конфигурацией. Изучение явления переноса показало возможность использования его не только для решения измерительных задач, но и для решения задачи получения свободной энергии из запасенной в материале энергии.

Был предложен метод преобразования энергии, в основу которого положено явление переноса энергии (и информации) сквозь материал, из которого изготовлен плоский двухконтурный волновод, а также явление индукции ЭДС в приемном контуре. Указанные явления проявляются благодаря направленному воздействию на материал стабилизированного (по значению частоты и напряженности) магнитного поля высокой частоты. Это силовое поле формируется током высокой частоты и прямоугольной формы (типа меандр), текущим через катушки индуктивности. Последние располагаются перпендикулярно площади поверхности первого и второго плоских контуров двухконтурного волновода. Контуров волновода, как и другие катушки индуктивности, защищаются от воздействия внешних магнитных полей экранами, в качестве которых могут быть использованы броневые ферритовые сердечники.

Использование дополнительно двух катушек индуктивности, которые также расположены перпендикулярно площади поверхности контуров двухконтурного волновода, связано с необходимостью контроля процесса передачи и приема электромагнитных колебаний. Следует отметить, что для изготовления волновода выбирается материал с высокой электропроводностью. Как известно [7], электропроводность разных материалов зависит от концентрации свободных, не связанных с атомами, молекулами или кристаллической структурой, электрически заряженных частиц. Чем больше концентрация таких частиц, тем больше электропроводность данного вещества.

Согласно предложенному магнитопольевому методу преобразования энергии, вначале формируется сигнал в виде прямоугольных (типа меандр) импульсов тока высокой частоты ω_0 и заданной амплитуды I_m . Математически этот сигнал можно записать в виде уравнения величин:

$$i(t) = I_m \left[\frac{k_1}{k_2} + \frac{k_2}{n} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(k_2 n - k_1) \omega_0 t}{k_2 n - k_1} \right], \quad (1)$$

где $k_1 = 1$, $k_2 = 2$.

Переменный ток (1) поочередно, с низкой частотой коммутации Ω_0 , пропускается через катушки индуктивности, расположенные над контурами волновода. В нечетные полупериоды частоты коммутации через катушку индуктивности, расположенную над первым контуром волновода, течет импульсный ток (типа меандр)

¹ редакция автора

² Этот вид потенциальной энергии связан с внутренним

$$i_{вч1}(t) = I_m \left(\frac{k_1}{k_2} + \frac{k_2}{n} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(k_2 n - k_1) \omega_0 t}{k_2 n - k_1} \right) \left(\frac{k_1}{k_2} + \frac{k_2}{n} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(k_2 n - k_1) \Omega_0 t}{k_2 n - k_1} \right), \quad (2)$$

а через катушку индуктивности, расположенную над вторым контуром волновода — ток

$$i_{вч2}(t) = I_m \left(\frac{k_1}{k_2} + \frac{k_2}{n} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(k_2 n - k_1) \omega_0 t}{k_2 n - k_1} \right) \left(\frac{k_1}{k_2} - \frac{k_2}{n} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(k_2 n - k_1) \Omega_0 t}{k_2 n - k_1} \right), \quad (3)$$

где $k_1 = 1, k_2 = 2$.

В каждой катушке формируется соответствующее соленоидальное импульсное магнитное поле высокой частоты. Для его стабилизации часть тока, текущего через катушку индуктивности, направляется в контур отрицательной обратной связи первой и второй пар высокочастотных контуров. Причем, наведенная, за счет взаимной индукции, э.д.с. в соответствующих катушках индуктивности выпрямляется с целью преобразования ее в постоянный ток обратной связи.

Следует обратить внимание на то, что соленоидальное магнитное поле — это трубчатое векторное поле с нулевым расхождением потоков, входящих в катушку индуктивности и выходящих из нее. Примером является магнитное поле внутри бесконечно длинного соленоида, для которого $\operatorname{div} \mathbf{B} = 0$, где \mathbf{B} — вектор магнитной индукции. Равенство дивергенции нулю означает, что соленоидальное импульсное магнитное поле свободно от источников. Соленоидальное импульсное магнитное поле — вихревое векторное поле, характеризующееся векторным потенциалом — функцией (\mathbf{A}) такой, что $\mathbf{B} = \operatorname{rot} \mathbf{A}$. Для трубчатого векторного поля справедлив принцип сохранения интенсивности: в соленоидальном импульсном магнитном поле потоки трубчатого векторного поля через разные его поперечные сечения (сечения «векторной трубки») равны между собой по интенсивности (сохраняют постоянное значение).

Полная энергия импульсного магнитного поля высокой частоты в каждой катушке индуктивности описывается уравнением величин

$$W_{0M} = L_0 [i_{вч}(t)]^2 / k_2, \quad (4)$$

где L_0 — индуктивность катушки индуктивности через которую течет переменный ток.

Выразим энергию однородного импульсного магнитного поля высокой частоты внутри длинного соленоида, которым и является катушка индуктивности, через величины, характеризующие это поле в окружающем пространстве.

Индуктивность соленоида определяется уравнением величин:

$$L_0 = \mu \mu_0 N^2 \frac{S_0}{l_0}, \quad (5)$$

где μ — магнитная проницаемость; μ_0 — магнитная постоянная; S_0 и l_0 — соответственно, площадь поперечного сечения соленоида и его длина; N — число витков катушки.

В этом случае энергия магнитного поля соленоида определяется по уравнению величин

$$W_{0M} = \frac{\mu \mu_0}{k_2} \frac{N^2 [i_{вч}(t)]^2}{l_0} S_0. \quad (6)$$

Энергия импульсного магнитного поля в первой и второй катушках индуктивности опишется, соответственно, уравнениями величин:

$$W_1(t) = W_{0M} \left[\frac{k_1}{k_2} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(k_2 n - k_1) \Omega_K t}{k_2 n - k_1} \right], \quad (7)$$

и

$$W_2(t) = W_{0M} \left[\frac{k_1}{k_2} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(k_2 n - k_1) \Omega_K t}{k_2 n - k_1} \right]. \quad (8)$$

Согласно магнитополевого метода преобразования энергии, потенциальная энергия материала волновода преобразуется в кинетическую энергию бесконечно движения электронов по замкнутому контуру волновода.

Покажем, что благодаря закону сохранения и превращения механической энергии осуществляется перенос энергии электронов по замкнутому контуру волновода.

Важной особенностью закона сохранения механической энергии, в том числе и для волновода, выполненного из металла и содержащего N электронов, движущихся по замкнутому контуру, является то, что этот закон устанавливает связь между координатами и скоростью движения электрона в двух разных точках траектории движения.

Для системы из N движущихся электронов, прирост кинетической энергии равен:

$$\sum_{i=1}^n m_{ei} (\mathbf{v}_{ei} d\mathbf{v}_{ei}) = \sum_{i=1}^n (\mathbf{F}_{ki} + \mathbf{F}_{pi}) d\mathbf{l}_{ei} + \sum_{i=1}^n \mathbf{F}_{Mi} d\mathbf{l}_{ei} \quad (9)$$

где m_{ei} и v_{ei} — масса и скорость i -го электрона; F_{ki} , F_{pi} и F_{Mi} — i -я равнодействующая внутренних

кулоновских, внешних консервативных и неконсервативных (магнитных) сил; l_{ei} — путь, проходимый i -м электроном.

При скорости движения электронов намного меньшей скорости света ($v \ll c$), их массы постоянны и равны между собой, т.е. $m_{e1} = m_{e2} = \dots = m_{ei} = \dots = m_{en} = m_e$, как равны между собой и равнодействующие внутренних кулоновских сил, — $F_{\pi 1} = F_{\pi 2} = \dots = F_{\pi i} = \dots = F_{\pi n} = F_{\pi}$. При силовом действии импульсного магнитного поля высокой частоты на электроны, их скорости выравниваются, т.е. $v_{e1} = v_{e2} = \dots = v_{ei} = \dots = v_{en} = v_e$. При этом выравниваются и равнодействующие внешних консервативных сил ($F_{k1} = F_{k2} = \dots = F_{ki} = \dots = F_{kn} = F_k$), и внешних неконсервативных (магнитных) ($F_{M1} = F_{M2} = \dots = F_{Mi} = \dots = F_{Mn} = F_M$) сил.

Левая часть равенства (9) представляет собой приращение кинетической энергии системы:

$$\sum_{i=1}^n m_{ei} (\mathbf{v}_{ei} d\mathbf{v}_{ei}) = \sum_{i=1}^n d \left(\frac{m_{ei} \mathbf{v}_{ei}^2}{k_2} \right) = dE_k, \tag{10}$$

где $k_2 = 2$.

В правой части равенства (9) первый член характеризует элементарную работу внутренних и внешних консервативных сил. Он равен элементарному приращению потенциальной энергии:

$$\sum_{i=1}^n (\mathbf{F}_{ki} + \mathbf{F}_{\pi i}) d\mathbf{l}_{ei} = dE_{\pi}. \tag{11}$$

где F_{ki} — равнодействующая внешних консервативных сил, действующих на каждый электрон, и обеспечивающая их движение, а $F_{\pi i}$ — равнодействующая внутренних консервативных сил (постоянных потенциальных полей кулоновских сил).

Второй член правой части равенства (9) описывает работу $dA = \sum_{i=1}^n \mathbf{F}_{Mi} \cdot d\mathbf{l}_{ei}$ внешних неконсервативных сил (импульсного магнитного поля высокой частоты), действующих на материал волновода.

В целом, изменение полной энергии системы из n электронов равно изменению энергии внешних неконсервативных сил, т.е.

$$d(E_k + E_{\pi}) = dA. \tag{12}$$

Необходимо отметить, что переход n электронов, движущихся по замкнутому контуру двоконтурного волновода из одного положения (обозначим цифрой «1») в другое положение (обозначим через «2») осуществляется за счет работы внешних неконсервативных сил (например, за счет магнитной индукции импульсного электромагнитного поля высокой частоты) и описывается уравнением величин

$$\int_1^2 d(E_k + E_{\pi}) = \sum_{i=1}^n \mathbf{F}_{Mi} \cdot d\mathbf{l}_{ei12} = n(\mathbf{F}_M \cdot d\mathbf{l}_{e12}) = A_{12} \tag{13}$$

где F_M — равнодействующая внешних неконсервативных сил (сил индукции магнитного поля высокой частоты), действующих на каждый электрон; $d\mathbf{l}_{ei12}$ — перемещение электрона под действием сил магнитного поля за интервал времени Δt ; A_{12} — работа, выполняемая внешними неконсервативными силами.

Таким образом, явление переноса энергии электронов сквозь материал описывается с помощью закона сохранения механической энергии. Только этот закон позволяет получить связь между координатами и скоростями электронов в двух разных точках их движения по замкнутому контуру. Причем нет необходимости в анализе закона движения электронов во всех промежуточных точках.

Согласно (13), изменение полной энергии движения n электронов по замкнутому контуру электромеханической системы (двухконтурного волновода) при переходе из одного состояния в другое равно работе, выполняемой внешними неконсервативными силами, т.е. силами индукции импульсного магнитного поля высокой частоты. Если эти силы отсутствуют то, как следует из (13),

$$d(E_k + E_{\pi}) = 0. \tag{14}$$

Полная энергия волновода остается величиной постоянной:

$$E_k + E_{\pi} = W = \text{const}. \tag{15}$$

Равенство (15) описывает закон сохранения энергии электронов в материале, согласно которому сумма кинетической и потенциальной энергии электронов материала механической системы замкнутого типа, в которой действуют только консервативные силы, остаётся постоянной.

Таким образом, энергия электронов консервативной системы замкнутого типа не меняется в процессе их движения.

Поскольку в основу явления переноса энергии положено взаимодействие соленоидального импульсного магнитного поля с электронами материала, то формализовано это явление может быть описано через закон локального сохранения электромагнитной энергии. В интегральной форме он описывается следующим образом:

$$\iint_S \mathbf{\Pi} \cdot d\mathbf{S} + \frac{d}{dt} \int_V \omega dV + \int_V p_{\Pi} dV = \int_V p_{ст} dV, \quad (16)$$

где $\mathbf{\Pi}$ — вектор Пойнтинга, характеризующий плотность потока электромагнитной энергии и указывает направление его движения; $\iint_S \mathbf{\Pi} \cdot d\mathbf{S}$ — мощность излучения (плотность потока электромагнитной

энергии, проходящей через элементарную поверхность dS материала волновода); $\frac{d}{dt} \int_V \omega dV$ — изменение во

времени (прирост) объемной плотности электромагнитной энергии, проходящей через элементарный объем;

$\int_V p_{\Pi} dV$ — объемная плотность мощности потерь, возникающих в результате уравнивания действия сил

Лоренца силами Кулона при движении электронов в электрическом поле; $\int_V p_{ст} dV$ — мощность сторонних

сил, обусловленная объемной плотностью мощности сторонних сил в элементарном объеме (за счет силового воздействия подведенной к материалу волновода энергии магнитного поля),

В дифференциальной форме закон сохранения электромагнитной энергии имеет вид:

$$\operatorname{div} \mathbf{\Pi} + \frac{\partial \omega}{\partial t} + p_{\Pi} = p_{ст}, \quad (17)$$

где $\operatorname{div} \mathbf{\Pi}$ — дивергенция вектора Пойнтинга; $p_{\Pi} = \lim_{\{V\} \rightarrow \{\Delta_V\}} \frac{P_{\Pi}}{V}$ — объемная плотность мощности

потерь, определяемая как отношение мощности потерь к объему, причем значение объема выбирается как можно малым, т.е. $\{V\} \rightarrow \{\Delta_V\}$ где $\{\Delta_V\}$ — предельное (весьма малое) числовое значение объема.

Закон сохранения энергии электромагнитного поля устанавливаем баланс мощностей в произвольном объеме электромагнитного поля и формулируется следующим образом: «небаланс мощностей в заданном объеме V компенсируется потоком вектора Пойнтинга, направленным внутрь объема (знак « \leftarrow ») через замкнутую поверхность S , ограниченную этим объемом» [3].

Согласно описываемого метода преобразования, в случае произвольного выбора материала, формируются токи проводимости, переноса и / или смещения, обусловленные движением отрицательно заряженных квазичастиц. Поэтому волновод, изготовленный из разных материалов, проявляет разные свойства. При изготовлении волновода из металлов в преобразовании энергии участвует большая часть тока проводимости, металлокерамики — токов проводимости и токов переноса. Существуют материалы с одинаковыми или разными долями носителей тока. Теоретически любые материалы могут быть использованы для решения поставленной технической задачи. Практически выбираются те материалы, которые содержат большое количество свободных электронов в единице объема.

Созданную высокочастотными токами электромагнитную волну направляют через частотно-избирательную нагрузку. В качестве последней может быть использовано, нагрузка в виде, например, последовательно соединенных спирали лампочки накаливания и чувствительного элемента измерителя тока, с которыми параллельно соединен конденсатор. Подобранный емкостью конденсатора обеспечивает получение резонанса токов, при котором лампочка накаливания потребляет электроэнергию, передаваемую электромагнитной волной.

Об эффективности преобразования потенциальной энергии материала в электроэнергию судят по яркости свечения (мощности) лампочки накаливания и по отношению тока, потребляемого частотно-избирательной нагрузкой, и тока, используемого для формирования соленоидального импульсного магнитного поля. При этом текущий контроль за процессом потребления энергии осуществляется по результатам выпрямления ЭДС, наведенной в приемном контуре, расположенном, как и контур отрицательной обратной связи, перпендикулярно плоскости двухконтурного волновода.

Напряжение

$$u_{\text{вих}}(t) = k_T u_{\text{вих}}(t), \quad (18)$$

где k_T — коэффициент трансформации, наведенное в приемном контуре, выпрямляется и усредняется согласно аналитическому выражению:

$$U_{\text{ср}} = \sqrt{\frac{k_1}{T'_k} \int_0^{T'_k} |u_{\text{вих}}(t)| dt}, \quad (19)$$

где $T'_k = nT_k$ — время интегрирования, кратное периоду частоты коммутации ($n=1-100$) и более; $k_1 = 1$.

Следует отметить, что усреднение выпрямленного напряжения осуществляется за счет использования RC -нагрузки.

Описанный магнитолевой метод обеспечивает последовательное преобразование форм и видов энергий: а) энергии соленоидального импульсного магнитного поля высокой частоты (соленоидальная форма энергии магнитного поля системы) в кинетическую энергию направленного движения электронов (механическая форма энергии системы); б) энергии колебательно-вращательно-поступательного движения электронов, несущих заряды (кинетическая энергия) в энергию продольной электромагнитной волны (в электромеханическую форму энергии системы); в) преобразование энергии электромагнитной волны в электрический сигнал (в электрическую форму энергии системы).

1.3. Магнитолевые преобразователи потенциальной энергии материала в электроэнергию

Рассмотрим вопросы реализации описанного метода преобразования потенциальной энергии материала электромеханической системы¹ в электроэнергию на примере магнитолевого преобразователя, комбинированная схема которого приведена на рис. 2. На рис. 2 использованы следующие обозначения: ГВЧ — генератор тока высокой частоты; ГНЧ — генератор импульсов низкой частоты коммутации; Кл1 и Кл2 — высокочастотные ключи; БС1 и БС2 — первый и второй броневые ферритовые сердечники (магнитные экраны); L1 и L2 — первая и вторая катушки индуктивности первой пары высокочастотных контуров; L3 и L4 — первая и вторая катушки индуктивности второй пары высокочастотных контуров; ЛН — лампочка накаливания; WG — двухконтурный волновод; L5 и L6 — первый и второй одновитковые контура волновода; R1 — подстроичный резистор; Д1 и Д2 — первый и второй диоды; МГ — микрометрическая головка; ИТ — измеритель тока.

После включения питания, ток высокой частоты (1) с выхода источника тока ИТ поступает на входы высокочастотных ключей Кл1 и Кл2, а также на синхронизирующий вход генератора ГНЧ импульсов низкой частоты коммутации. В результате на прямом и инверсном выходах ГНЧ появляются прямоугольные импульсы, которые поочередно, с низкой частотой коммутации Ω_0 , открывают высокочастотные ключи Кл1 и Кл2.

Синхронизация импульсов низкой частоты коммутации импульсами высокой частоты осуществлена для синфазной работы генератора ГНЧ.

Частота коммутации выбирается в пределах (50–1000) Гц, а рабочая частота источника переменного тока ИТ — (1–20) МГц и выше.

Ток высокой частоты с выхода Кл1 и Кл2 в виде пачек импульсов (2) и (3) поступает на катушки индуктивности L2 и L4 соответственно. Переменные токи (2) и (3) создают в них соленоидальные импульсные магнитные поля высокой частоты с энергией (7) и (8) соответственно.

Энергия (7) и (8) импульсного магнитного поля поочередно воздействует на электроны первого и второго колебательных контуров L5 и L6 волновода WG и устанавливает их движение по замкнутому контуру в одну сторону, например, слева направо. Это приводит к превращению потенциальной энергии материала двухконтурного волновода WG в энергию бесконечного движения электронов и создаваемой ими электромагнитной волны по замкнутому контуру волновода WG.

Следует отметить, что двухконтурный волновод WG представляет собой плоские контуры L5 и L6 диаметрально и противоположно расположенные в одной плоскости и соединены между собой через активную нагрузку — лампу накаливания ЛН (см. рис. 2). Благодаря силовому воздействию соленоидального импульсного магнитного поля высокой частоты формируются токи проводимости, обусловленные движением электронов.

Для съема электрической энергии в разрезе между контурами L5 и L6 волновода подключается нагрузка.

Как отмечалось выше, об эффективности преобразования в электроэнергию потенциальной энергии материала волновода, выполненного, например, из меди, судят по яркости свечения (мощности) лампочки накаливания ЛН и по отношению тока, потребляемого активной нагрузкой и действующим значением тока, формируемого импульсное магнитное поле высокой частоты. В последнем случае измеритель тока встроен в ГВЧ.

По своему характеру нагрузка может быть активной, реактивной и комплексной. На рис. 2 приведена комбинированная схема магнитолевого преобразователя энергии с активной нагрузкой в виде лампочки накаливания ЛН, на рис. 3 — с обратной связью по магнитному полю и с резонансным RLC-контуром, а на рис. 4 — комбинированная схема магнитолевого преобразователя энергии с обратной связью по магнитному полю, с резонансным повышающим ВЧ-трансформатором и выпрямителем переменного тока. На

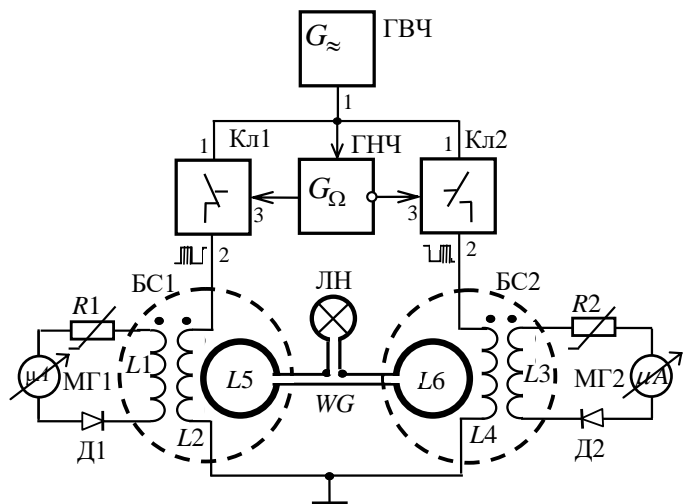


Рис. 2. Комбинированная схема простейшего магнитолевого преобразователя с обратными связями по магнитному потоку

¹ с электромагнитной формой энергии системы

рис. 4. и рис. 5 приведены комбинированные схемы магнитопольных преобразователей энергии с обратными связями по магнитному полю, с повышающими трансформаторами на высокочастотных ферритовых кольцевых сердечниках, причем, на рис. 4 используется резонанс токов, рис. 4 — резонанс напряжений, и выпрямителями.

Все варианты магнитопольных преобразователей энергии в своей основе реализуют описанный выше метод и являются идентичными. Различия заключаются в использовании разных нагрузок.

На рис. 3, например, в качестве нагрузки используется параллельный RLC -контур низкой добротности, состоящий из параллельно включенных конденсаторов $C1$ и $C2$ и последовательно соединенных лампочки накаливания ЛН и резистивного чувствительного элемента (сенсора) измерителя тока ИТ.

Элементы ЛН и ИТ образуют ветвь из последовательно соединенных резистора с общим сопротивлением $R_{к1}$ и индуктивности L_k спирали лампочки накаливания ЛН.

Вторую ветвь параллельного контура образуют последовательно соединенные резисторы (подводящие проводники конденсаторов) с результирующим сопротивлением $R_{к2}$ и параллельно соединенные конденсаторы $C1$ и $C2$ с общей емкостью C_k .

Добротность Q_k RLC -контура равна отношению его характеристического сопротивления к сопротивлению потерь и математически выражается уравнением величин

$$Q_k = \sqrt{L_k/C_k} / (R_{к1} + R_{к2}) = \rho / R_{\Sigma} \tag{20}$$

Поскольку, согласно (20), с уменьшением активного сопротивления R_{Σ} добротность RLC -контура увеличивается, то ЛН выбирается с малым значением омического сопротивления спирали.

Действующее значение тока, протекающего через первую ветвь, состоящую из ЛН и ИТ с омическим сопротивлением $R_{к1}$ и индуктивностью L_k , описывается уравнением величин

$$I_{ЛН} = \frac{U_k}{R_{к1} + i\omega L_k} \tag{21}$$

где U_k — действующее значение напряжения на контуре.

Через конденсаторы, образующие ветвь параллельного RLC -контура, состоящую из емкости C_k и омического сопротивления $R_{к2}$, течет ток

$$I_c = \frac{U_k}{R_{к2} - \frac{i}{\omega C_k}} \tag{22}$$

Суммарный ток описывается уравнением величин [5]:

$$I_{\Sigma} = \frac{R_{к1} + R_{к2} + i\left(\omega L_k - \frac{k_1}{\omega C_k}\right)}{(R_{к1} + i\omega L_k)\left(R_{к2} - \frac{i}{\omega C_k}\right)} U_k \tag{23}$$

При любой частоте ω действующее значение тока в параллельном RLC -контуре определяется согласно уравнению величин [5]:

$$|I_k| = |I_{рез}| \frac{\sqrt{R_k^2 + \left(\omega L_k - \frac{k_1}{\omega C_k}\right)^2}}{R_k} = |I_{рез}| \sqrt{k_1^2 + Q_k^2 \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)^2} \tag{24}$$

Зависимость резонансной частоты от параметров параллельного колебательного контура математически описывается уравнением величин [8]:

$$f_{рез} = \frac{k_1}{k_2 \pi \sqrt{L_k C_k}} \left[\frac{\rho^2 - R_{к1}^2}{\rho^2 - R_{к2}^2} \right] \tag{25}$$

или, через круговую частоту, —

$$\omega_k = \omega_0 \sqrt{(k_1 - \rho^2/R_{к1}^2)/(k_1 - \rho^2/R_{к2}^2)} \tag{26}$$

Следует отметить, что при резонансе реактивная составляющая входного сопротивления параллельного RLC -контура равна нулю, входное сопротивление чисто активно, и, соответственно, фазовый сдвиг между током и напряжением на входных зажимах цепи тоже равен нулю. При резонансе значения токов в реактивных элементах в Q раз больше значения общего тока цепи.

На рис. 4 приведена комбинированная схема магнитопольного преобразователя энергии с

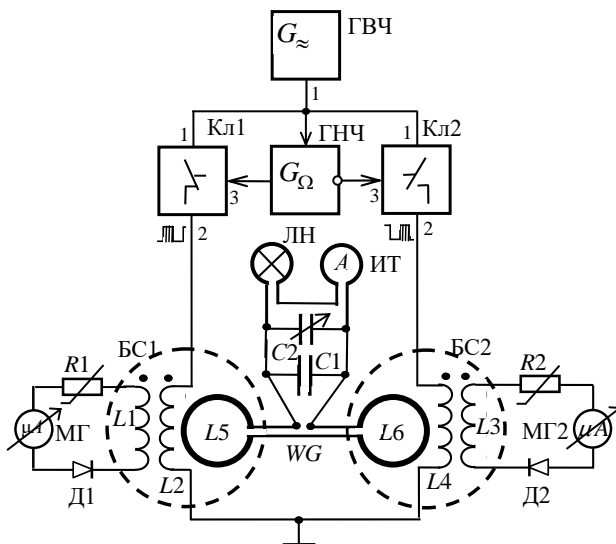


Рис. 3. Комбинированная схема магнитопольного преобразователя энергии с обратной связью по магнитному полю и резонансным RLC -контуром

повышающим трансформатором, выполненном на высокочастотном ферритовом кольцевом сердечнике, и использующим резонанс токов. Соотношение витков контуров L_7 и L_8 задается в пределах 1:10 и более. Выпрямитель собран на диодах Д3, ..., Д6 по мостовой двухполупериодной схеме с подключенной к ее выходам RC -нагрузкой (элементы $C2$, $C3$ и $R3$). Причем конденсатор $C2$ выбирается малой емкости (тысячи пикофарад) для шунтирования высокочастотных помех, а $C3$ — большой емкости (десятки – сотни микрофарад) для сглаживания выходного напряжения. Для измерения мощности, выделяемой на RC -нагрузке, используются измеритель тока ИТ и измеритель напряжения ИН, включенные, как показано на рис 4.

Резонансная частота параллельного колебательного LC -контура C_1L_7 определяется по значениям его параметров. Использование высокочастотного ферритового кольцевого сердечник требует специальные расчеты индуктивности такого контура. Согласно [9], индуктивность катушки на кольцевом сердечнике может быть определена согласно уравнению величин:

$$L = n^2 \frac{\mu}{\mu_0} h \frac{D_1 + D_2}{D_1 - D_2} \text{ мкГн}, \tag{27}$$

где n — число витков; μ — магнитная проницаемость кольцевого сердечника; $\mu_0 = 2500$; h — высота кольцевого сердечника; D_1 и D_2 — наружный и внутренний диаметры кольца, мм.

Емкость колебательного LC -контура C_1L_7 определяется по значению его резонансной частоты f_0 (МГц) и индуктивности L (мкГн) согласно уравнению величин:

$$C = \frac{k_1}{k_2^2 \pi^2 f_0^2 L} \text{ пф}. \tag{28}$$

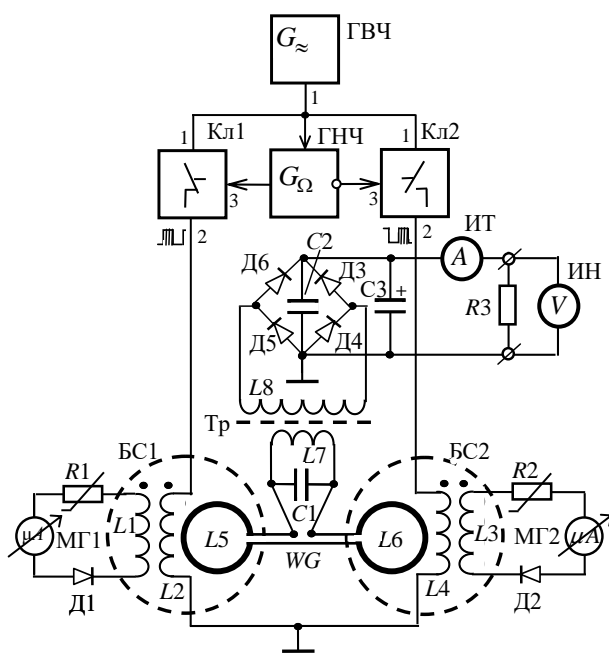


Рис. 4. Комбинированная схема магнитополевого преобразователя энергии с обратной связью по магнитному полю, с резонансным повышающим ВЧ-трансформатором и выпрямителем

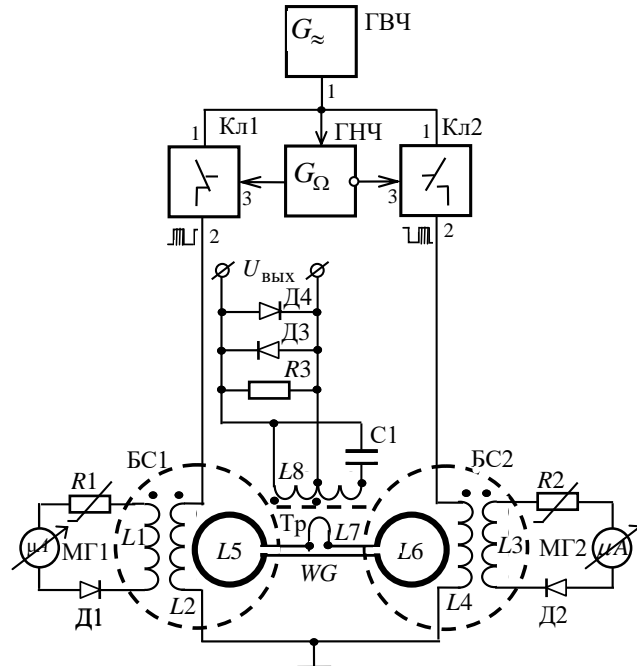


Рис. 5. Комбинированная схема магнитополевого преобразователя энергии с обратной связью по магнитному полю и с дифференциальным трансформатором тока

На практике параллельно конденсатору постоянной емкости подключается конденсатор переменной емкости (см. рис. 3) с целью подбора требуемого значения частоты резонанса.

На рис. 5 приведено схематическое решение магнитополевого преобразователя энергии, отличающееся от предыдущего тем, что в качестве нагрузки используется дифференциальный трансформатор тока, выполненный на высокочастотном ферритовом сердечнике.

Первичной обмоткой трансформатора служит одновитковая катушка индуктивности $L7$. Вторичной обмоткой является колебательный RC -контур. Две вторичные обмотки катушки индуктивности $L8$ наматываются бифилярно, причем конец одной обмотки соединяется с началом другой и делается отвод для подключения остальных элементов схемы (рис. 5). Конденсатор подключается к началу первой и к концу второй обмотки катушки индуктивности

Часть высокочастотного напряжения, снимаемого с первой половины витков катушки индуктивности $L8$, поступает на элементы $R3$, $D3$ и $D4$, параллельно соединенные с выходными клеммами преобразователя. О результате преобразования потенциальной энергии материала волновода в электроэнергию

судят по допустимой мощности нагрузки выходного напряжения.

Следует отметить, что дифференциального трансформатора тока используется в тех случаях, когда необходимо уменьшить высокочастотные помехи и наводки. характерные частоты которых намного выше рабочих частот преобразователя и составляют десятки мегагерц. Приведенная схема трансформатора тока позволяет существенно понизить уровень высокочастотных помех и наводок и повысить качество работы магнитополевого преобразователя.

На рис. 6 приведено схематехническое решение магнитополевого преобразователя энергии, отличающаяся от предыдущей тем, что в качестве нагрузки используется повышающий трансформатор, состоящий из одновиткового контура $L7$, последовательного колебательного $L8C1$ -контура и катушки Тесла, представляющей последовательный резонансный контур, выполненный в виде многovitковой катушки индуктивности (соленоида) $L9$ с верхним емкостным излучателем в виде тороида (Тор) (рис. 7). Заземление является нижним элементом (конденсатора) катушки Тесла. В приведенном техническом решении магнитополевого преобразователя энергии катушка Тесла используется с целью получения высоковольтного высокочастотного напряжения для возбуждения излучения или поджигания газоразрядных ламп, являющихся источником света, излучающим энергию в видимом диапазоне длин волн. Конструктивно катушка Тесла может быть выполнена, как показано на рис 7, по данным работы [10].

Рассмотрим более подробно схематехническое решение магнитополевого преобразователя энергии, комбинированная схема которого приведена на рис. 6.

Графические построения действия соленоидального импульсного магнитного поля высокой частоты и постоянной по значению индукции на кольцеобразные медные пластины воздушного конденсатора $C1$ с линейно перемещаемой средней пластиной. средней пластиной приведены на рис. 8.

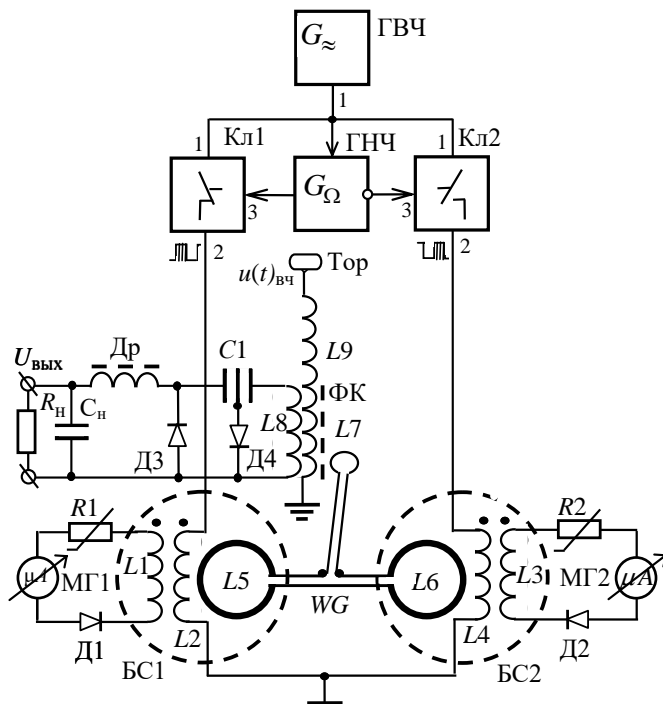


Рис. 6. Комбинированная схема магнитополевого преобразователя энергии с двумя последовательными колебательными контурами



Рис. 7. Конструктивное исполнение катушки Тесла и генераторе свободной энергии в целом

В результате воздействия в медных кольцевых пластинах конденсатора каждый i -й электрон начнет двигаться по окружности со скоростью v_i , создавая электрический ток той же частоты, что и соленоидальное магнитное поле, представляя собой кольцеобразные (замкнутые) вихри или кольцевые токи.

Это объясняется действием центробежной силы Лоренца, благодаря которой в кольцевых пластинах конденсатора, помещенного в однородное магнитное поле (рис. 8,б), каждый i -й электрон движется по окружности, но при условии, что вектор их скорости движения электрона перпендикулярен вектору магнитной индукции, т.е. $\mathbf{v}_i \perp \mathbf{B}$.

Радиус r_i каждой окружности определяется согласно уравнению величин

$$r_i = v_i / Bq_e / m_e, \tag{29}$$

где B — индукция магнитного поля, причем $\{B_1\} = \{B_2\} = \dots = \{B_i\} = \dots = \{B\}$; q_e и m_e — заряд и масса электрона.

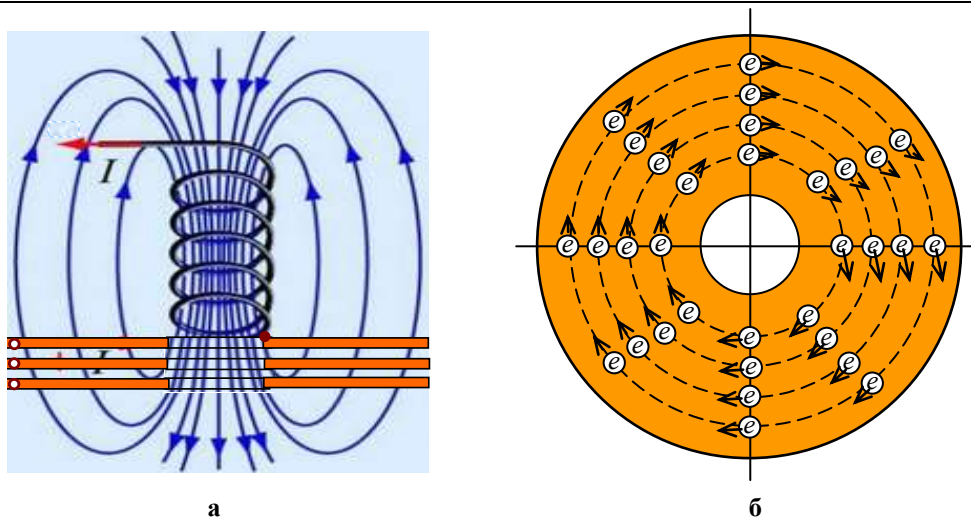


Рис. 8. Графические построения действия соленоидального магнитного поля на кольцеобразные пластины воздушного конденсатора с линейно перемещаемой

При отсутствии других сил, сила Лоренца, согласно второму закону Ньютона, сообщает электрону центростремительное или нормальное ускорение

$$a_{цн} = v_i^2 / r_i = \omega_i^2 r_i, \tag{30}$$

где v_i и ω_i — линейная и угловая скорости движения i -го электрона.

Следует отметить, что работа, совершаемая над движущимся электроном в магнитном поле постоянной силой Лоренца, равна нулю, если угол β между направлением векторов силы Лоренца F_L и направлением вектора радиального перемещения Δr в кольцевых пластинах воздушного конденсатора равен 90° , т.е. $\beta = 90^\circ$. В этом случае абсолютное значение скорости движения электрона и его кинетическая энергия остаются постоянными и при движении его в соленоидальном импульсном магнитном поле. Период вращения i -го электрона определяется по уравнению величин: $T_i = 2\pi r_i / v_i$.

Силы Лоренца, действующие на свободные электроны, смещают их к центру кольцеобразных пластин. Благодаря движению свободных электронов по окружности в пластинах конденсатора создаются электрические поля типа «сендвич», увеличивающие напряженность электрического поля конденсатора $C1$ последовательного колебательного контура $L8C1$. Кольцевые токи в пластинах создают соответствующие магнитные поля, которые накладываются на соленоидальное магнитное поле катушки индуктивности $L8$.

При резонансе ($f = f_0$) высокочастотный сигнал на обкладках воздушного конденсатора $C1$ резко увеличивается по амплитуде. Часть сигнала с «холодной» и средней обкладках конденсатора поступает на диоды Д3 и Д4 и выпрямляется (рис. 6). RC -нагрузка подключается через дроссель Др к диоду Д3.

При отсутствии других сил, сила Лоренца, согласно второму закону Ньютона, сообщает электрону центростремительное или нормальное ускорение $a_{цн} = v_i^2 / r_i = \omega_i^2 r_i$, где v_i и ω_i — линейная и угловая скорости движения i -го электрона.

Ток в последовательном RLC -контуре зависит от напряжения источника питания U_k и от полного сопротивления контура, т.е.

$$I_k = \frac{U_k}{Z_k} = \frac{U_k}{\sqrt{R_k^2 + X_k^2}} = \frac{k_{тр} U_0}{\sqrt{R_k^2 + \left(\omega L_k - \frac{k_1}{\omega C_k} \right)^2}}, \tag{31}$$

где $U_k = k_{тр} U_0$, $k_{тр}$ — коэффициент трансформации входного напряжения трансформатора в выходное, равное отношению витков катушек индуктивности $L8$ и $L7$.

Ток контура I_k , создаваемый напряжением U_k , проходя через конденсатор $C1$, поочередно заряжает и разряжает его. При этом на конденсаторе $C1$ формируется переменная разность потенциалов $U_C = \varphi_2 - \varphi_1$, противоположная по знаку ЭДС конденсатора.

Разность потенциалов U_C отстает по фазе от тока на 90° . В то же время ток контура I_k , проходя через катушку индуктивности $L8$, возбуждает в ней ЭДС индукции, отстающую по фазе от тока на четверть периода (90°). В результате на катушке индуктивности $L8$ возникает переменная разность потенциалов U_L , опережающая по фазе ток на 90° .

На резонансной частоте f_0 эти напряжения равны по значениям и противоположны по знаку, т.е. сдвинуты по фазе на 180° . Именно поэтому резонанс в последовательном контуре является резонансом напряжения.

Емкостное сопротивление конденсатора X_C и индуктивное сопротивление катушки X_L зависят от частоты питающего тока. С повышением частоты X_C уменьшается, а X_L — увеличивается (рис. 9).

Практический интерес представляет зависимость напряжения на конденсаторе $C1$ от частоты сигнала в катушке индуктивности $L7$. Напряжение на конденсаторе $C1$ пропорционально току в контуре и емкостному сопротивлению конденсатора: $U_C = I_K X_C$, где $X_C = k_1 / k_2 \pi f C_K$ (рис. 9). Ток в контуре вблизи резонанса резко изменяется при изменении частоты f , сопротивление конденсатора при этом изменяется незначительно. Если пренебречь этим изменением, то напряжение U_C на конденсаторе при резонансе ($f = f_0$) можно считать максимальным (рис. 10). Если бы емкостное сопротивление оставалось неизменным, то кривая, отражающая зависимость напряжения на конденсаторе от частоты f источника питания, была бы с высокой точностью подобна резонансной кривой тока. Но так как емкостное сопротивление X_C конденсатора при повышении частоты уменьшается, то резонансная кривая напряжения оказывается расположенной несимметрично относительно кривой тока (рис. 10). Получение двух напряжений, — низковольтного и высоковольтного. свидетельствует о более широких возможностях данного магнитополевого преобразователя энергии.

Таким образом, существует минимум 5 вариантов схмотехнических решений магнитолевых преобразователей потенциальной энергии материала в электроэнергию.

Все схмотехнические решения магнитолевых преобразователей являются типовыми и различаются режимами работы и видами нагрузки.

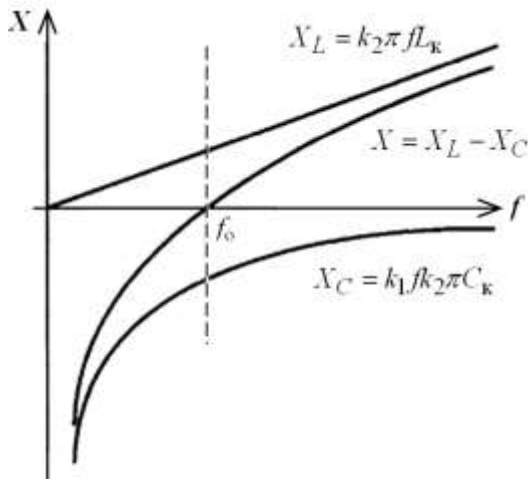


Рис. 9. Зависимость реактивного сопротивления последовательного колебательного контура от частоты генератора

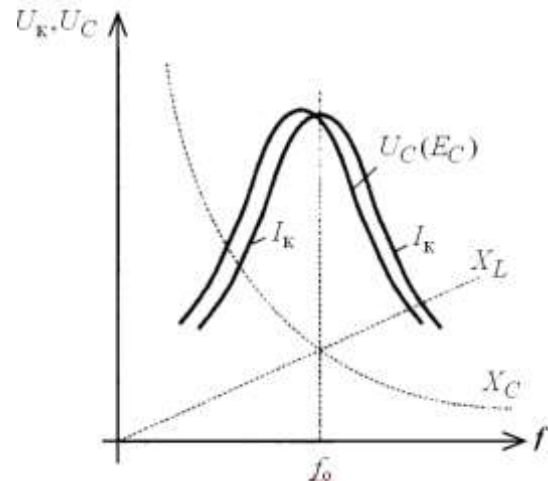


Рис. 10. Зависимость напряжения конденсатора от частоты

Выводы

1. Предложены новые, более адекватные определения понятий энергия, электрическая энергия и электрическая мощность. В частности, например, утверждается, что «энергия — свойство поля той или иной физической природы совершать работу по изменению формы движения и взаимодействия материи или по переходу движения материи из одних форм в другие».

2. Приведена классификация физических понятий по И.Ш. Когану, связанная с энергией системы и дополненная еще одной известной формой энергии системы — электромеханической. Это позволило более обосновано различать формы и виды энергии, понять особенности электромеханической формы энергии, которая используется в магнитолевых преобразователях.

3. Показаны возможности и описана сущность магнитолевого метода преобразования электромагнитной формы энергии системы в электроэнергию.

4. Утверждается, что в качестве источника электронов (движущихся материальных частиц) должна использоваться механическая система определенной конфигурации, обеспечивающая выполнение двух фундаментальных законов: закона сохранения механической энергии и закона сохранения электромагнитной энергии.

5. Предложено в качестве электромеханической системы использовать плоский двухконтурный волновод, представляющий собой выполненную из меди механическую систему замкнутого типа, обеспечивающую выполнение указанных законов.

6. Установлена возможность использования явления переноса энергии и информации не только для решения измерительных задач, но и для решения задачи преобразования электромагнитной формы энергии электромеханической системы замкнутого типа в электрическую энергию.

7. Для изготовления волновода необходимо выбирать материал с высокой электропроводностью, которая зависит от концентрации свободных, электрически заряженных частиц, не связанных с атомами и молекулами или с кристаллической структурой материала.

8. Приведены и описаны комбинированные схемы магнитолевых преобразователей энергии с обратной связью по магнитному полю и с разными типами нагрузок: активной, комплексной и резонансной.

Наибольший интерес представляю преобразователи с использованием повышающих ВЧ-трансформаторов резонансного типа.

9. Положено начало развитию нового направления в преобразовательной технике и в электротехнике — магнитополовое преобразование в электрическую энергию электромагнитной формы энергии механической системы замкнутого типа.

10. Представляется целесообразным использование механических систем типа «сэндвич» с высокой электропроводностью материалов.

11. Предстоит большая исследовательская и научно-техническая работа по всестороннему изучению процессов преобразования одной формы энергии в другую, по повышению эффективности и оптимизации режимов работы предложенных технических решений магнитополовых преобразователей энергии.

Литература

1. Преобразование энергии — электрической, тепловой, механической, световой [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://electricalschool.info/main/osnovy/2096-preobrazovanie-energii-elektricheskoy.html>
2. Энергия [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F>.
3. Электрическая энергия и мощность [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.proelectro2.ru/info/id_266.
4. Коган И.Ш. Формы энергии и виды энергии [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.kogan.iri-as.org/stat/formy_energy.pdf.
5. Резонансные свойства RLC-цепей [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/45632/1/978-5-7996-0831-6_2013.pdf.
6. Чертов А.Г. Физические величины / Чертов А.Г. – М. : Высшая школа, 1990. – 336 с.
7. Основы физики твердого тела [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/35958/1/Book_Bagmut_Osnovy_fiziki_2018.pdf
8. Формулы расчета параллельного колебательного контура [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://coil32.ru/parallel-contour.html>.
9. Двухтактные преобразователи (упрощенный расчет) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://textarchive.ru/c-1865916-pall.html>.
10. Катушка Тесла Краткая теория [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://radiolaba.ru/vyisokoe-napryazhenie/katushka-tesla-kratkaya-teoriya.html>.

References

1. Preobrazovanie energii — elektricheskoy, teplovoj, mehanicheskoy, svetovoj [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : <http://electricalschool.info/main/osnovy/2096-preobrazovanie-energii-elektricheskoy.html>
2. Energiya [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F>.
3. Elektricheskaya energiya i moshnost [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : http://www.proelectro2.ru/info/id_266.
4. Kogan I.Sh. Formy energii i vidy energii [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : http://www.kogan.iri-as.org/stat/formy_energy.pdf.
5. Rezonansnye svojstva RLC-cepej [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/45632/1/978-5-7996-0831-6_2013.pdf.
6. Chertov A.G. Fizicheskie velichiny / Chertov A.G. – M. : Vysshaya shkola, 1990. – 336 s.
7. Osnovy fiziki tverdogo tela [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/35958/1/Book_Bagmut_Osnovy_fiziki_2018.pdf
8. Formuly rascheta parallelnogo kolebatelnogo kontura [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : <https://coil32.ru/parallel-contour.html>.
9. Dvuhtaktnye preobrazovateli (uproshennyj raschet) [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : <http://textarchive.ru/c-1865916-pall.html>.
10. Katushka Tesla Kratkaya teoriya [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : <https://radiolaba.ru/vyisokoe-napryazhenie/katushka-tesla-kratkaya-teoriya.html>.

Рецензія/Peer review : 12.1.2020 р.

Надрукована/Printed : 14.2.2020 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

МОДИФІКАЦІЯ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИЗНАЧЕННЯ МОРФОЛОГІЧНИХ ТА РИТМІЧНИХ ДІАГНОСТИЧНИХ ОЗНАК ЗА ЕЛЕКТРОКАРДІОСИГНАЛАМИ

У даній роботі розглядається модернізований програмний комплекс для автоматизованого визначення морфологічних та ритмічних діагностичних ознак електрокардіосигналу. Обґрунтовано математичне забезпечення програмного комплексу для підвищення швидкості опрацювання електрокардіосигналу у порівнянні з раніше відомими методами. Розроблено структурно-функціональну схему модернізованого програмного комплексу. Розроблено програму, яка реалізує новий метод зведення дискретного випадкового процесу до ізоморфної йому випадкової періодичної послідовності, що дозволить досягти пришвидшення опрацювання електрокардіосигналів в комп'ютерних кардіодіагностичних системах. Проведено апробацію модернізованого програмного комплексу на реальних електрокардіосигналах. Представлено приклад інтерфейсу програми для статистичної обробки електрокардіосигналу, результати опрацювання декількох циклів досліджуваного електрокардіосигналу та його ритмічної структури, графіки декількох циклів реалізації L-періодичної випадкової послідовності, яка отримана із електрокардіограми, шляхом дії на неї оператором перетворення шкали, оцінки функції ритму, графіки реалізації третьої компоненти векторного ритмокардіосигналу, що описує тривалості T-інтервалів в електрокардіосигналі та його гістограми, графіки реалізації статистичної оцінки автокореляційної функції третьої компоненти вектора статистичної оцінки взаємкореляційної функції, графік реалізації статистичних оцінок спектральних щільностей потужності. За рахунок використання нової математичної моделі сигналів серця у вигляді умовного дискретного циклічного випадкового процесу та нового методу його статистичного опрацювання вдалося підвищити швидкість опрацювання електрокардіосигналу у порівнянні із раніше розробленими методами, що ґрунтувалися на його моделі у вигляді циклічного випадкового процесу. Модернізований програмний комплекс дає змогу проводити високоінформативний автоматизований аналіз серцевого ритму та морфологічний аналіз електрокардіосигналів на базі стохастичного підходу.

Ключові слова: програмний комплекс, електрокардіосигнал, аналіз серцевого ритму, морфологічний аналіз кардіосигналів.

S. A. LUPENKO, IA. V. LYTUVYENKO, H. M. OSUKHIVSKA, N. B. STADNYK

Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ukraine

A. S. SVERSTIUK

I. Horbachevsky Ternopil National Medical University, Ukraine

MODIFICATION OF THE PROGRAMMING COMPLEX FOR AUTOMATED DETERMINATION OF MORPHOLOGICAL AND RHYTHMIC DIAGNOSTIC SIGNS BY ELECTROCARDIOSIGNALS

In this paper we consider a modernized programming complex for automated determination of morphological and rhythmic diagnostic signs of electrocardio signal. The mathematical software of the programming complex for increasing the speed of processing of the electrocardio signal in comparison with previously known methods is substantiated. The structural and functional scheme of the modernized programming complex has been developed. A program has been developed that implements a new method of reducing a discrete random process to an isomorphic random periodic sequence, which will allow to accelerate the processing of electrocardiograms in computer cardiac diagnostic systems. The modernized programming complex was tested on real electrocardio signal. An example of the program interface for statistical processing of electrocardio signal, the results of processing several cycles of the studied electrocardio signal and its rhythmic structure, the graph of several cycles of implementation of the L-periodic random sequence obtained from the electrocardiogram, by acting on it by the scale conversion operator, evaluation of rhythm function, graphs of realization of the third component of the vector rhythmocardio signal, describing the duration of T-intervals in the electrocardio signal and its histograms, implementation graphs: statistical evaluation of the autocorrelation function of the third component of the vector of statistical evaluation of the inter-correlation function, graph of realization of statistical evaluation of spectral power densities. Through the use of a new mathematical model of heart signals in the form of a conditional discrete cyclic random process and a new method of statistical processing, it was possible to increase the speed of processing of the electrocardio signal in comparison with previously developed methods based on its model in the form of a cyclic random process. The modernized programming complex enables to carry out highly informative automated heart rhythmic analysis and morphological analysis of electrocardiograms on the basis of stochastic approach.

Key words: programming complex, electrocardio signal, cardiac rhythm analysis, morphological analysis of cardiac signals.

Вступ

Відомими процесами та явищами дійсності є такі, які відображають у часі структуру яка повторюється. Серед таких процесів, сигналів відомими та добре вивченими є електрокардіосигнали. Сучасний стан розвитку інформаційних технологій дозволяє по новому підійти до опрацювання таких сигналів та ефективно розв'язати висунуті завдання сучасної медицині під час побудови діагностичної апаратури, шляхом створення нових ефективних математичних засобів, які дозволяють підвищити достовірність та інформативність опрацювання циклічних сигналів, зокрема електрокардіосигналів [1–6]. Тому, розробка діагностичних програмних комплексів для автоматизованої діагностики стану серця людини за зареєстрованими електрокардіосигналами є актуальним науково-технічним завданням, вирішення якого,

дасть змогу підвищити якість та ефективність діагностування функціонального стану серця та серцево-судинної системи організму людини в цілому.

Нові математичні моделі та методи опрацювання циклічних електрокардіосигналів розроблені та обґрунтовані у працях [7–15]. Використання нових математичних моделей дозволило підвищити точність та достовірність діагностування функціонального стану серця завдяки підвищенню інформативності морфологічного аналізу та аналізу серцевого ритму. Програмний комплекс на основі розробленого математичного забезпечення подано у роботах [16, 17], який призначений для моделювання та проведення морфологічного аналізу, аналізу серцевого ритму електрокардіосигналів. Даний комплекс був модернізований та втілює нові розроблені методи опрацювання електрокардіосигналів.

Аналіз останніх досліджень

Підвищення швидкодії методів статистичного опрацювання електрокардіосигналів поруч із підвищенням інформативності їх автоматизованого аналізу досягається завдяки використанню нової математичної моделі, яка відображає подвійну стохастичність досліджуваних електрокардіосигналів (стохастичність морфологічної та ритмічної структур) та застосуванню нового методу зведення дискретного циклічного випадкового процесу до ізоморфної йому випадкової періодичної послідовності.

Дану роботу присвячено удосконаленню програмного комплексу, де на відміну від попередньої розробки [16, 17], у комплекс включено новий метод, що передбачає опрацювання електрокардіосигналів, шляхом зведення до ізоморфної випадкової періодичної послідовності дискретного циклічного випадкового процесу, як моделі електрокардіосигналу, що дозволило підвищити швидкість його опрацювання у порівнянні з раніше розробленими методами завдяки зниженню обчислювальної складності відомих статистичних методів оцінювання ймовірнісних характеристик циклічних випадкових процесів дискретного аргументу.

Мета роботи

Мета роботи полягає в модернізації програмного комплексу для морфологічного аналізу та аналізу серцевого ритму з підвищеною інформативністю, за рахунок використання нової математичної моделі сигналів серця, у вигляді умовного дискретного циклічного випадкового процесу та нового методу статистичного опрацювання, а саме методу зведення дискретного циклічного випадкового процесу до ізоморфної йому випадкової періодичної послідовності, що завдяки зменшенню обчислювальної складності методу опрацювання електрокардіосигналів дало змогу пришвидшити їх опрацювання в комп'ютерних кардіодіагностичних системах у порівнянні з раніше розробленими методами.

Результати дослідження

Наведемо основні математичні співвідношення, які лежать в основі математичного забезпечення модифікованого програмного комплексу. При цьому зосередимо увагу на розробленій частині комплексу, яка стосується зведення до ізоморфної випадкової періодичної послідовності дискретного циклічного випадкового процесу як моделі електрокардіосигналу. Програмний комплекс дає змогу проводити автоматизований аналіз електрокардіосигналу, зокрема, його морфологічних та ритмічних ознак.

Математична модель електрокардіосигналу у вигляді дискретних циклічного випадкового процесу та умовного циклічного випадкового процесу

Відомо [10], що дискретний випадковий процес $\{\xi(\omega, t_{ml}), \omega \in \Omega, t_{ml} \in \mathbf{D}\}$ називається циклічним дискретним випадковим процесом, якщо існує така дискретна функція $T(t_{ml}, n)$ (функція ритму), яка задовольняє умовам: 1) $T(t_{ml}, n) > 0$, якщо $n > 0$; 2) $T(t_{ml}, n) = 0$, якщо $n = 0$; 3) $T(t_{ml}, n) < 0$, якщо $n < 0$; 4) для будь-яких $t_{m_1} \in \mathbf{D}$ та $t_{m_2} \in \mathbf{D}$, для яких $t_{m_2} > t_{m_1}$, для функції $T(t_{ml}, n)$ виконується нерівність $t_{m_1} + T(t_{m_1}, n) < t_{m_2} + T(t_{m_2}, n), \forall n \in \mathbf{Z}$; що скінченно вимірні вектори $(\xi(\omega, t_{m_1}), \xi(\omega, t_{m_2}), \dots, \xi(\omega, t_{m_k}))$ і $(\xi(\omega, t_{m_1} + T(t_{m_1}, n)), \xi(\omega, t_{m_2} + T(t_{m_2}, n)), \dots, \xi(\omega, t_{m_k} + T(t_{m_k}, n)))$, $n \in \mathbf{Z}$, при всіх цілих $k \geq 1$ є стохастично еквівалентними у широкому розумінні.

Метод зведення статистичного опрацювання (оцінювання, аналізу, прогнозування) циклічного випадкового процесу дискретного аргументу до відповідного статистичного опрацювання ізоморфної йому періодичної випадкової послідовності полягає у послідовному виконанні таких кроків:

1) перетворення ω -реалізації $\xi_{1_\omega}(t_{ml}), \omega \in \Omega, t_{ml} \in \mathbf{D}$ циклічного випадкового процесу $\xi_1(\omega, t_{ml}), \omega \in \Omega, t_{ml} \in \mathbf{D}$ у ω -реалізацію $\xi_{2_\omega}(i), i \in \mathbf{Z}$ ізоморфної йому відносно порядку та значень L -періодичної послідовності $\xi_2(\omega, i), \omega \in \Omega, i \in \mathbf{Z}$, шляхом дії оператора перетворення шкали $\mathbf{G}_{y(t_{ml})}$ із функцією перетворення шкали $y(t_{ml}) = L \cdot (m-1) + l$;

2) застосування відомих методів опрацювання періодичних випадкових послідовностей та отримання їх результатів (статистичних точкових та інтервальних оцінок певних ймовірнісних характеристик);

3) отримання статистичних оцінок ймовірнісних характеристик циклічного випадкового процесу $\xi_1(\omega, t_{ml}), \omega \in \Omega, t_{ml} \in \mathbf{D}$, шляхом застосування оберненого оператора перетворення шкали до попередньо отриманих відповідних статистичних оцінок для L -періодичної випадкової послідовності.

Будемо вважати, що зареєстровано M циклів по L відліків у кожному циклі досліджуваного

циклічного сигналу, математичною моделлю якого є циклічний випадковий процес $\left\{ \xi_1(\omega, t_{ml}), \omega \in \Omega, t_{ml} \in \mathbf{R}, m = \overline{1, M}, l = \overline{1, L} \right\}$ (для спрощення подальших позначень будемо писати $\xi_1(\omega, t_{ml})$).

Відповідно, математичною моделлю реєстрограми циклічного сигналу буде ω -реалізація $\left\{ \xi_{1\omega}(t_{ml}), t_{ml} \in \mathbf{R}, m = \overline{1, M}, l = \overline{1, L} \right\}$ (для спрощення подальших позначень будемо писати $\xi_{1\omega}(t_{ml})$) цього циклічного випадкового процесу дискретного аргументу. Ізоморфна досліджуваному дискретному процесу відносно порядку та значень L -періодична випадкова послідовність $\left\{ \xi_2(\omega, i), \omega \in \Omega, i = \overline{1, M \cdot L} \right\}$ (для спрощення подальших позначень будемо писати $\xi_2(\omega, i)$) отримується, шляхом дії оператора перетворення шкали $\mathbf{G}_{y(t_{ml})}$ із функцією перетворення шкали $y(t_{ml}) = L \cdot (m-1) + l$ на первинний випадковий процес $\xi_1(\omega, t_{ml})$, а саме:

$$\xi_2(\omega, i) = \mathbf{G}_{y(t_{ml})} \{ \xi_1(\omega, t_{ml}) \}, \quad (1)$$

що еквівалентно такій системі рівнянь:

$$\begin{cases} i = y(t_{ml}) = L \cdot (m-1) + l, m = \overline{1, M}, l = \overline{1, L}, \\ \xi_2(\omega, i) = \xi_1(\omega, t_{ml}), i = \overline{1, M \cdot L}, t_{ml} \in \mathbf{R}. \end{cases} \quad (2)$$

Цим же оператором перетворення шкали пов'язані M -циклова ω -реалізація $\xi_{1\omega}(t_{ml})$ циклічного випадкового процесу $\xi_1(\omega, t_{ml})$ та M -циклова ω -реалізація $\left\{ \xi_{2\omega}(i), i = \overline{1, M \cdot L} \right\}$ (для спрощення подальших позначень будемо писати $\xi_{2\omega}(i)$).

Аналітична формула для обчислення значення статистичної оцінки початкової моментної функції першого порядку (математичного сподівання) L -періодичної послідовності $\xi_2(\omega, i)$, що ізоморфна відносно порядку та значень циклічного процесу $\xi_1(\omega, t_{ml})$, має вигляд

$$\hat{m}_{\xi_2}(l) = \frac{1}{M} \sum_{n=0}^{M-1} \xi_{2\omega}(l + L \cdot n), l = \overline{1, L} \quad (3)$$

Аналітична формула для обчислення значення статистичної оцінки центральної моментної функції другого порядку (дисперсії) L -періодичної послідовності $\xi_2(\omega, i)$, що ізоморфна відносно порядку та значень циклічного процесу $\xi_1(\omega, t_{ml})$, має вигляд

$$\hat{d}_{\xi_2}(l) = \frac{1}{M-1} \sum_{n=0}^{M-1} (\xi_{2\omega}(l + L \cdot n) - \hat{m}_{\xi_2}(l))^2, l = \overline{1, L}. \quad (4)$$

За статистичною процедурою опрацювання електрокардіосигналу слідє нормування отриманих статистичних оцінок та їх розклад у базисі Чебишева, що досліджено у роботі [8, 12].

Розглянемо математичну модель електрокардіосигналів, яка враховує їх подвійну стохастичність, а саме, стохастичність морфологічної структури та стохастичність ритмічної структури електрокардіосигналів. Згідно із роботою [11], умовним циклічним випадковим процесом називають процес $\{ \xi(\omega, \omega', t), \omega \in \Omega, \omega' \in \Omega', t \in \mathbf{R} \}$, який задано на декартовому добутку двох стохастично незалежних ймовірнісних просторів із множинами елементарних подій Ω та Ω' та на множині дійсних чисел \mathbf{R} , і для якого виконуються такі умови:

1) існує така випадкова функція $T(\omega', t, n), \omega' \in \Omega', t \in \mathbf{R}, n \in \mathbf{Z}$, що для кожної ω' , відповідна ω' -реалізація $T_{\omega'}(t, n)$ цієї функції, задовольняє умовам функції ритму;

2) для кожної ω' із Ω' скінченно вимірні вектори $(\xi_{\omega'}(\omega, t_1), \xi_{\omega'}(\omega, t_2), \dots, \xi_{\omega'}(\omega, t_k))$ та $(\xi_{\omega'}(\omega, t_1 + T_{\omega'}(t_1, n)), \xi_{\omega'}(\omega, t_2 + T_{\omega'}(t_2, n)), \dots, \xi_{\omega'}(\omega, t_k + T_{\omega'}(t_k, n))), n \in \mathbf{Z}$, де $\{t_1, t_2, \dots, t_k\}$ – множина сепарабельності процесу $\xi_{\omega'}(\omega, t), \omega' \in \Omega', \omega \in \Omega, t \in \mathbf{R}$, при всіх цілих $k \in \mathbf{N}$ є стохастично еквівалентними у широкому розумінні;

3) для будь-яких різних $\omega'_1 \in \Omega'$ та $\omega'_2 \in \Omega'$ випадкові процеси $\xi_{\omega'_1}(\omega, t)$ та $\xi_{\omega'_2}(\omega, t)$ є ізоморфними відносно порядку та значень циклічними випадковими процесами.

Реалізацією (ω' -реалізацією) випадкової функції $T(\omega', t, n)$ є детермінована функція $T_{\omega'}(t, n)$, яка задовольняє умовам функції ритму, а саме:

1) групі умов:

а) $T_{\omega'}(t, n) > 0$, якщо $n > 0$ ($T_{\omega'}(t, 1) < \infty$);

- b) $T_{\omega'}(t, n) = 0$, якщо $n = 0$;
- c) $T_{\omega'}(t, n) < 0$, якщо $n < 0$, $t \in \mathbf{R}$; для будь-яких $t_1 \in \mathbf{R}$ та $t_2 \in \mathbf{R}$, для яких $t_1 < t_2$, для функції $T_{\omega'}(t, n)$ виконується строга нерівність $T_{\omega'}(t_1, n) + t_1 < T_{\omega'}(t_2, n) + t_2$, $\forall n \in \mathbf{Z}$;
- 3) функція $T_{\omega'}(t, n)$ є найменшою за модулем ($|T_{\omega'}(t, n)| \leq |T_{\omega'}^{\gamma}(t, n)|$) серед усіх таких функцій $\{T_{\omega'}^{\gamma}(t, n), \gamma \in \Gamma\}$, які задовольняють вище наведеним умовам 1 та 2.

Математичною моделлю ритмокардіосигналу із підвищеною роздільною здатністю, згідно робіт [18–20], є дискретний випадковий процес $\left\{T(\omega', t_{ml}, n), \omega' \in \Omega', t_{ml} \in \mathbf{R}, m \in \mathbf{Z}, l = \overline{1, L}, L \geq 2, n \in \mathbf{Z}\right\}$, який вкладений у випадкову функцію ритму $T(\omega', t, n)$, $\omega' \in \Omega', t \in \mathbf{R}, n \in \mathbf{Z}$ умовного циклічного випадкового процесу $\{\xi(\omega, \omega', t), \omega \in \Omega, \omega' \in \Omega', t \in \mathbf{R}\}$. Математичною моделлю ритмокардіосигналу (ритмокардіограми), відповідно, є ω' -реалізація $\left\{T_{\omega'}(t_{ml}, n), t_{ml} \in \mathbf{R}, m \in \mathbf{Z}, l = \overline{1, L}, L \geq 2, n \in \mathbf{Z}\right\}$ дискретного випадкового процесу $\left\{T(\omega', t_{ml}, n), \omega' \in \Omega', t_{ml} \in \mathbf{R}, m \in \mathbf{Z}, l = \overline{1, L}, L \geq 2, n \in \mathbf{Z}\right\}$. Тобто областю визначення ритмокардіосигналу є

дискретна множина дійсних чисел $\mathbf{D} = \left\{t_{ml}, m \in \mathbf{Z}, l = \overline{1, L}, L \geq 2\right\}$, де індекс m позначає номер циклу електрокардіосигналу, а індекс l – номер відліку електрокардіосигналу в рамках його m -го циклу. Кількість відліків L на цикл електрокардіосигналу визначає роздільну здатність ритмокардіограми, та задає кількість фаз на циклі електрокардіосигналу, які можуть бути виділені методами сегментації та детектування при вирішенні завдання автоматичного формування ритмокардіосигналу із зареєстрованого електрокардіосигналу (електрокардіограми) [18–20].

Першим етапом аналізу серцевого ритму на базі ритмокардіосигналу із підвищеною роздільною здатністю є формування вектора випадкових стаціонарних та стаціонарно пов'язаних послідовностей $\Xi_L(\omega', m) = \left\{T_l(\omega', m), \omega' \in \Omega', l = \overline{1, L}, m = \overline{1, M}\right\}$ [18–20]. Далі проводиться статистичне опрацювання компонент вектору. При цьому оцінюють математичне сподівання, дисперсію, проводять оцінювання виду розподілу (перевірка його на нормальність), шляхом побудови гістограми та застосування критерію згоди χ^2 - Пірсона. Наведемо основні математичні співвідношення для оцінювання ймовірнісних характеристик компонент цього вектора випадкових послідовностей.

Вираз для обчислення реалізації статистичної оцінки \hat{c}_{1T_l} відповідної l -ї компоненти вектора початкового моменту першого порядку c_{1T_l} (математичного сподівання) стаціонарної випадкової послідовності $T_l(\omega', m)$, а саме:

$$\hat{c}_{1T_l} = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M T_{l\omega'}(k), l \in \left\{\overline{1, L}\right\}, \tag{5}$$

де M - кількість циклів зареєстрованої реалізації електрокардіосигналу, $T_{l\omega'}(k)$ – l -а компонента вектора ритмокардіосигналу.

Вираз для обчислення реалізації статистичної оцінки дисперсії r_{2T_l} стаціонарної випадкової послідовності $T_l(\omega', m)$, а саме:

$$\hat{r}_{2T_l} = \frac{1}{M-1} \sum_{k=1}^M \left(T_{l\omega'}(k) - \hat{c}_{1T_l}\right)^2, l \in \left\{\overline{1, L}\right\}. \tag{6}$$

Відомо, що кореляційні функції стаціонарних та стаціонарно пов'язаних випадкових послідовностей є функціями лише від одного цілочисельного аргументу u , який дорівнює $u = m_1 - m_2$, то і їх статистичні оцінки також залежать лише від одного аргументу u . У такому разі автокореляційна функція буде мати вигляд:

$$\hat{r}_{2T_{l_1 T_{l_2}}}(u) = \hat{r}_{2T_{l_1 T_{l_2}}}(m_1 - m_2) = \frac{1}{M - M_1 + 1} \sum_{k=0}^{M-M_1} \left(T_{l_1\omega'}(k) - \hat{c}_{1T_{l_1}}\right) \cdot \left(T_{l_2\omega'}(k+u) - \hat{c}_{1T_{l_2}}\right),$$

$$u = \overline{0, M_1 - 1}, m_1, m_2 \in \left\{\overline{1, M_1}\right\}, l_1, l_2 \in \left\{\overline{1, L}\right\}, \tag{7}$$

де M_1 – кількість відліків кореляційної функції, глибина кореляції.

Зменшення кількості діагностичних ознак у інформаційних системах аналізу серцевого ритму на

основні векторного ритмокардіосигналу із підвищеною інформативністю досягається використанням спектральних розкладів елементів трикутної матриці $\hat{\mathbf{R}}_T = \left[\hat{r}_{2T_1 T_2}(u), l_1 = \overline{1, L}, l_2 = \overline{1, L} \right]$, зокрема, шляхом використання дискретного перетворення Фур'є оцінок автокореляційних та взаємкореляційних функцій із цієї матриці. А саме, замість трикутної матриці $\hat{\mathbf{R}}_T = \left[\hat{r}_{2T_1 T_2}(u), l_1 = \overline{1, L}, l_2 = \overline{1, L} \right]$ кореляційних функцій можна використовувати трикутну матрицю $\hat{\mathbf{S}}_T = \left[\hat{S}_{2T_1 T_2}(v), l_1 = \overline{1, L}, l_2 = \overline{1, L} \right]$, елементи якої є Фур'є-образами відповідних оцінок кореляційних функцій із матриці $\hat{\mathbf{R}}_T$. А саме, Фур'є-образи із матриці $\hat{\mathbf{S}}_T$ обчислюються так:

$$\hat{S}_{2T_1 T_2}(v) = \sum_{u=0}^{M_1-1} \hat{r}_{2T_1 T_2}(u) \cdot e^{-j2\pi uv / M_1}, v = \overline{0, M_1-1}, l_1 = \overline{1, L}, l_2 = \overline{1, L}, j = \sqrt{-1}. \quad (8)$$

Виходячи із нерівності Бесселя, як діагностичні ознаки будемо обирати не всю множину $\left\{ \hat{S}_{2T_1 T_2}(v), v = \overline{0, M_1-1} \right\}$ відліків функцій $\hat{S}_{2T_1 T_2}(v)$, а лише певну підмножину їх перших M_2 ($M_2 \ll M_1$) відліків $\left\{ \hat{S}_{2T_1 T_2}(v), v = \overline{0, M_2-1} \right\}$, які вносять вклад у повну енергію оцінки $\hat{r}_{2T_1 T_2}(u)$ кореляційної функції не менше 95%.

Структурно-функціональна схема модифікованого програмного комплексу представлена на рис. 1. Комплекс програм реалізовано мовою програмування Object Pascal.

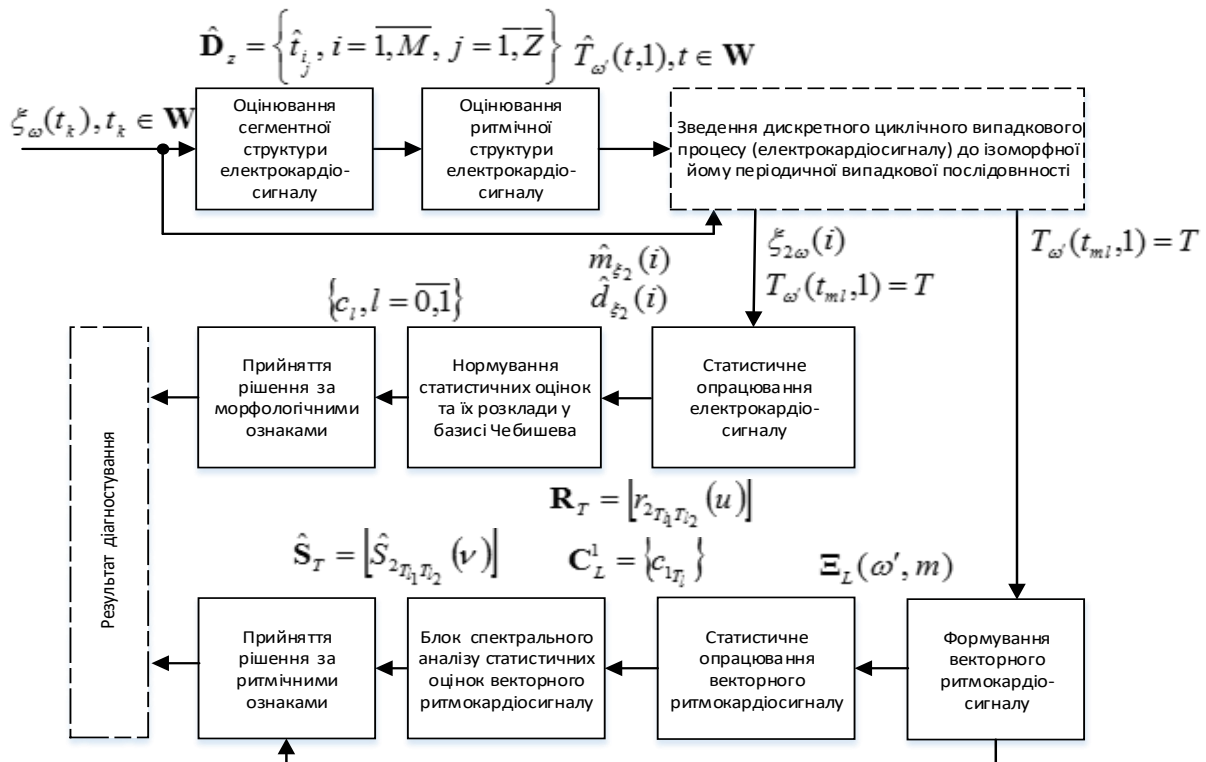


Рис. 1. Структурно-функціональна схема програмного комплексу для аналізу морфологічних та ритмічних діагностичних ознак електрокардіосигналу

Процедура опрацювання досліджуваного електрокардіосигналу включає оцінювання сегментної структури за допомогою методів сегментації, наприклад [21]. Оцінювання функції ритму здійснюємо шляхом інтерполяції ритмічної структури (дискретної функції ритму) [22].

Після оцінювання ритмічної структури та процедури зведення до періодичної випадкової послідовності дискретного циклічного випадкового процесу опрацювання розгалужується на два паралельних етапи. Перший етап здійснює морфологічний аналіз, який згідно даної структури, передбачає статистичне опрацювання електрокардіосигналу, нормування статистичних оцінок та їх розклад у базисі Чебишова і прийняття рішення за отриманими морфологічними ознаками. Другий етап здійснює аналіз ритму і полягає у формуванні векторного ритмокардіосигналу, статистичної обробки вектора та

спектрального аналізу отриманих статистичних оцінок [18–20].

Як приклад, на рисунку 2 наданий загальний вигляд інтерфейсу програми для статистичної обробки електрокардіосигналу, що передбачає методу зведення циклічного випадкового процесу дискретного аргументу до ізоморфної йому випадкової періодичної послідовності.

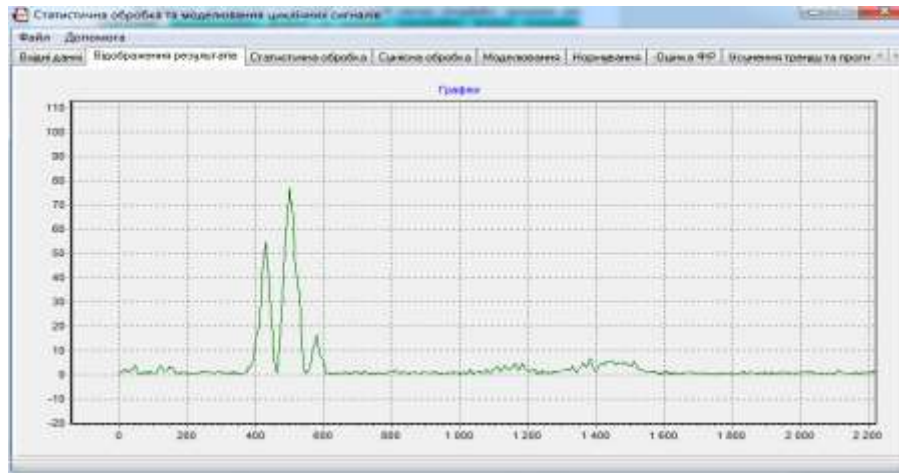


Рис. 2. Приклад інтерфейсу програми для статистичної обробки електрокардіосигналу

На рисунках 3–8 наведені графіки для пояснення етапів роботи програмного комплексу при опрацюванні електрокардіосигналу.

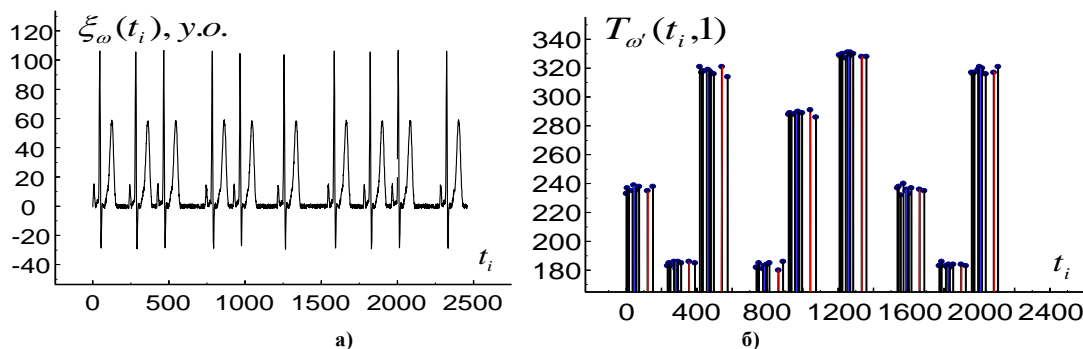


Рис. 3. Результати опрацювання: а) декілька циклів досліджуваного електрокардіосигналу; б) ритмічна структура електрокардіосигналу, червоним кольором виділені відліки які відповідають R-R-інтервалам

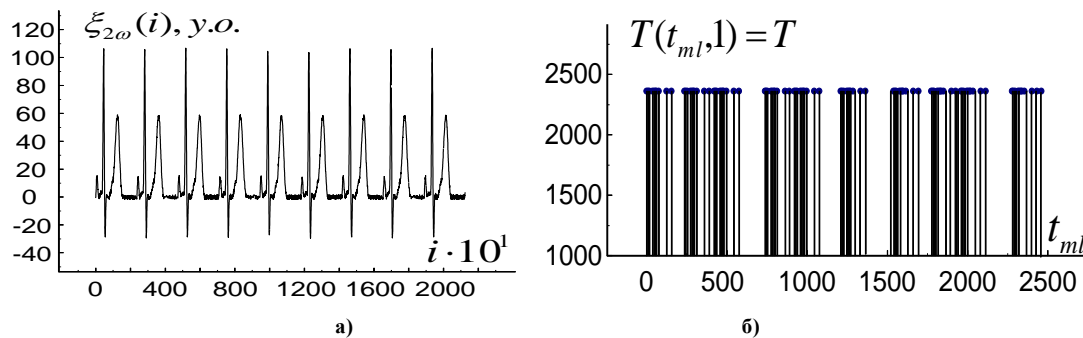


Рис. 4. Графіки: а) декількох циклів реалізації L -періодичної випадкової послідовності, яка отримана із електрокардіограми, шляхом дії на неї оператором перетворення шкали; б) оцінки функції ритму $T(t_{ml}, n)$ (при $n = 1$) L -періодичної випадкової послідовності

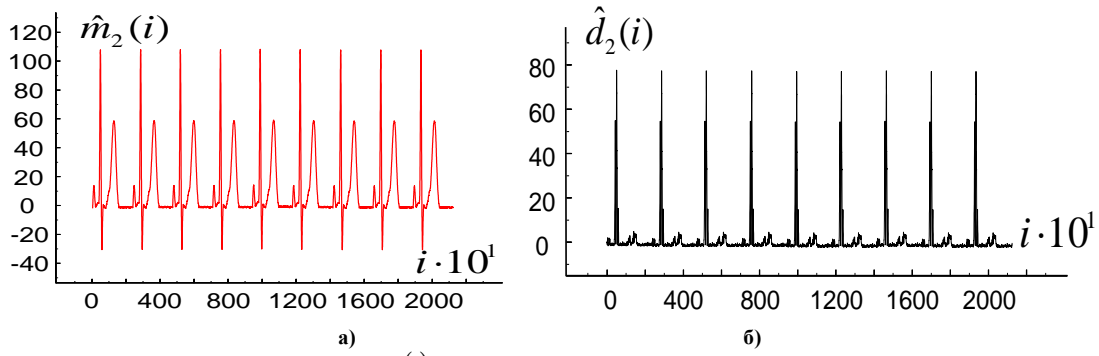


Рис. 5. Графіки: а) декількох циклів оцінки $\hat{m}_{\xi_2}(i)$ початкової моментної функції першого порядку L -періодичної випадкової послідовності $\xi_2(\omega, i)$; б) декількох циклів оцінки $\hat{d}_{\xi_2}(i)$ центральної моментної функції другого порядку L -періодичної випадкової послідовності $\xi_2(\omega, i)$;

Окрема компонента векторного ритмокардіосигналу та результати її статистичного опрацювання наведені на рисунках 6–8.

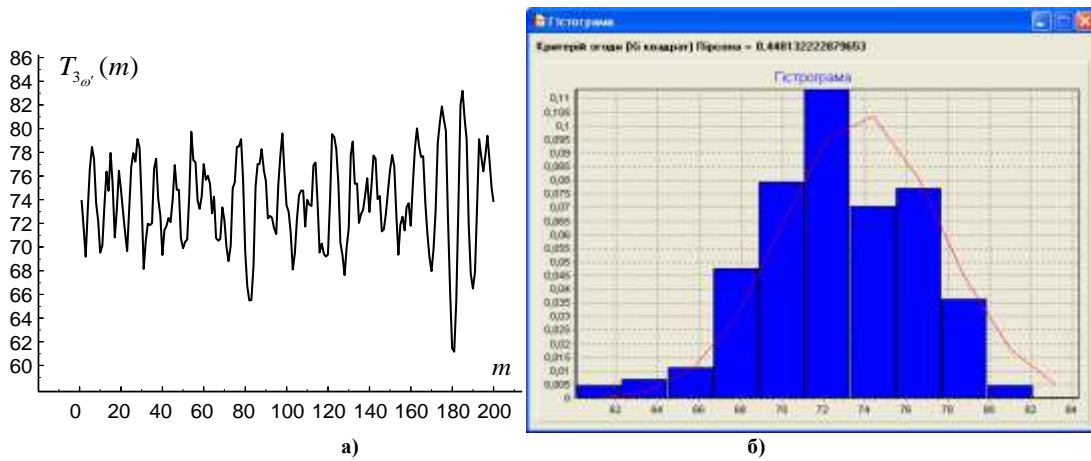


Рис. 6. Графіки: а) реалізації $T_{3\omega'}(m)$ третьої компоненти векторного ритмокардіосигналу $T_3(\omega', m)$, що описує тривалості T -інтервалів в електрокардіосигналі; б) гістограми для третьої компоненти $T_3(\omega', m)$, що описує тривалості T -інтервалів в електрокардіосигналі

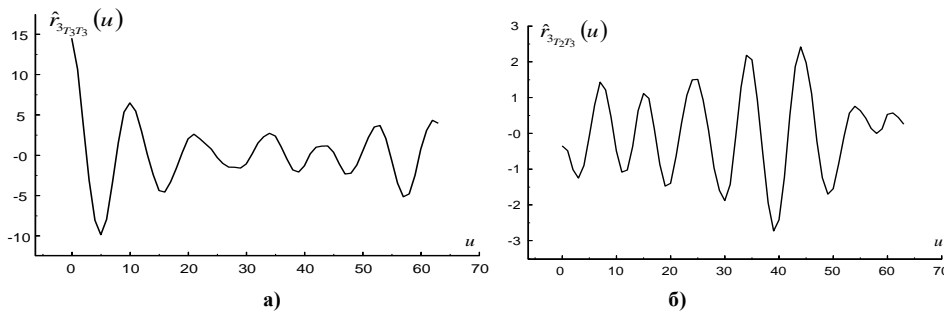


Рис. 7. Графік реалізацій: а) $\hat{r}_{3_{T_3 T_3}}(u)$ статистичної оцінки автокореляційної функції $r_{3_{T_3 T_3}}(u)$ ($l_1 = 3, l_2 = 3$) третьої компоненти вектора $\Xi_3(\omega', m)$; б) $\hat{r}_{3_{T_2 T_3}}(u)$ статистичної оцінки взаємкореляційної функції $r_{3_{T_2 T_3}}(u)$ ($l_1 = 2, l_2 = 3$) другої $T_2(\omega', m)$ та третьої $T_3(\omega', m)$ компоненти вектора $\Xi_3(\omega', m)$

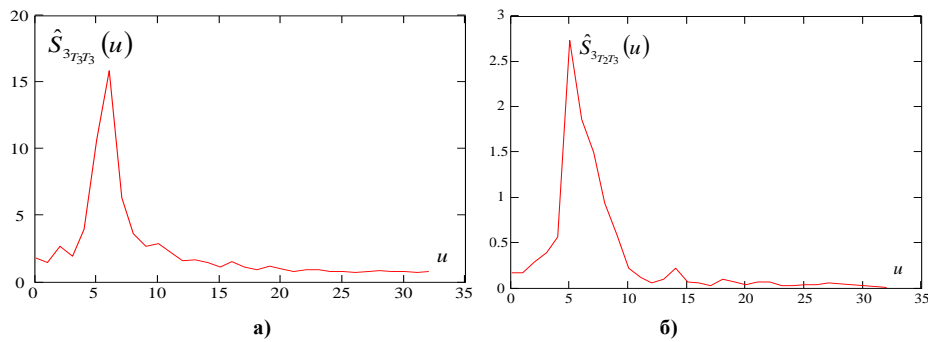


Рис. 8. Графік реалізацій: а) $\hat{S}_{3T_3T_3}(u)$ статистичних оцінок спектральних щільностей потужності $S_{3T_3T_3}(v)$ ($l_1 = 3, l_2 = 3$) третьої компоненти вектора $\Xi_3(\omega', m)$; б) $\hat{S}_{3T_2T_3}(u)$ статистичних оцінок спектральних щільностей потужності $S_{3T_2T_3}(v)$ ($l_1 = 2, l_2 = 3$) другої $T_2(\omega', m)$ та третьої $T_3(\omega', m)$ компоненти вектора $\Xi_3(\omega', m)$

На рис. 3 наведено результати опрацювання декількох циклів досліджуваного електрокардіосигналу із незмінною ритмічною структурою в межах кожного кардіоциклу, а на рис. 4 функція ритму змінюється в кожному із комплексів PQRS. На рис. 5(а) представлена реалізація третьої компоненти векторного ритмокардіосигналу та підтвердження гіпотези про відповідність нормальному закону розподілу відліків кардіосигналів (рис. 5(б)), що уможливило використання статистичних оцінок (математичного сподівання, дисперсії, автокореляційних функцій (рис.7) та спектральних щільностей потужності (рис.8)) для кардіодіагностики.

Висновки

Модернізований програмний комплекс завдяки розширенню його математичного забезпечення, що ґрунтується на новому підході до опрацювання електрокардіосигналів на базі математичної моделі у вигляді умовного циклічного випадкового процесу та методу зведення їх математичної моделі у вигляді дискретного циклічного випадкового процесу до ізоморфної йому випадкової періодичної послідовності, дає змогу проводити статистичний морфологічний аналіз та аналіз ритму кардіосигналів із підвищеною інформативністю, що уможливило підвищення швидкодії їх опрацювання та підвищило точність та достовірність діагностики стану серцево-судинної системи організму людини.

Створений комплекс програм може бути використаний як складова частини спеціалізованого програмного забезпечення в автоматизованих діагностичних системах для комплексного морфоаналізу та аналізу серцевого ритму.

В подальших дослідженнях, на основі результатів робіт [23–25], необхідно розширити функціональні можливості розробленого комплексу програм, використовуючи Web-технології забезпечивши при цьому проведення імітаційного моделювання кардіосигналів із використанням їх моделі у вигляді циклічного випадкового процесу.

Література

1. Chen S.-W., Chen H.-C., Chan H.-L. A real-time QRS detection method based on moving-averaging incorporating with wavelet denoising. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*. Elsevier Inc. 2006. Vol. 82. P. 187–195.
2. Chouhan, V., Mehta S., Lingayat N. Delineation of QRS-complex, P and T-wave in 12-lead ECG. *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*. 2008. Vol. 8. P. 185–190.
3. Israa Shaker Tawfic, Sema Koc Kayhan. Improving recovery of ECG signal with deterministic guarantees using split signal for multiple supports of matching pursuit (SS-MSMP) algorithm, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*. 2017. Vol. 139. P. 39–50.
4. Christov I. Real time electrocardiogram QRS detection using combined adaptive threshold. *BioMed. Eng. Online*. 2004. Vol. 3(28). P. 9.
5. De Chazazl P., Celler B. Automatic measurement of the QRS onset and offset in individual ECG leads. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. 1996. Vol. 4. P. 1399–1403.
6. Sandeep Raj, Kailash Chandra Ray. Sparse representation of ECG signals for automated recognition of cardiac arrhythmias, *Expert Systems with Applications*. 2018. Vol. 105. P. 49–64.
7. Lupenko S., Lutsyk N., Lapusta Yu. Cyclic linear random process as a mathematical model of cyclic signals. *Acta mechanica et automatica*. 2015. Vol. 9. No.4. P. 219–224.
8. Lupenko S. Modeling and signals processing using cyclic random functions / S. Lupenko, O. Orobchuk, N. Stadnik, A. Zozulya // 13th IEEE International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), September 11-14 2018. Lviv, Ukraine. 2018. T. 1. P. 360–363.
9. Lupenko S.A. Theoretical bases of modeling and processing of cyclic signals in information systems. *Scientific monograph*. Lviv: Magnolia Publishing House 2006. 2016. P. 344.
10. Лупенко С., Зозуля А., Сверстюк А., Стадник Н. Математичне моделювання та методи

опрацювання сигналів серця на базі циклічних випадкових процесів та векторів. *Sciences and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*, VI(20), ISSUE 172, July 2018. Budapest 2018. P. 47–54.

11. Лупенко С., Сверстюк А., Луцик Н., Стадник Н., Зозуля А. Умовний циклічний випадковий процес як математична модель коливних сигналів та процесів із подвійною стохастичністю. *Поліграфія і видавнича справа. Printing and Publishing*, No.1 (71). 2016. Львів, 2016. С. 147–159.

12. Lytvynenko I., Horkunenکو A., Kuchvara O., Palaniza Y. Methods of processing cyclic signals in automated cardiologic complexes. *Proceedings of the 1st International Workshop on Information-Communication Technologies & Embedded Systems, (ICT&ES-2019)*, Mykolaiv, November 13-14, 2019, Ukraine, 2019. P. 116–127.

13. Лупенко С.А., Литвиненко Я.В., Сверстюк А.С. Статистичний сумісний аналіз кардіосигналів на основі вектора циклічних ритмічно пов'язаних випадкових процесів. *Електроніка та системи управління. Національний авіаційний університет*. 2008. № 4 (18). С. 22–29.

14. Сверстюк А. С. Обґрунтування та верифікація математичної моделі синхронно зареєстрованих кардіосигналів з використанням вектора циклічних ритмічно пов'язаних випадкових процесів. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. 2009. № 1. С. 143–147.

15. Martsenyuk V. P., Sverstiuk A. S., Klos-Witkowska A., Horkunenکو A. B., Rajba S. Vector of Diagnostic Features in the Form of Decomposition Coefficients of Statistical Estimates Using a Cyclic Random Process Model of Cardiosignals. *The 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications*, 18-21 September. Metz, 2019. Vol. 1. P. 298–303.

16. Литвиненко Я.В., Лупенко С.А., Сверстюк А.С. Програмний комплекс для обробки та моделювання синхронно зареєстрованих кардіосигналів з використанням моделей та методів теорії циклічних функціональних відношень. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2009. № 5. С. 80–87.

17. Луцик Н.С., Литвиненко Я.В., Лупенко С.А., Зозуля А.М. Програмний комплекс для морфологічного аналізу та аналізу серцевого ритму з підвищеною інформативністю. *Журнал Вінницького національного технічного університету «Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія»*. Вінниця, 2016. № 1 (35). С. 13–22.

18. Lupenko S., Lutsyk N., Yasniy O., Sobaszek Ł. Statistical analysis of human heart with increased informativeness. *Acta mechanica et automatica*. 2018. Vol. 12, no. 4. P. 311–315.

19. Lupenko S., Lutsyk N., Yasniy O., Sobaszek Ł. Statistical analysis of human heart with increased informativeness. *Acta mechanica et automatica*, Vol. 12. 2018. P. 311–315.

20. Serhii Lupenko, Nadiia Lutsyk, Oleh Yasniy, Andriy Zozulia The Modeling and Diagnostic Features in the Computer Systems of the Heart Rhythm Analysis with the Increased Informativeness. *2019 9th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*. IEEE, 2019. P. 121–124.

21. Lytvynenko I.V. The method of segmentation of stochastic cyclic signals for the problems of their processing and modeling. *Journal of Hydrocarbon Power Engineering, Oil and Gas Measurement and Testing*. 2017, Vol. 4, No. 2, P. 93–103.

22. Литвиненко Я.В. Метод інтерполяції кубічним сплайном дискретної функції ритму циклічного сигналу із визначеною сегментною структурою. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. Хмельницький, 2017. № 3. С. 105–112.

23. Марценюк В.П., Семенець А.В., Сверстюк А.С. Концептуальні підходи до інтегрованого середовища проведення наукових медико-біологічних досліджень. *Штучний інтелект*. 2003. № 2. С. 35–44.

24. Марценюк В.П., Кравець Н.О., Сверстюк А.С. Інформаційна система медико-біологічних досліджень: проект на основі Web-технологій. *Український журнал телемедицини та медичної телематики*. 2003. Т. 1, № 1. С. 57–60.

25. Лупенко С.А., Дем'янчук Н.Р., Сверстюк А.С. Концептуально-методологічні основи імітаційного моделювання циклічних сигналів на ЕОМ із використанням їх моделі у вигляді циклічного функціонального відношення. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. 2008. № 4. С. 101–111.

References

1. Chen S.-W., Chen H.-C., Chan H.-L. A real-time QRS detection method based on moving-averaging incorporating with wavelet denoising. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*. Elsevier Inc. 2006. Vol. 82. P. 187–195.
2. Chouhan, V., Mehta S., Lingayat N. Delineation of QRS-complex, P and T-wave in 12-lead ECG. *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*. 2008. Vol. 8. P. 185–190.
3. Israa Shaker Tawfic, Sema Koc Kayhan. Improving recovery of ECG signal with deterministic guarantees using split signal for multiple supports of matching pursuit (SS-MSMP) algorithm, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*. 2017. Vol. 139. P. 39–50.
4. Christov I. Real time electrocardiogram QRS detection using combined adaptive threshold. *BioMed. Eng. Online*. 2004. Vol. 3(28). P. 9.
5. De Chazazl P., Celler B. Automatic measurement of the QRS onset and offset in individual ECG leads. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. 1996. Vol. 4. P. 1399–1403.
6. Sandeep Raj, Kailash Chandra Ray. Sparse representation of ECG signals for automated recognition of cardiac arrhythmias, *Expert Systems with Applications*. 2018. Vol. 105. P. 49–64.
7. Lupenko S., Lutsyk N., Lapusta Yu. Cyclic linear random process as a mathematical model of cyclic signals. *Acta mechanica et automatica*. 2015. Vol. 9. No.4. P. 219–224.
8. Lupenko S. Modeling and signals processing using cyclic random functions / S. Lupenko, O. Orobchuk, N. Stadnik, A. Zozulya //

- 13th IEEE International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), September 11-14 2018. Lviv, Ukraine. 2018. T. 1. P. 360–363.
9. Lupenko S.A. Theoretical bases of modeling and processing of cyclic signals in information systems. Scientific monograph. Lviv: Magnolia Publishing House 2006. 2016. P. 344.
10. Lupenko S., Zozulia A., Sverstiuk A., Stadnyk N. Matematychno modeliuвання ta metody opratsiuvannya syhnali v sertsia na bazi tsyklichnykh vypadkovykh protsesiv ta vektoriv. Sciences and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, VI(20), ISSUE 172, July 2018. Budapest 2018. R. 47–54.
11. Lupenko S., Sverstiuk A., Lutsyk N., Stadnyk N., Zozulia A. Umovnyi tsyklichnyi vypadkovyi protses yak matematychna model kolyvnykh syhnaliv ta protsesiv iz podviinoiu stokhastychnosti. Polihrafiia i vydavnycha sprava. Printing and Publishing, No.1 (71). 2016. Lviv, 2016. S. 147–159.
12. Lytvynenko I., Horkunenko A., Kuchvara O., Palaniza Y. Methods of processing cyclic signals in automated cardiologic complexes. Proceedings of the 1st International Workshop on Information-Communication Technologies & Embedded Systems, (ICT&ES-2019), Mykolaiv, November 13-14, 2019, Ukraine, 2019. P. 116–127.
13. Lupenko S.A., Lytvynenko Ya.V., Sverstiuk A.S. Statystychnyi sumisnyi analiz kardiosyhnaliv na osnovi vektora tsyklichnykh rytmichno poviazanykh vypadkovykh protsesiv. Elektronika ta systemy upravlinnia. Natsionalnyi aviatsiyni universytet. 2008. № 4 (18). S. 22–29.
14. Sverstiuk A. S. Obhruntuvannya ta verryfikatsiia matematychnoi modeli synkhronno zareiestrovanykh kardiosyhnaliv z vykorystanniam vektora tsyklichnykh rytmichno poviazanykh vypadkovykh protsesiv. Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. 2009. № 1. S. 143–147.
15. Martsenyuk V. P., Sverstiuk A. S., Klos-Witkowska A., Horkunenko A. B., Rajba S. Vector of Diagnostic Features in the Form of Decomposition Coefficients of Statistical Estimates Using a Cyclic Random Process Model of Cardiosignals. The 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, 18-21 September. Metz, 2019. Vol. 1. P. 298–303.
16. Lytvynenko Ya.V., Lupenko S.A., Sverstiuk A.S. Prohramnyi kompleks dlia obrobky ta modeliuвання synkhronno zareiestrovanykh kardiosyhnaliv z vykorystanniam modelei ta metodiv teorii tsyklichnykh funktsionalnykh vidnoshen. Herald of Khmelnytskyi National University. 2009. № 5. S. 80–87.
17. Lutsyk N.S., Lytvynenko Ya.V., Lupenko S.A., Zozulia A.M. Prohramnyi kompleks dlia morfolohichnoho analizu ta analizu sertsevoho rytmu z pidvyshchenoiu informatyvniosti. Zhurnal Vinnytskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «Informatsiini tekhnolohii ta kompiuterna inzheneriia». Vinnytsia, 2016. № 1 (35). S. 13–22.
18. Lupenko S., Lutsyk N., Yasniy O., Sobaszek Ł. Statistical analysis of human heart with increased informativeness. Acta mechanica et automatica. 2018. Vol. 12, no. 4. P. 311–315.
19. Lupenko S., Lutsyk N., Yasniy O., Sobaszek Ł. Statistical analysis of human heart with increased informativeness. Acta mechanica et automatica, Vol. 12. 2018, P. 311–315.
20. Serhii Lupenko, Nadiia Lutsyk, Oleh Yasniy, Andriy Zozulia The Modeling and Diagnostic Features in the Computer Systems of the Heart Rhythm Analysis with the Increased Informativeness. 2019 9th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT). IEEE, 2019. R. 121–124.
21. Lytvynenko I.V. The method of segmentation of stochastic cyclic signals for the problems of their processing and modeling. Journal of Hydrocarbon Power Engineering, Oil and Gas Measurement and Testing. 2017, Vol. 4, No. 2, R. 93–103.
22. Lytvynenko Ya.V. Metod interpolatsii kubichnym splainom dyskretnoi funktsii rytmu tsyklichnoho syhnalu iz vyznachenoiu sehmentnoiu strukturoiu. Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. Khmelnytskyi, 2017. № 3. S. 105–112.
23. Martseniuk V.P., Semenets A.V., Sverstiuk A.S. Kontseptualni pidkhody do intehrovanoho seredovyscha provedennia naukovykh medyko-biolohichnykh doslidzhen. Shtuchnyi intelekt. 2003. № 2. S. 35–44.
24. Martseniuk V.P., Kravets N.O., Sverstiuk A.S. Informatsiina sistema medyko-biolohichnykh doslidzhen: proekt na osnovi Web-tekhnolohii. Ukrainskyi zhurnal teledytsyny ta medychnoi telematyky. 2003. T. 1, № 1. S. 57–60.
25. Lupenko S.A., Demianchuk N.R., Sverstiuk A.S. Kontseptualno-metodolohichni osnovy imitatsiinoho modeliuвання tsyklichnykh syhnaliv na EOM iz vykorystanniam yikh modelei u vyhladi tsyklichnoho funktsionalnoho vidnoshennia. Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. 2008. № 4. S. 101–111.

Рецензія/Peer review : 5.2.2020 р. Надрукована/Printed : 15.4.2020 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

ФАСЕТКОВИЙ МЕТОД ПЕРЕТВОРЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОГО РОЗПІЗНАВАННЯ

Метод фасеткового перетворення зображень полягає в програмній зміні розмірності вхідного образу й призначений для використання у процесі дорозпізнавальної обробки зображень. На основі розробленого фасеткового методу для перетворення зображень було створено додаток для нейромережевого розпізнавання образів після обробки розробленим методом. Для дослідження ефективності методу фасеткового перетворення зображень проводилося порівняння результатів розпізнавання образів до та після фасеткової згортки зображень. Розроблювана інформаційна технологія фасеткової згортки зображень використовує фасетковий метод перетворення зображень та дозволяє розпізнавати зображення до масштабування та після масштабування за допомогою нейронної мережі перцептрон. Інформаційна технологія містить етапи фасеткової згортки зображень та нейромережевого розпізнавання образів. На першому етапі відбувається обробка зображення фасетковим методом. Спочатку відбувається аналіз розмірності зображення та встановлюється рецепторна область залежно від розміру вхідного образу, після чого за необхідності коригується розмірність для фасеткової згортки. Необхідність встановлюється залежно від можливості поділити зображення на рівні квадрати. Далі встановлюється, наскільки сильно зашумлений або нечіткий образ. У наступному кроці рекурсивно визначається приналежність образу пікселів до вихідного зображення, після чого проміжний матеріал переходить до наступного етапу – розпізнавання образу нейроною мережею. Проведені в роботі дослідження встановили, що фасетковий метод перетворення зображень дозволяє конвертувати зображення таким чином, щоб підвищити ефективність подальшого розпізнавання. Так, в порівнянні з успішністю розпізнавання необроблених зображень, для зашумлених образів ефективність зростає в середньому з 36,17% до 94,53%, а для безконтурних та сегментованих образів ефективність розпізнавання зростає в середньому з 52,93% до 88,16%.

Ключові слова: нейромережа, фасетка, розпізнавання.

O. MAZURETS, T. SKRYPNYK, A. IZOTOV

Khmelnitskyi National University

FACET METHOD OF IMAGE TRANSFORMATION BY MEANS OF NEURAL NETWORK RECOGNITION

The method of facet image conversion is a software resizing of the input image and is intended for use in the process of image recognition. Based on the developed facet method for image transformation, an application was created for neural network image recognition after processing by the developed method. To investigate the efficiency of the facet image conversion method, the results of the image recognition were compared before and after the facet image convolution. The developed facet image convolution information technology uses the facet image conversion method and allows the image to be recognized before scaling and after scaling using the perceptron neural network. There are two main components of information technology: facet image convolution and neural network image recognition. In the first stage, the image is processed by the facet method. First, an image dimension analysis is performed and a square is determined depending on the size of the input image, and then the dimension for the facet convolution is adjusted, if necessary. Necessity is determined by the ability to divide the image into squares. The next step is to set how noisy the image is, or vice versa. The next step is to recursively determine the affiliation of the pixel image to the original image, after which the intermediate material proceeds to the next stage of image recognition by the neural network. Researches have shown that the facet image conversion method allows to convert images in such a way as to increase the efficiency of further recognition. Thus, in comparison with the success of recognition of raw images, for noisy images the efficiency increases on average from 36.17% to 94.53%, and for the outline and segmented images the recognition efficiency increases on average from 52.93% to 88.16%.

Keywords: neural network, facet, recognition, image, transformation, determine, pixel.

Постановка проблеми в загальному вигляді

В останні роки розпізнавання образів знаходить все більше застосування в повсякденному житті. Штучні нейронні мережі зазвичай представлені як взаємозалежні нейрони в системах, які можуть обчислювати значення з вхідних даних і здатні до машинного навчання, а також до розпізнавання образів завдяки їх адаптивній природі. Найбільшою перевагою штучних нейромереж є те, що вони можуть використовуватися в якості механізму для апроксимації довільних функцій, який «навчається» на основі спостережуваних даних.

Для більшості нейромереж основними складнощами в розпізнаванні є випадки, коли вхідні зразки немасштабовані, мають значне зашумлення або відсутні чіткі межі образів. Ці проблеми пропонуються вирішувати на етапі дорозпізнавальної обробки зображень [1]. Тому є актуальною розробка методу фасеткової згортки зображень, що полягає в програмній зміні розмірності вхідного образу і який призначений для використання у процесі дорозпізнавальної обробки зображень [2].

Аналіз останніх досліджень

У машинному навчанні та суміжних областях обчислювальні моделі штучних нейронних мереж засновані на центральній нервовій системі і використовуються для оцінки. Вони можуть покладатися на велику кількість вхідних даних. Штучні нейронні мережі зазвичай представлені як взаємозалежні нейрони, які можуть обчислювати значення з вхідних даних і здатні до машинного навчання, а також до систем розпізнавання образів завдяки їх адаптивній природі. Так, нейромережа для розпізнавання рукописного

введення визначається набором вхідних нейронів, що можуть бути активовані пікселями вхідного зображення. Зважування є зворотним і перетворюється функцією (визначається розробником мережі), а спрацьовування залежить від інших нейронів і результат потім передається далі. Цей процес повторюється до кінця, коли вихідний нейрон активується. Це визначає, які символи розпізнано [3].

Методи машинного навчання, подібні до тих, які використовуються в нейромережах, використовувалися для вирішення завдань, які важко вирішити за допомогою звичайного програмування на основі правил, включаючи комп'ютерний зір й розпізнавання мови [4]. Вважається, що найбільшою перевагою штучних нейромереж є те, що вони можуть використовуватися у якості механізму для апроксимації довільних функцій, який навчається на основі спостережуваних даних [5].

Постановка задачі

Мета роботи полягає у розробці та практичній реалізації фасеткового методу перетворення зображень для нейромережевого розпізнавання. Для дослідження ефективності методу фасеткового перетворення зображень проводилося порівняння результатів нейромережевого розпізнавання образів до та після фасеткової згортки зображень.

Викладення основних матеріалів дослідження

На рис. 1 зображено схему використання фасеткового методу згортки зображень. Наведений шлях обробки даних у методі фасеткової згортки зображень дозволяє з вхідного образу, який виступає зображенням, через ряд кроків дозволяє отримати вихідний образ у вигляді зменшеного в розмірах зображення.

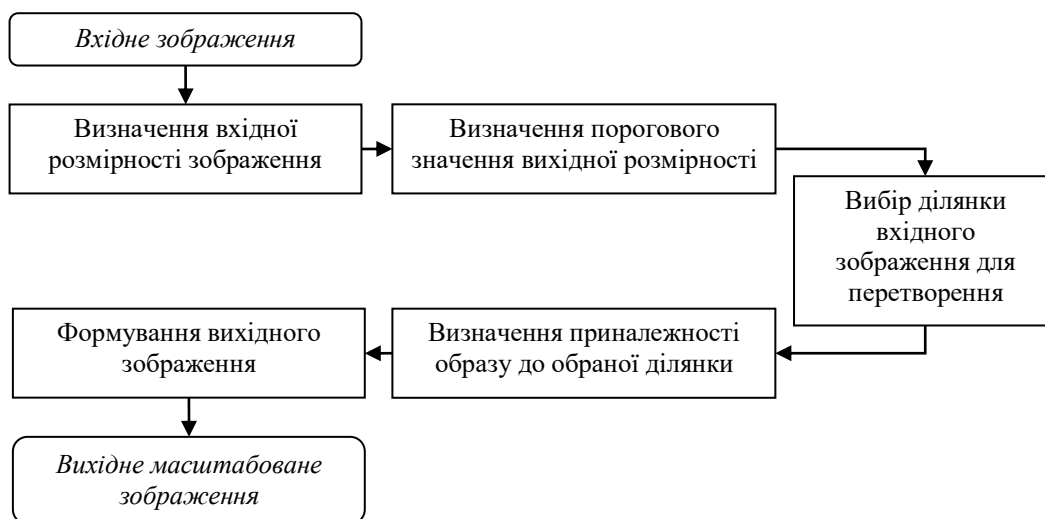


Рис. 1. Схема використання методу фасеткового перетворення зображень

На схемі наведені основні етапи обробки даних методом фасеткової згортки зображень:

1. На вхід надходить зображення (образ), яке необхідно обробити методом фасеткового перетворення зображень.
2. Оцінюється вихідна розмірність зображення для подальшої обробки.
3. Визначається порогове значення для вихідної розмірності графічного зображення та встановлюється розмірність актуальної області.
4. Вибір ділянки зображення для визначення кількості домінуючих пікселів.
5. Визначається приналежність пікселя вихідному образу чи фону.
6. Формування кінцевого образу для подальшого його розпізнавання.
7. Отримання вихідного зображення (образу).

При фасетковій згортці образу відбувається перетворення вхідного зображення PB , яке є множиною елементів (наприклад, пікселів) $pb \in PB$, у вихідне зображення PM , яке є множиною елементів $pm \in PM$. Параметрами, що визначають результат фасеткового перетворення образів $PB \Rightarrow PM$, є коефіцієнт фасеткової згортки kfz та поріг фасеткового перетворення u .

Коефіцієнт фасеткової згортки kfz визначає, наскільки зменшиться розмірність вихідного зображення PM по відношенню до вхідного зображення PB , й визначає рівність:

$$kfz = \sqrt{\frac{mpb}{mpt}}, \quad mpb = |PB|, \quad mpt = |PM|, \quad (1)$$

де mpb – кількість елементів $pb \in PB$ вхідного зображення PB , mpt – кількість елементів $pm \in PM$ вихідного зображення PM .

При фасетковій згортці образу PB до образу PM , що має розмірність $n*m$, кожен елемент $pm_{n,m} \in PM$ визначається шляхом аналізу відповідної йому підмножини елементів PB' , з числа елементів вхідного зображення PB :

$$PB'_{n,m} \Rightarrow pm_{n,m}, pm_{n,m} \in PM, pb': pb'_{n,m} \in PB'_{n,m}, pb'_{n,m} \in PB. \quad (2)$$

При цьому множини елементів PB' є підмножинами множини елементів вхідного зображення PB :

$$PB' \subset PB, |PB'| = mpb / mpm. \quad (3)$$

Кожен елемент $pb'_{n,m} \in PB'_{n,m}$ при обробці ідентифікується як елемент образу $pb'_{n,m} \in EP_{n,m}$ чи елемент фону $pb'_{n,m} \in ZP_{n,m}$:

$$ZP_{n,m} \subset PB'_{n,m}, EP_{n,m} \subset PB'_{n,m}, |ZP_{n,m}| + |EP_{n,m}| = |PB'_{n,m}|; \quad (4)$$

$$\forall pb'_{n,m} \in PB'_{n,m}: pb'_{n,m} \in ZP_{n,m} \vee pb'_{n,m} \in EP_{n,m}. \quad (5)$$

Поріг фасеткового перетворення u вказує мінімальну кількість елементів образу в множині PB' , достатню для визначення відповідного елементу вихідного зображення $pm_{n,m} \in PM$ як елементу образу PM .

$$\begin{cases} |EP_{n,m}| \geq u \Rightarrow pb_{n,m} \in EP \\ |EP_{n,m}| < u \Rightarrow pb_{n,m} \in ZP \end{cases}. \quad (6)$$

Наведеним чином проводиться визначення кожного елементу $pm \in PM$ шляхом обробки відповідних ділянок вхідного зображення $PB' \subset PB$. Розроблена математична модель фасеткової згортки графічних образів формально подає процес перетворення образу із масштабуванням та призначена для використання у фасетковому методі перетворення зображень.

Розроблено інформаційну технологію фасеткової згортки зображень, що включає фасетковий метод згортки зображень й дозволяє перетворювати вхідне цифрове зображення у вихідне зі зменшенням його розміру. На рис. 2 зображено, як взаємодіють між собою основні компоненти інформаційної технології.

Основні етапи роботи інформаційної технології: фасеткова згортка зображень та нейромережеве розпізнавання образів. На першому етапі відбувається обробка зображення фасетковим методом. Спочатку відбувається аналіз розмірності зображення та встановлюється квадрат $n*n$ залежно від розміру вхідного образу, після чого за необхідності коригується розмірність для фасеткової згортки. Необхідність встановлюється в залежності від можливості поділити зображення на рівні квадрати $n*n$.

Далі встановлюється наскільки сильно зашумлений образ або навпаки нечіткий. У наступному кроці рекурсивно визначається приналежність образу пікселів до вихідного зображення, після чого проміжний матеріал переходить до наступного етапу розпізнавання образу нейронною мережею.



Рис. 2. Загальна схема інформаційної технології фасеткової згортки зображень

Для розпізнавання образу необхідно спочатку навчити нейронну мережу еталонними образами для ідентифікації зображення. Наведеним чином інформаційна технологія фасеткової згортки зображень використовує фасетковий метод перетворення зображень та дозволяє розпізнавати зображення до масштабування та після масштабування за допомогою нейронної мережі перцептрон.

Прикладна реалізація інформаційної технології

З метою дослідження ефективності методу фасеткового перетворення зображень було створено й використано тестове програмне забезпечення (рис. 3), що реалізує запропонований метод та дві нейронні мережі для розпізнавання.

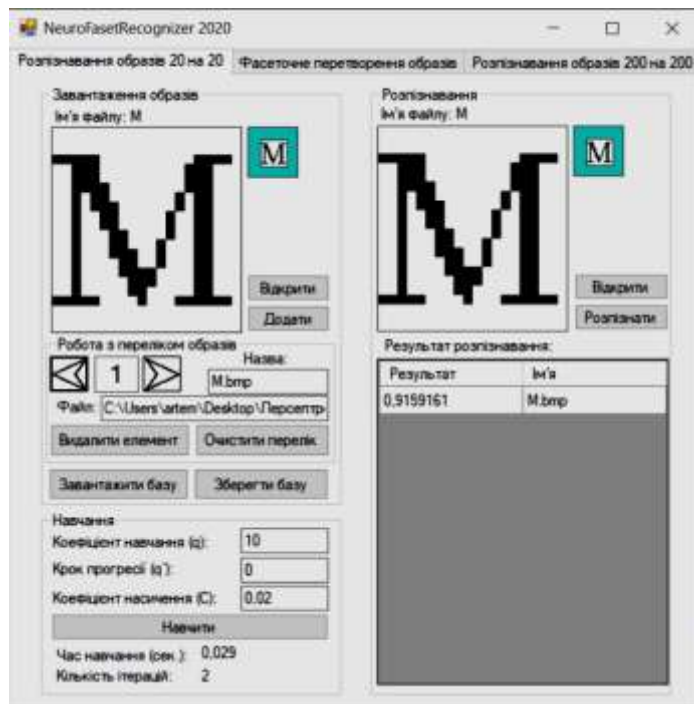


Рис. 3. Тестове програмне забезпечення для дослідження ефективності методу фасеткового перетворення зображень

На рис. 4 зображено архітектуру інформаційної системи фасеткової згортки зображень, на якій описані підсистеми основних компонентів програми і їх взаємодія між собою.

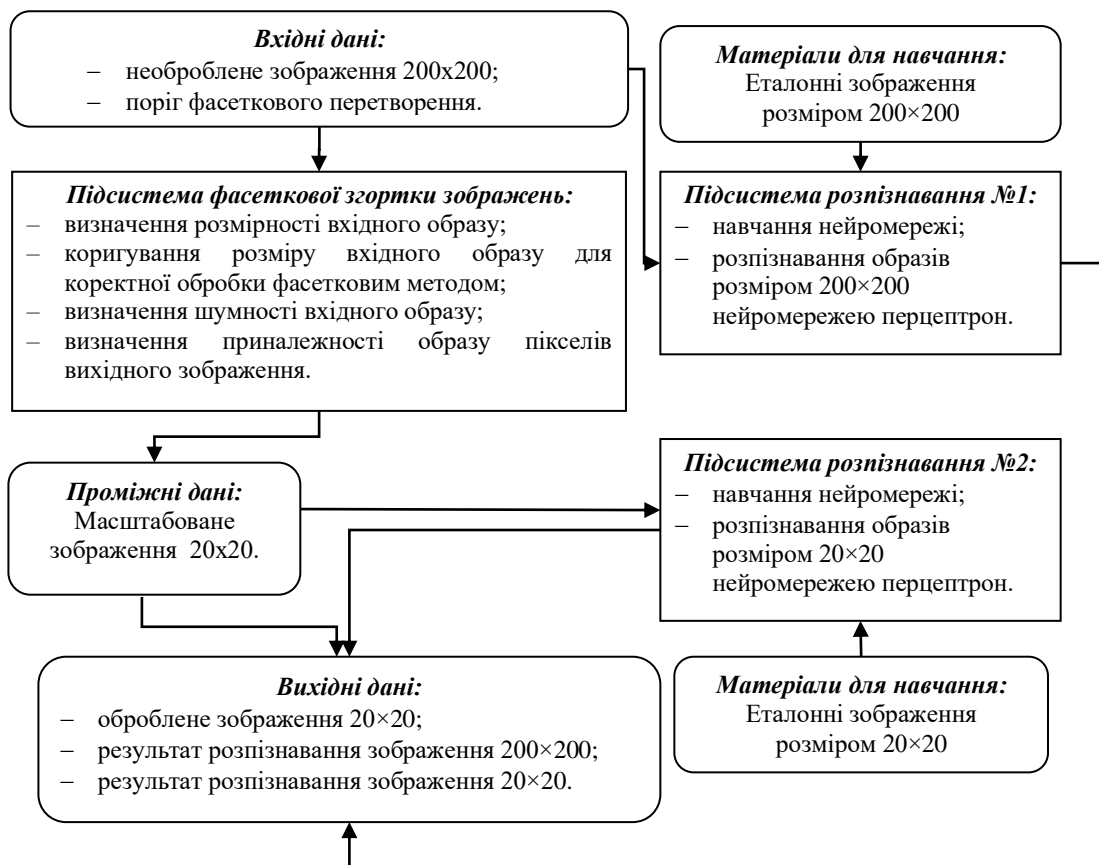


Рис. 4. Архітектура інформаційної системи фасеткової згортки зображень

Для розпізнавання образів за інформаційної технології фасеткової згортки зображень потрібне створення двохшарової нейронної мережі перцептрон класичної архітектури для розпізнавання 26 літер українського алфавіту в двох модифікаціях – з вхідним вектором 40000 для розпізнавання образів розміром 200x200 пікселів без фасеткового методу та з вхідним вектором 400 для розпізнавання образів розміром 20x20 пікселів з фасетковим методом.

Дослідження ефективності методу фасеткового перетворення зображень

Дослідження ефективності методу фасеткового перетворення зображень проводилося шляхом порівняння результату розпізнавання вхідних зображень та результату розпізнавання вихідних зображень після фасеткової згортки. Для розпізнавання було використано зображення, що містять образи з такими спотвореннями, як зашумлення та сегментація.

Для визначення ефективності розпізнавання, використано показники ефективності розпізнавання без фасеткового методу N_1 та ефективності розпізнавання з фасетковим методом N_2 :

$$N_1 = \frac{Q_1}{Q_0}, N_2 = \frac{Q_2}{Q_0}, \tag{7}$$

де Q_1 – кількість правильного розпізнавання вхідних образів (200×200), де Q_2 – кількість правильного розпізнавання вихідних образів (20×20), Q_0 – загальна кількість тестових зразків.

При розпізнаванні зашумлених образів (рис. 5, рис. 6), для різних значень порогу фасеткового перетворення u при кроку 5 було одержано середні значення, наведені на рис. 7. Найвищий показник ефективності розпізнавання $N_1 = 94,53\%$ було встановлено при значенні $u = 10$. При цьому достатньо високе значення $N_1 > 70\%$ було визначено для значень порогу фасеткового перетворення $u = 5..25$.

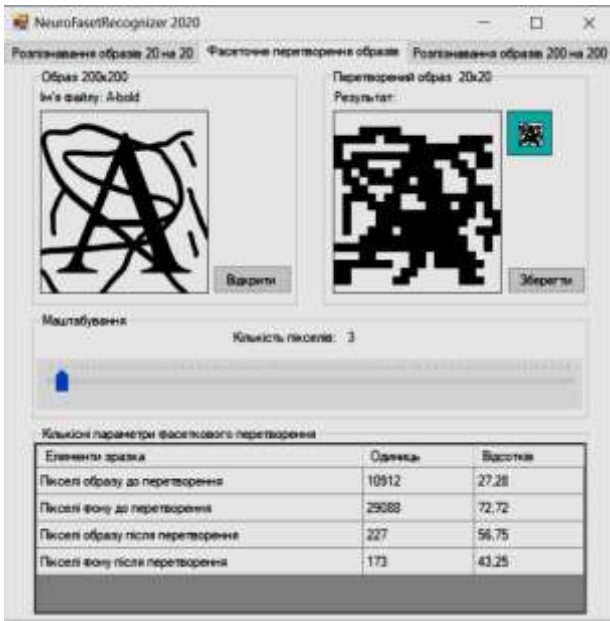


Рис. 5. Результат з низьким ($u = 3$) порогом фасеткового перетворення для зашумлених образів

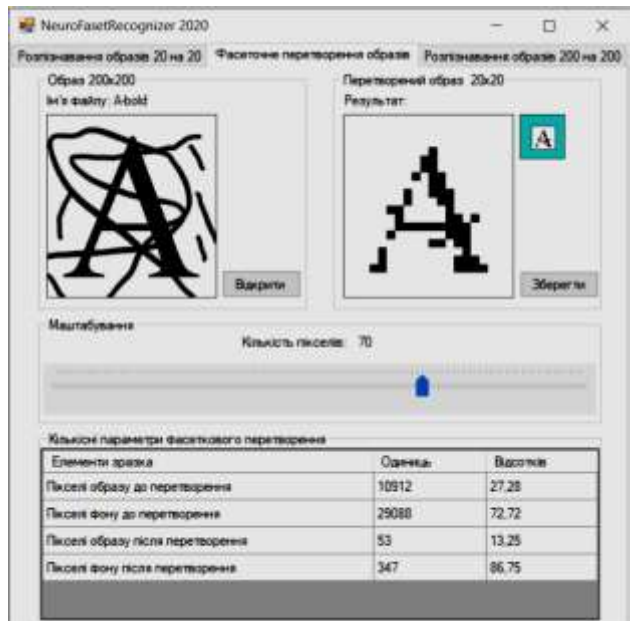


Рис. 6. Результат з високим ($u = 70$) порогом фасеткового перетворення для зашумлених образів

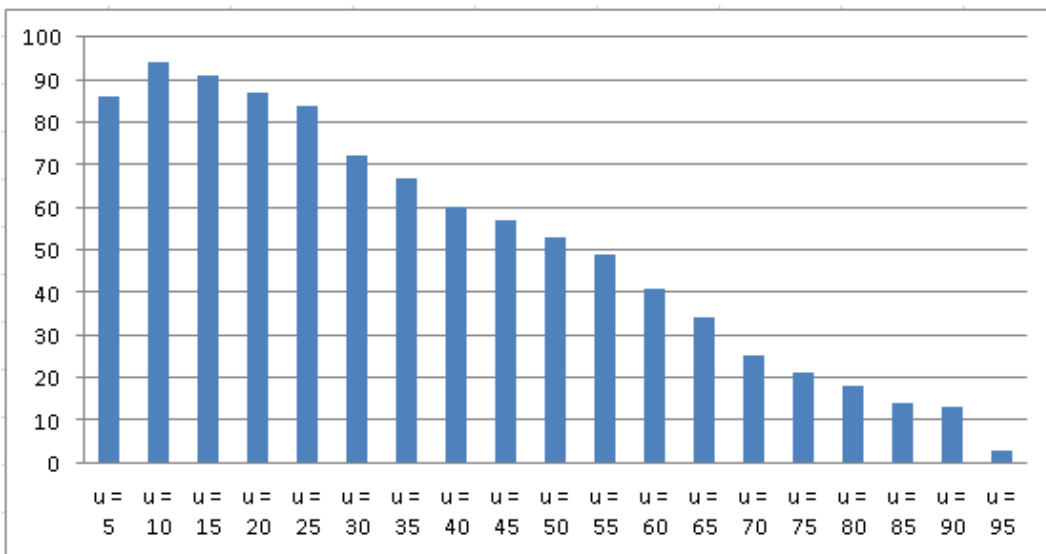


Рис. 7. Середні значення ефективності розпізнавання зашумлених образів після фасеткової згортки, %

При розпізнаванні безконтурних та сегментованих образів (рис. 8, рис. 9), для різних значень порогу фасеткового перетворення u при кроку 5 було одержано середні значення, наведені на рис. 10. Найвищий показник ефективності розпізнавання $N_2 = 88,16\%$ було встановлено при значенні $u = 80$. При цьому достатньо високе значення $N_2 > 70\%$ було визначено для значень порогу фасеткового перетворення $u = 65..95$.

Для порівняння, середні результати ефективності розпізнавання необроблених зображень та результати ефективності розпізнавання зображень після фасеткової згортки при значенні $u = 10$, для зашумлених образів та сегментованих образів, наведено на рисунку 11.

Наведені результати свідчать, що при розпізнаванні зашумлених образів найвищі показники ефективності розпізнавання встановлено для значень порогу фасеткового перетворення $u = 5..25$. При розпізнаванні безконтурних та сегментованих образів найвищі показники ефективності розпізнавання встановлено для значень порогу фасеткового перетворення $u = 65..95$.

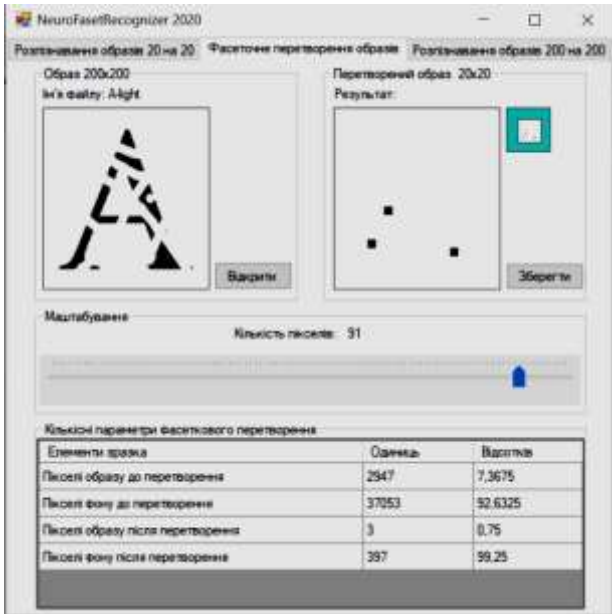


Рис. 8. Результат з високим ($u = 91$) порогом фасеткового перетворення для сегментованих образів

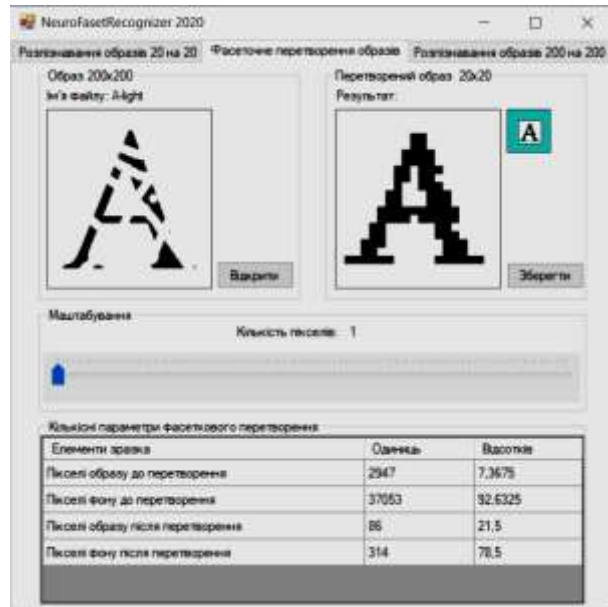


Рис. 9. Результат з низьким ($u = 1$) порогом фасеткового перетворення для сегментованих образів

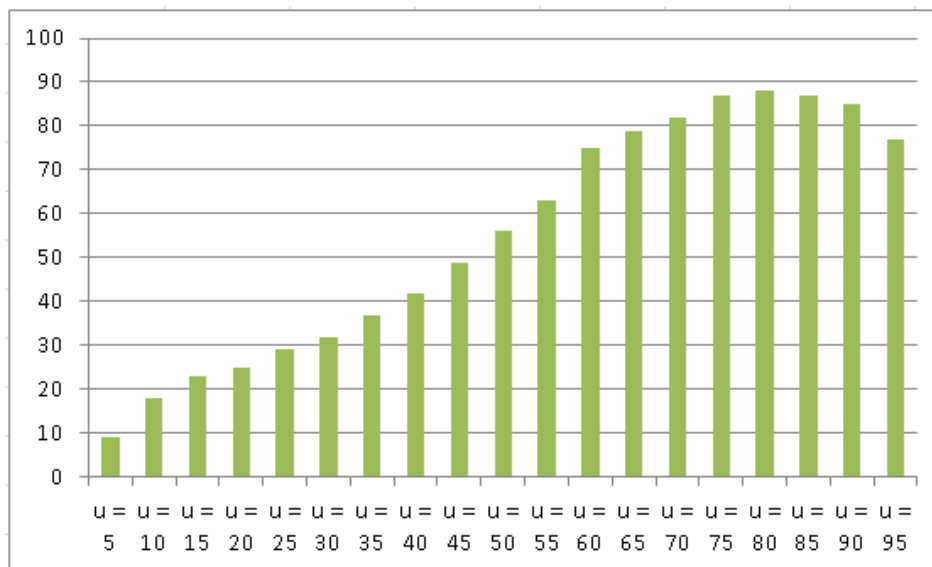


Рис. 10. Середні значення ефективності розпізнавання сегментованих образів після фасеткової згортки, %

Отже, дослідження встановили, що метод фасеткової згортки зображень дозволяє конвертувати зображення таким чином, щоб підвищити ефективність подальшого розпізнавання, зокрема в порівнянні з успішністю розпізнавання необроблених зображень, для зашумлених образів ефективність зростає в середньому з 36,17% до 94,53%, а для безконтурних та сегментованих образів ефективність розпізнавання зростає в середньому з 52,93% до 88,16%.

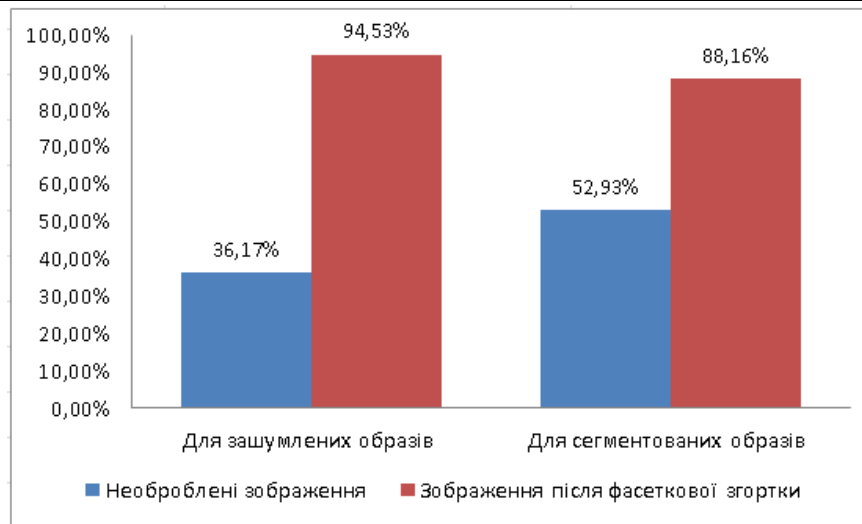


Рис. 11. Середні результати ефективності розпізнавання зашумлених образів та сегментованих образів, %

Висновки

В статті було розглянуто фасетковий метод перетворення зображень для нейромережевого розпізнавання. Для дослідження ефективності методу фасеткового перетворення зображень проводилося порівняння результатів розпізнавання образів до та після фасеткової згортки зображень. Для дослідження було створено й використано тестове програмне забезпечення, що реалізує запропонований фасетковий метод перетворення зображень та дві нейронні мережі для розпізнавання.

Література

1. Гороховатський О. В. Особливості розпізнавання зображень символів із використанням лінійних описів та корекції результатів / О. В. Гороховатський // Системи обробки інформації. – 2016. – № 4. – С. 149–151.
2. Овчарук О. М. Математична модель фасеткового дорозпізнавального перетворення зображень / О. М. Овчарук, 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. 151–152.
3. Подорожняк А. О. Метод інтелектуальної обробки мультиспектральних зображень / А. О. Подорожняк, Н. Ю. Любченко, О. Д. Лагода // Системи обробки інформації. – 2015. – № 10. – С. 123–125.
4. Гудфелов І. Машинне навчання [Електронний ресурс] / І. Гудфелов, Й. Бенгіо, А. Коурвілле // MIT Press, 2016. – Режим доступу : <http://www.deeplearningbook.org>.
5. Гавриш Б. М. Особливості побудови нейромережевих систем розпізнавання зображень / Б. М. Гавриш, О. В. Тимченко, Р. О. Кульчицький, О. Є. Семенова // Моделювання та інформаційні технології. – 2018. – № 83. – С. 190–196.

References

1. GOROKHOVATSKY, O. (2018) Features of character image recognition using linear descriptions and result correction. Information processing systems, 4, p. 149-151.
2. OVCHARUK, O. & MAZURETS, O. (2019) Mathematical model of facet pre-recognition image transformation. Proceedings of the XI All-Ukrainian Scientific-Practical Conference "Actual Problems of Computer Sciences APKN-2019", Vol. 1, p. 151-152.
3. PODOROZHNYAK, A., LYUBCHENKO, N. & LAGODA, O. (2015) The method of intellectual processing of multispectral images. Systems of information processing, 10, p. 123-125.
4. GOODFELOV, I., BENGIO, J. & COWERVILLE, A. (2016) Machine Learning. [Online] Available from: <http://www.deeplearningbook.org> [Accessed: 25 July 2019].
5. GAVRISH, B., TIMCHENKO, O., KULCHITSKY, R. & SEMENOVA, A. (2018) Features of construction of neural network image recognition systems. Modeling and information technologies, 83, p. 190-196.

Рецензія/Peer review : 26.01.2020 р.

Надрукована/Printed : 14.2.2020 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Сорокати́й Р. В.

Т.Б. МАРТИНЮК, А.Г. БУДА, А.В. КОЖЕМ'ЯКО, Л.М. КУПЕРШТЕЙН
Вінницький національний технічний університет

ОСОБЛИВОСТІ ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЇ В РОБОТОТЕХНІЦІ ТА СИСТЕМАХ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ

Область застосування методів та засобів штучного інтелекту у наш час є надзвичайно широкою. Це зумовлює потребу у модернізації програмно-апаратного комплексу для практичного застосування у багатьох прикладних задачах нейротехнологій як базової складової штучного інтелекту. Так, використання нейротехнологій дозволить значно підвищити рівень інтелектуалізації у багатьох сферах людської життєдіяльності, особливо при об'єднанні можливостей штучного інтелекту з експертними системами. У даній роботі розглядаються аспекти інтелектуалізації в таких галузях, як робототехніка та системи захисту інформації. Увага приділена застосуванню в цих галузях нейротехнологій, а саме нейромережному підходу до розв'язання конкретних прикладних задач. Наведені приклади застосування нейротехнологій в робототехніці та інтелектуальних системах захисту та розподілення даних і класифікації користувачів у комп'ютерних системах і мережах підтверджують поширене використання нейротехнологій і перспективу апаратної реалізації нейроструктур на новітній елементній базі, зокрема на ПЛІС. При цьому особливу увагу при огляді ефективного застосування нейротехнологій в означених науково-технічних галузях приділено цим напрямкам саме у публікаціях українських науковців. Все це свідчить про високий рівень досліджень та отримані значні результати на теренах України.

Ключові слова: штучний інтелект, робототехніка, захист інформації, ПЛІС.

T.B. MARTYNIUK, A.G. BUDA, A.V. KOZHEMIAKO, L.M. KUPERSHTEIN
Vinnytsia National Technical University

INTELLECTUALIZATION FEATURES IN ROBOTICS AND INFORMATION SECURITY SYSTEMS

Today the application field of artificial intelligence methods is very wide. Therefore it is necessary to upgrade hardware and software for practical neural technology applications for many tasks as the basic element of artificial intelligence. The neural technology using can access to increase intellectualization range in many sphere of human life. Especially it is achieved in artificial intelligence capabilities union with expert systems. In this article the intellectualization aspects of robotics and information security are considered. Attention is paid to the neural technologies application in these areas that is neural network approach to applied tasks solving. The examples of neural technology applying in robotics and intelligence information security systems are presented. The main directions of neural network applying in robotics are the control systems and computer vision systems. In terms of information security systems, the main ones are the network attack detection, social network users (fake accounts) classification, authentication, neural cryptography. It is noted that the best hardware neural structure realizations are the programmable logic integrated circuits. The promising directions of neural networks using in robotics are solving dynamic tasks, namely motion control, and static tasks, namely data processing from sensors. Promising areas of neural networks using in information security are encryption and cryptanalysis, steganography and steganoanalysis, authentication, factorization. Particular attention in reviewing the effective use of neurotechnology in these scientific and technical fields is given to these areas in the publications of Ukrainian scientists. All this testifies to the high level of research and significant results obtained in Ukraine.

Keywords: artificial intelligence, robotics, information security, FPGA.

Вступ

Використання методів та засобів штучного інтелекту в останні роки не тільки зростає, але й охоплює різні сфери діяльності людей [1]. Не в останню чергу це пов'язано з широким застосування нейротехнологій [2]. Так, в області роботизації та захисту інформації програмні та апаратні засоби нейро- та фаззі-технологій інтенсивно впроваджуються значними темпами вже не перше десятиріччя [3–5].

Метою даної роботи є аналіз особливостей використання нейротехнологій в робототехніці та системах захисту інформації.

Інтелектуальні системи керування в робототехніці

Серед переваг інтелектуальних систем різного призначення у порівнянні з автоматизованими системами в першу чергу варто відзначити гнучкість, самоорганізацію та чутливість до змін навколишнього середовища [6]. Але серед їх недоліків присутній ризик прийняття помилкових рішень. Разом з тим, можливість розподілення інтелектуальної складової та використання знань і досвіду дозволить зменшити цей недолік [6].

В інтелектуальних адаптивних системах керування, здатних підлаштовуватись до певного діапазону зовнішніх умов, не має альтернативи нейромережним методам, які представляють собою один з імітаційних підходів створення таких систем [2–5]. Разом з тим для мобільних роботів бажано, щоб нейромережні методи підтримувались також апаратно [3–5]. При цьому, серед процедур використовуваних при керуванні роботами важливе місце займають класифікація поточного стану і прийняття рішення про подальший розвиток процесу [5, 6].

В роботі [5] наведено архітектуру інтелектуальної системи керування мобільним роботом, яка представляє собою два рівні оброблення і збереження даних: логічний та асоціативний. На логічному рівні оперують з поняттями (концепціями), які можуть бути подані природною мовою і використовують логічне виведення, різні види пошуку тощо. На асоціативному рівні обробляють зображення (образи) і

використовують асоціативні процедури – збереження і виклик асоціацій, класифікацію, кластеризацію та узагальнення [5].

Асоціативний рівень, в свою чергу, містить дві підсистеми: для вирішення статичних задач (оброблення даних з датчиків) і для вирішення динамічних задач (керування рухом). Причому, підсистема для розв'язання статичних задач виконує функції нейромережі та асоціативної пам'яті. Таке архітектурне рішення гібридної інтелектуальної системи пропонується для керування, наприклад, роботизованими інвалідними візками [5].

Про активність в області розробок інтелектуальних систем керування роботами з використанням нейротехнологій свідчить ряд публікацій. Наприклад, в роботі [7] наводяться дані про концептуальну модель системи керування мобільним роботом із застосуванням теорії когнітивних агентів, теорії адаптивного резонансу (ART) і нейроподібних зростаючих мереж (H-PC). В роботі [8] розглядається методика синтезу інтелектуального (адаптивного) керування рухом мультиагентних систем у нейромережному базисі. У роботі [9] представлено систему керування мобільним роботом на базі технічної нервової системи із зором. Таку базову навчену систему керування роботом у роботі [3] названо "технічним мозком".

З іншого боку, відомо асоціативну нейромережу СМАС, яка призначена для керування роботом-маніпулятором, а також може виконувати ідентифікацію та керування нелінійними динамічними об'єктами [10, 11]. При цьому, СМАС виконує такі функції, як запам'ятовування, відновлення та інтерполяцію багатьох змінних. Причому, нелінійне перетворення аргументів функції виконується в непрямому вигляді за алгоритмом обчислення адреси комірок асоціативної пам'яті, де зберігаються значення функції [10].

Разом з тим, в останні роки знаходять застосування розробки нейроструктур, що зорієнтовані на реалізацію на перспективній елементній базі – ПЛІС. Так, у роботах [4, 12, 13] наведено приклади багатофункціональних елементів нейроструктур на базі нового методу оброблення векторних масивів даних, що забезпечує використання одновимірних систолічних структур, які конструктивно реалізуються на ПЛІС.

Інтелектуальні системи захисту інформації

Для інтелектуальних систем цього напрямку показовою є робота [14], в якій запропоновано використання групи нейромережних детекторів (класифікаторів) для виявлення комп'ютерних атак. Більш докладно в роботах [15, 16] розглянуто програмно-апаратні аспекти інтелектуальних систем захисту інформації. В роботі [16] показано місце задачі розпізнавання заданого набору рядків-сигнатур в інформаційному потоці стосовно захисту інформації, що реалізуються у системах виявлення вторгнень. А також обґрунтовано перспективи апаратної реалізації на ПЛІС компонентів засобів розпізнавання сигнатур у потоці даних з точки зору задач інформаційної безпеки, а саме, виявлення вторгнень, антивірусного захисту, боротьби зі спамом.

До задач інформаційного захисту в розподілених комп'ютерних системах і мережах дуже близькі задачі термінального розподілення ресурсів та багатозначної класифікації користувачів Соціального Web за інтересами. Так, в роботі [17] наведено нейромережну технологію диспетчеризації з використанням нейромережного класифікатора, здатної підвищити ефективність розподіленого оброблення даних при різних інформаційних ситуаціях в інформаційно-керуючих системах. В результаті досягається підвищення оперативності диспетчерських рішень, а отже, високої термінальної готовності системи.

Для автоматичної багатозначної класифікації користувачів Соціального Web [18] можуть бути використані два підходи: наївна байєсовська класифікація у разі подання моделі користувача послідовністю значень характеристик або машина опорних векторів (нейромережний підхід), якщо розглядати модель користувача як вектор ваг окремих характеристик.

Перспективним напрямком використання штучних нейронних мереж в кібербезпеці є системи виявлення та попередження кібератак, які з високою точністю дозволяють здійснювати як тестування на проникнення програмного додатку, так і попереджувати про можливі атаки [19].

Одним із основних інструментів забезпечення надійного стану інформаційної безпеки є криптографія, яка забезпечується рядом класичних методів та алгоритмів шифрування [20]. Проте останнім часом проводиться все більше криптографічних досліджень у нейромережевому логічному базисі [21]. Перспективними напрямками використання нейронних мереж є шифрування, стеганографія, автентифікація, факторизація [22]. Завдяки своїй апроксимативній здатності нейронній мережі також успішно себе зарекомендували в крипто- та стеганоаналізі [23].

Висновок

Наведені приклади застосування нейротехнологій в робототехніці та інтелектуальних системах захисту та розподілення даних і класифікації користувачів у комп'ютерних системах і мережах підтверджують поширене використання нейротехнологій і перспективу апаратної реалізації нейроструктур на новітній елементній базі, зокрема на ПЛІС.

Література

1. Джонс М.Т. Программирование искусственного интеллекта в приложениях / М.Т. Джонс ; пер. с англ.– М. : ДМК Пресс, 2004.– 312 с. – ISBN 5-94074-275-0.
2. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / С. Осовский ; пер. с польск.

- И.Д. Рудинского. – М. : Финансы и статистика, 2004. – 344 с. – ISBN 5-279-02567-4.
3. Буков А.А. Технические нервные системы. Обучаемые системы управления со зрением для промышленных роботов / А.А. Буков. – Липецк : Изд-во Липецк. гос. техн. ун-та, 2001. – 223 с.
4. Васюра А.С. Методи та засоби нейроподібної обробки даних для систем керування / А.С. Васюра, Т.Б. Мартинюк, Л.М. Куперштейн. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 175 с. – ISBN 978-966-641-279-2.
5. Гаврилов А.В. Архитектура гибридной интеллектуальной системы управления мобильного робота / А.В. Гаврилов, В.В. Губарев, К.Х. Джо, Х.Х. Ли // Вестник Новосибирского ГТУ. – 2004. – № 2. – С. 3–13.
6. Федчук Д.О. Аналіз властивостей інтелектуальних компонентів та перспектив їх використання в системах керування мобільними роботами / Д.О. Федчук, С.О. Андреев, Є.А. Казначеев // Інтелектуальні технології в системному програмуванні : II Всеукр. наук.-практ. конф. молодих вчених та студентів, 18-19 квітня 2013 р. : зб. наук. праць. – Хмельницький : Тріада-М, 2013. – С. 76-77. – ISBN 978-966-59805-9-7
7. Кадомский К.К. Концептуальная модель системы управления мобильным роботом / К.К. Кадомский, А.А. Каргин // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія : міжнар. наук.-практ. конф., 19-21 травня 2010 р. : тези доп. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – С. 337-338. – ISBN 978-966-641-356-0.
8. Даринцев О.В. Интеллектуальное планирование траекторий для группы роботов на базе рекуррентной нейронной сети / О.В. Даринцев, А.Б. Мигранов, Б.С. Юдинцев // Искусственный интеллект. Интеллектуальные системы (ИИ-2010) : междунар. науч.-техн. конф., 20–24 сентября 2010 г. : материалы. Т. 2. – Донецк : ИПИИ "Наука і освіта", 2010. – С. 223–227. – ISBN 978-966-7829-45-2.
9. Прукс В.Э. Система управления мобильного робота на основе технической нервной системы со зрением / В.Э. Прукс, А.Э. Прукс // Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи) : I Міжнар. наук.-техн. конф., 10-13 травня 2011 р. : матеріали. – Черкаси : Маклаут, 2011. – С. 229. – ISBN 978-966-2200-11-9.
10. Аверьян Э.Д. Ассоциативная нейронная сеть СМАС. Ч. 1. Структура, объём памяти, обучение и базисные функции / Э.Д. Аверьян // Информационные технологии. – 1997. – № 5. – С. 6–14.
11. Аверьян Э.Д. Ассоциативная нейронная сеть СМАС. Ч. 2. Процессы обучения, ускоренное обучение, влияние помех, устранение влияния помех в двухслойной сети / Э.Д. Аверьян // Информационные технологии. – 1997. – № 6. – С. 17–25.
12. Мартинюк Т.Б. Адаптивный суматор для систем керування роботом / Т.Б. Мартинюк, А.В. Кожем'яко, Н.В. Фофанова, О.М. Наконечний // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2005. – № 2(10). – С. 96–101. – ISSN 1681-7983.
13. Martyniuk T., Kozhemiako A., Buda A., Kupershtein L. The model of multifunctional neural element of intelligent systems. Education-Technology-Computer Science, Main Problems of informatics and information education, Scientific Annual. Rzeszow. 2013. 4, part 2, pp. 366–371.
14. Комар М.П. Інформаційна модель процесу виявлення комп'ютерних атак на основі нейромережових класифікаторів / М.П. Комар // Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи) : I Міжнар. наук.-техн. конф., 10-13 травня 2011 р. : матеріали. – Черкаси : Маклаут, 2011. – С. 179-180. – ISBN 978-966-2200-11-9.
15. Гильгурт С.Я. Программно-аппаратная защита данных в распределённых интеллектуальных системах / С.Я. Гильгурт, А.К. Гиранова // Искусственный интеллект. – 2010. – № 3. – С. 706-711. – ISSN 1561-5359.
16. Гильгурт С.Я. Аппаратное распознавание строк в интеллектуальных системах защиты информации / С.Я. Гильгурт // Искусственный интеллект. Интеллектуальные системы (ИИ-2010) : междунар. науч.-техн. конф., 20-24 сентября 2010 г. : материалы. Т. 2. – Донецк : ИПИИ "Наука і освіта", 2010. – С. 271–274. – ISBN 978-966-7829-45-2.
17. Скатков А.В. Терминальное распределение ресурсов в критических информационных системах при использовании нейросетевых технологий / А.В. Скатков, Д.Ю. Воронин // Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи) : I Міжнар. наук.-техн. конф., 10-13 травня 2011 р. : матеріали. – Черкаси : Маклаут, 2011. – С. 242-243. – ISBN 978-966-2200-11-9.
18. Ночевнов Д.П. Многозначная классификация пользователей Социального Web по интересам / Д.П. Ночевнов // Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи) : I Міжнар. наук.-техн. конф., 10-13 травня 2011 р. : матеріали. – Черкаси : Маклаут, 2011. – С. 353-354. – ISBN 978-966-2200-11-9.
19. Kupershtein L.M., Martyniuk T.B., Voitovych O.P., Kulchytskyi B.V., Kozhemiako A.V., Sawicki D., Kalimoldayev M. DDoS-attack detection using artificial neural networks in Matlab. Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments, 2019. Vol. 11176, p. 1117.
20. Лужецкий В. А. Основи інформаційної безпеки : навчальний посібник [рекомендований МОН] / В.А. Лужецкий, О.П. Войтович, В.Д. Кожухівський. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 246 с.
21. Червяков Н. И. Применение искусственных нейронных сетей и системы остаточных классов в криптографии / И.Н. Червяков, А.А. Евдокимов, А.И. Галушкин, И.Н. Лавриенко, А.В. Лавриенко. – М. : Физматлит, 2012. – 279 с. – ISBN 978-5-9221-1386-1.
22. Куперштейн Л.М. Аналіз тенденцій розвитку нейрокриптографії / Л.М. Куперштейн, А.Є. Татарчук // XLVIII наук.-техн. конф. підрозділів ВНТУ, 13-15 березня 2019 р. : матеріали. – Вінниця :

ВНТУ, 2019.

23. Куперштейн Л.М. Дослідження можливості використання нейронних мереж для стегааналізу зображень / Л.М. Куперштейн, А.Г. Буда, В.В. Лукічов, Б.С. Крименюк // Оптоелектронні інформаційні технології «Фотоніка ОДС - 2018»: VIII Міжнар. наук.-техн. конф., 2-4 жовтня 2018 р. : матеріали. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – С. 61.

References

1. Dzhons M.T. Programmirovanie iskusstvennogo intellekta v prilozheniyah / M.T. Dzhons ; per. s angl. – M. : DMK Press, 2004. – 312 s. – ISBN 5-94074-275-0.
2. Osovskij S. Nejrornyie seti dlya obrabotki informacii / S. Osovskij ; per. s polsk. I.D. Rudinskogo. – M. : Finansy i statistika, 2004. – 344 s. – ISBN 5-279-02567-4.
3. Bukov A.A. Tehnicheskie nervnye sistemy. Obuchaemye sistemy upravleniya so zreniem dlya promyshlennykh robotov / A.A. Bukov. – Lipeck : Izd-vo Lipeck.
4. Vasiura A.S. Metody ta zasoby neiropodibnoi obrobky danykh dlia system keruvannia / A.S. Vasiura, T.B. Martyniuk, L.M. Kupershtein. – Vinnytsia : UNIVERSUM-Vinnytsia, 2008. – 175 s. – ISBN 978-966-641-279-2.
5. Gavrilov A.V. Arhitektura gibridnoj intellektualnoj sistemy upravleniya mobilnogo robota / A.V. Gavrilov, V.V. Gubarev, K.H. Dzhо, H.H. Li // Vestnik Novosibirskogo GTU. – 2004. – № 2. – S. 3–13.
6. Fedchuk D.O. Analiz vlastyivostei intellektualnykh komponentiv ta perspektiv yikh vykorystannia v systemakh keruvannia mobilnymy robotamy / D.O. Fedchuk, S.O. Andrieiev, Ye.A. Kaznacheiev // Intellektualni tekhnologii v systemnomu prohramuvanni : II Vseukr. nauk.-prakt. konf. molodykh vchenykh ta studentiv, 18-19 kvitnia 2013 r. : zb. nauk. prats. – Khmelnytskyi : Triada-M, 2013. – S. 76-77. – ISBN 978-966-59805-9-7
7. Kadomskij K.K. Konceptualnaya model sistemy upravleniya mobilnym robotom / K.K. Kadomskiy, A.A. Karhyn // Informatsiini tekhnologii ta kompiuterna inzheneriia : mizhnar. nauk.-prakt. konf., 19-21 travnia 2010 r. : tezy dop. – Vinnytsia : VNTU, 2010. – S. 337-338. – ISBN 978-966-641-356-0.
8. Darincev O.V. Intellektualnoe planirovanie traektorij dlya grupy robotov na baze rekurrentnoj nejrornoj seti / O.V. Darincev, A.B. Migranov, B.S. Yudincev // Iskusstvennyj intellekt. Intellektualnye sistemy (II-2010) : mezhdunar. nauch.-tehn. konf., 20–24 sentyabrya 2010 g. : materialy. T. 2. – Doneck : IPII "Nauka i osvita", 2010. – S. 223–227. – ISBN 978-966-7829-45-2.
9. Pruks V.E. Sistema upravleniya mobilnogo robota na osnove tehnichejskoj nervnoj sistemy so zreniem / V.E. Pruks, A.E. Pruks // Obchysliualnyi intellekt (rezultaty, problemy, perspektivy) : I Mizhnar. nauk.-tehn. konf., 10-13 travnia 2011 r. : materialy. – Cherkasy : Maklout, 2011. – S. 229. – ISBN 978-966-2200-11-9.
10. Averyan E.D. Associativnaya nejronnaya set SMAS. Ch. 1. Struktura, obyom pamyati, obuchenie i bazisnye funkcii / E.D. Averyan // Informacionnye tekhnologii. – 1997. – № 5. – S. 6–14.
11. Averyan E.D. Associativnaya nejronnaya set SMAS. Ch. 2. Processy obucheniya, uskorennoe obuchenie, vliyanie pomeh, ustranenie vliyaniya pomeh v dvuhslojnoj seti / E.D. Averyan // Informacionnye tekhnologii. – 1997. – № 6. – S. 17–25.
12. Martyniuk T.B. Adaptivnyi sumator dlia system keruvannia robotom / T.B. Martyniuk, A.V. Kozhemiako, N.V. Fofanova, O.M. Nakonechnyi // Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnologii. – 2005. – № 2(10). – S. 96–101. – ISSN 1681-7983.
13. Martyniuk T., Kozhemiako A., Buda A., Kupershtein L. The model of multifunctional neural element of intelligent systems. Education-Technology-Computer Science, Main Problems of informatics and information education, Scientific Annual. Rzeszow. 2013. 4, part 2, pp. 366–371.
14. Komar M.P. Informatsiina model protsessu vyiavlennia kompiuternykh atak na osnovi neiomerezhevykh klasyfikatoriv / M.P. Komar // Obchysliualnyi intellekt (rezultaty, problemy, perspektivy) : I Mizhnar. nauk.-tehn. konf., 10-13 travnia 2011 r. : materialy. – Cherkasy : Maklout, 2011. – S. 179-180. – ISBN 978-966-2200-11-9.
15. Hylhurt S.Ia. Prohrammno-apparatnaia zashchita dannykh v raspredelennykh yntellektualnykh systemakh / S.Ia. Hylhurt, A.K. Hyranova // Iskusstvennyj intellekt. – 2010. – № 3. – S. 706-711. – ISSN 1561-5359.
16. Gilgurt S.Ya. Apparatoe raspoznavanie strok v intellektualnykh sistemah zashity informacii / S.Ya. Gilgurt // Iskusstvennyj intellekt. Intellektualnye sistemy (II-2010) : mezhdunar. nauch.-tehn. konf., 20-24 sentyabrya 2010 g. : materialy. T. 2. – Doneck : IPII "Nauka i osvita", 2010. – S. 271–274. – ISBN 978-966-7829-45-2.
17. Skatkov A.V. Terminalnoe raspredelenie resursov v kriticheskikh informacionnykh sistemah pri ispolzovanii nejrosetevykh tekhnologij / A.V. Skatkov, D.Yu. Voronin // Obchysliualnyi intellekt (rezultaty, problemy, perspektivy) : I Mizhnar. nauk.-tehn. konf., 10-13 travnia 2011 r. : materialy. – Cherkasy : Maklout, 2011. – S. 242-243. – ISBN 978-966-2200-11-9.
18. Nochevnov D.P. Mnogoznachnaya klassifikaciya polzovatelej Socialnogo Web po interesam / D.P. Nochevnov / D.P. Nochevnov // Obchysliualnyi intellekt (rezultaty, problemy, perspektivy) : I Mizhnar. nauk.-tehn. konf., 10-13 travnia 2011 r. : materialy. – Cherkasy : Maklout, 2011. – S. 353-354. – ISBN 978-966-2200-11-9.
19. Kupershtein L.M., Martyniuk T.B., Voitovych O.P., Kulchyskyi B.V., Kozhemiako A. V., Sawicki D., Kalimoldayev M. DDoS-attack detection using artificial neural networks in Matlab. Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments, 2019. Vol. 11176, p. 1117.
20. Luzhetskyi V. A. Osnovy informatsiinoi bezpeky : navchalnyi posibnyk [rekomentovanyi MON] / V.A. Luzhetskyi, O.P. Voitovych, V.D. Kozhukhivskiy. – Vinnytsia : VNTU, 2013. – 246 s.
21. Chervyakov N. I. Primenenie iskusstvennykh nejrornykh setej i sistemy ostatocnykh klassov v kriptografii / I.N. Chervyakov, A.A. Evdokimov, A.I. Galushkin, I.N. Lavrienko, A.V. Lavrienko. – M. : Fizmatlit, 2012. – 279 s. – ISBN 978-5-9221-1386-1.
22. Kupershtein L.M. Analiz tendentsii rozvytku neirokryptohrafii / L.M. Kupershtein, A.Ie. Tatarchuk // XLVIII nauk.-tehn. konf. pidrozdiliv VNTU, 13-15 bereznia 2019 r. : materialy. – Vinnytsia : VNTU, 2019.
23. Kupershtein L.M. Doslidzhennia mozhyvosti vykorystannia neironnykh merezh dlia stehoanalizu zobrazhen / L.M. Kupershtein, A.H. Buda, V.V. Lukichov, B.S. Krymeniuk // Optoelektronni informatsiini tekhnologii «Fotonika ODS - 2018»: VIII Mizhnar. nauk.-tehn. konf., 2-4 zhovtnia 2018 r. : materialy. – Vinnytsia : VNTU, 2018. – S. 61.

Рецензія/Peer review : 22.1.2020 р.

Надрукована/Printed : 24.1.2020 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

I. A. МАРТИРОСЯН, О. В. БОЧАРОВА

Одеська національна академія харчових технологій

О. В. ПАХОЛЮК

Луцький національний технічний університет

ВПЛИВ НОВОЇ ТІОСУЛЬФОНАТНОЇ АНТИМІКРОБНОЇ ОБРОБКИ НА СТІЙКІСТЬ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Проблема захисту текстильних матеріалів і виробів від мікробіологічної деструкції складна та багатогранна і її успішне вирішення вимагає скоординованих і цілеспрямованих зусиль фахівців різного профілю. Особливо актуальним є пошук ефективних шляхів захисту від мікробіологічної деструкції текстильних матеріалів і виробів, які мають у своєму складі найбільш чутливі до дії мікроорганізмів целюлозні волокна. Ця проблема об'єднує декілька основних аспектів, а саме: виявлення основних фізіологічних груп, родів і видів мікроорганізмів, які переважають у процесах мікробіологічної деструкції текстильних матеріалів і виробів різного волокнистого складу; вивчення механізмів біодеструкції текстильних матеріалів і виробів різного волокнистого складу волокноруйнуючими мікроорганізмами; пошук ефективних засобів захисту текстильних матеріалів одягового, інтер'єрного, медичного та технічного призначення від волокноруйнуючих мікроорганізмів; широке використання сучасних хімічних, біологічних та нанотехнологій для ефективного захисту людини та навколишнього середовища від шкідливого впливу деяких фізіологічних груп, родів і видів мікроорганізмів. Метою роботи було вивчення впливу нових малотоксичних біоцидних препаратів на стійкість фарбування текстильних матеріалів під дією різних фізичних та хімічних факторів. У ході досліджень розроблено спосіб та технологію надання антимікробних властивостей текстильним матеріалам для виробництва спецодягу, зокрема просочення текстильних матеріалів в спиртовому розчині біоцидних препаратів. В якості зразків були відібрані тканини різного хімічного складу, які призначені для виготовлення спецодягу.

Ключові слова: тіосульфонатні препарати, антимікробна обробка, текстильні матеріали, стійкість забарвлення.

I.A. MARTIROSYAN, O.V. BOCHAROVA

Odessa National Academy of Food Technologies

O.V. PAKHOLIUK

Lutsk National Technical University

INFLUENCE OF NEW THIOSULPHONATE ANTIMICROBIC PROCESSING ON THE RESISTANCE OF TEXTILE MATERIALS

The problem of protection of textile materials and products from microbiological degradation is complex and multifaceted and its successful solution requires coordinated and focused efforts of specialists of various profiles. Especially important is the search for effective ways of protection against the microbiological destruction of textile materials and products that have the most sensitive to the action of microorganisms cellulose fibers. There are several basic aspects to this problem, namely: identification of the main physiological groups, genera and species of microorganisms that prevail in the processes of microbiological destruction of textile materials and products of various fibrous composition; study of mechanisms of biodegradation of textile materials and products of different fibrous composition by fiber-destructive microorganisms; search for effective means of protection of textile materials of clothing, interior, medical and technical purpose against the fiber of destructive microorganisms; widespread use of modern chemical, biological and nanotechnologies for the effective protection of humans and the environment from the harmful effects of certain physiological groups, genera and species of microorganisms. The aim of the work was to study the impact of new low-toxic biocidal drugs on the stability of coloring of textile materials to the effect of various physical and chemical factors. In the research, the method and technology of providing biocidal properties to textile materials for the production of overalls, in particular, impregnation of textile materials in alcoholic solution of biocidal preparations, was developed. As samples were selected fabrics of different chemical composition, which are intended for the manufacture of overalls.

Keywords: thiosulphonate preparations, antimicrobial treatment, textile materials, colour fastness.

Постановка проблеми у загальному вигляді

Зносостійкість тканин характеризується їх здатністю протистояти руйнівним факторам. У процесі використання швейних виробів на них діють світло, сонце, волога, розтягнення, стиснення, кручення, тертя, піт, прання, хімчистка, знижені і підвищені температури та ін. В результаті дії всіх цих факторів відбувається зміна структури матеріалів з поступовою втратою міцності аж до руйнування.

Інтенсивність зносу виробів залежить від волокнистого складу швейних матеріалів, їх будови, обробки і умов експлуатації. Проте, умови виробництва і експлуатації натуральних текстильних матеріалів технічного призначення передбачають контакт з мікроорганізмами, інколи в умовах підвищеної вологості та температури повітря, тому виникає небезпека їх біопшкодження. Прояв надмірного росту мікроорганізмів на текстильних виробках різноманітний і небажаний, тому що супроводжується утворенням неприємного запаху, з появою пліснявих грибів – зміною забарвлення, і може призвести до погіршення фізико-механічних властивостей текстильного матеріалу, наприклад еластичності та міцності.

Для запобігання розвитку мікроорганізмів текстильні матеріали піддаються антимікробному обробленню, у результаті чого, ріст мікроорганізмів надійно і надовго затримується, текстильні матеріали зберігають свій зовнішній вигляд і споживні властивості, стають не тільки безпечними, але й можуть виконувати захисні функції для людини.

Окрім зазначених екологічних та гігієнічних ефектів, у результаті антимікробної обробки текстильних матеріалів, досягається певний економічний ефект, оскільки внаслідок такої обробки терміни експлуатації виробів продовжуються на 10–15 %. Тому антимікробну обробку текстильного матеріалу одягового призначення можна вважати як поліфункціональну [1–4], оскільки вона дає можливість не тільки забезпечити ефективний захист текстильних матеріалів і виробів різного цільового призначення від мікробіологічної деструкції, але й суттєво підвищити гігієнічність виробів за рахунок усунення на них неприємного запаху, обумовленого наявністю продуктів життєдіяльності бактерій.

Для захисту текстильних матеріалів і виробів різного цільового призначення та волокнистого складу від негативної дії волоконруйнуючих і патогенних мікроорганізмів можуть використовуватись різні за хімічною будовою універсальні та спеціалізовані типи антимікробних препаратів. Аналізуючи властивості деяких біоцидних препаратів, можна зробити висновок, що всім їм притаманні певні недоліки:

- недостатня стійкість антимікробного ефекту до мокрих обробок;
- низька ефективність, токсичність та небезпечність для людини та навколишнього середовища;
- низька атмосферостійкість та незначна тривалість дії;
- висока собівартість та швидка адаптація мікроорганізмів до дії біоцидних речовин [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Слід зазначити, що в останні роки питання надання антимікробних властивостей текстильним матеріалам викликає науково-практичний інтерес як вітчизняних, так і зарубіжних науковців.

Авторами роботи [5] обґрунтована доцільність використання тіосульфатних препаратів не тільки для захисту від пошкоджень фітопатогенними мікроорганізмами, але й від волоконруйнуючих мікроорганізмів текстилю, враховуючи широкий спектр антимікробної дії названих речовин. Встановлено, що препарати ЕТС, МТС та АТС тіосульфатної структури відповідають сучасним вимогам антимікробних препаратів текстильного призначення можуть бути рекомендовані для ефективного захисту від мікробіологічних пошкоджень целюлозовмісних текстильних матеріалів.

В роботі [6] вивчено доцільність сучасного використання традиційних біоцидів та поліфункціональних препаратів. Розкрита роль біоцидної обробки текстильних матеріалів у визначенні термінів їх зношування. Сформульована концепція формування заданої зносостійкості та формостійкості текстильних матеріалів, модифікованих антимікробних препаратів різної хімічної будови.

В роботі [7] розкрита роль основних способів оброблення текстильних матеріалів у формуванні їх зносостійкості, формостійкості, гігієнічності та екологічної безпечності. Запропоновано алгоритм формування асортименту, рівня якості та безпечності екотекстилю. Значна увага приділена пошуку нових ефективних способів захисту текстилю від мікробіологічної деструкції.

В роботі [8] проведений огляд застосування останніх органічних антимікробних реагентів в обробці целюлозних тканин. Органічні реагенти підрозділяються на дві основні категорії: природні (хітозан, циклодекстрини і натуральні барвники) і синтетичні (четвертинні амонієві солі, триклозан, галогеновані феноли й металоорганічні каркаси). Представлена взаємодія між целюлозою і такими реагентами, механізми біологічної дії і чинники, що впливають на біоцидну дію.

Авторами роботи [9] кількісно досліджено виживаність 60 штамів бактерій із множинною лікарською стійкістю з чотирьох видів (*Klebsiella pneumoniae*, *Acinetobacter baumannii*, *Staphylococcus aureus* і *Enterococcus faecium*) на необробленому бавовняному текстилі в клінічно значущих інкубаційних періодах. Також встановлена антибактеріальна ефективність текстильних виробів, оброблених рідиною Sanitized T99-19, що містить четвертинний амонієве з'єднання (QAC).

Авторами [10] досліджено антибактеріальну активність золь-гель-похідних неорганічних-органічних гібридних полімерів, наповнених наночастинками-хітозаном ZnO, проти грамнегативної бактерії *Escherichia coli* і грампозитивних *Micrococcus luteus*. В ході таких випробувань також встановлено, що антибактеріальна активність текстилю, обробленого наночастинками ZnO хітозану, зростає зі зменшенням молекулярної маси хітозану.

Формулювання цілей статті

Пошук ефективних, нетоксичних біоцидних препаратів та надання антимікробних властивостей тканинам, які застосовуються в умовах підвищеної вологості, є актуальним завданням щодо запобігання розвитку або зменшенню росту бактерій, забезпечення належного рівня санітарії та гігієни і високого рівня зносостійкості досліджуваних текстильних матеріалів і обумовлений низкою причин. Назвемо основні з них:

- високий рівень мікробіологічного руйнування багатьох видів текстильних матеріалів і виробів (особливо це стосується текстильних одягових, інтер'єрних і технічних матеріалів і виробів, експлуатація яких відбувається при високій відносній вологості та температурі повітря, а також при контакті з ґрунтом);
- невід'ємною складовою мікробіологічної деструкції одягових і інших текстильних матеріалів при їх зношуванні є тривала дія світлопогоди, мокрих обробок, хімічних реагентів;
- значний вплив мікробіологічної деструкції багатьох видів текстильних матеріалів і виробів на терміни їх експлуатації (особливо це стосується різних видів професійного та спеціального одягу з регламентованими термінами експлуатації).

На основі аналізу літературних джерел та наших досліджень, в даній роботі ми обмежимося дослідженням тільки одного з аспектів цього багатопланового завдання, а саме: визначення можливості надання бавовняним текстильним матеріалам антимікробних властивостей з застосуванням етилового,

алілового та метилового біоцидів та вивчимо вплив нових малотоксичних біоцидних препаратів на стійкість забарвлення до дії різних фізико-хімічних чинників, таких як прання, поту, дистильованої води, прасування із запарюванням, сухого та мокрого тертя і світла.

Виклад основного матеріалу дослідження

Узагальнюючи результати аналізу асортименту ринку текстильних матеріалів для виготовлення спецодягу в Україні, відмічаємо, що волокна з антимікробними властивостями не виготовляється, а біоцидні препарати, призначені для текстилю, власного виробництва практично відсутні. Вищезазначене аргументує актуальність та доцільність розробки та дослідження нових малотоксичних біоцидів для застосування у вітчизняному текстильному виробництві з метою захисту текстильних матеріалів від мікробіологічних руйнувань.

У зв'язку з цим, нами були обрані нові біоцидні препарати тіосульфатної структури, які проявляють широкий спектр антимікробної дії і є нетоксичними, а саме етилтіосульфанілат (ЕТС), алілтіосульфанілат (АТС) та метилтіосульфанілат (МТС) [11].

З метою підвищення зносостійкості та надання антимікробних властивостей текстильним матеріалам нами вперше обрані та застосовані названі біоциди, аналогів яких не існує на ринку України та за її межами. Ці біоциди синтезовані на кафедрі технології біологічно активних сполук, фармації та біотехнології Національного університету "Львівська політехніка".

Аналіз структури асортименту тканин на ринку України показав, що переважну більшість займають целюлозовмісні тканини. Тому для проведення дослідження нами було обрано 3 зразки текстильних матеріалів, які представлені у табл. 1.

Таблиця 1

Характеристика досліджуваних текстильних матеріалів

Номер зразка тканини	Волокнистий склад	Вміст волокон, %	Поверхнева густина, г/м ²	Вид переплетення	Марка барвника
1	бавовняна	100	245	саржеве	Прямий оранжевий Indosol
2	бавовняно-поліефірна	50 50	245	саржеве	Дисперсний «Foron» RD-SN
3	бавовняно-поліефірна	35 65	220	саржеве	Оптичний відбілювач CBS-X (OBA 351)

Антимікробна обробка досліджуваних зразків текстильних матеріалів проведено в Аналітично-дослідній випробувальній лабораторії «Текстиль-ТЕСТ», м. Київ, (Київський національний університет технологій і дизайну). Зразки тканин просочували приготуваними спиртово-водними (60% / 40%) розчинами біоцидних препаратів концентрацією 0,5% при кімнатній температурі (18–20°C) і відносній вологості повітря 63–65%, протягом 1-2 хв. Потім зразки віджимались до відповідної вологості на плюсовці і висувувались за температури 50–75°C протягом 5–7 хв, до залишкової вологи 6–8%, враховуючи рекомендації розробників.

Стійкість забарвлення до прання, поту, дистильованої води, прасування із запарюванням, тертя та світла, визначали за зміною початкового забарвлення зразків, а також ступенем зафарбовування білих матеріалів, за допомогою двох шкал сірих еталонів, в балах. Стійкість забарвлення до прасування оцінювали за ступенем зафарбовування суміжної бавовняної тканини. Результати досліджень оброблених бавовняних та бавовняно-поліефірних тканин наведені в табл. 2-3.

З аналізу даних таблиці 2 видно, що найменше зношуванню піддається бавовняно-поліефірна тканина з високим вмістом поліефірного волокна, тобто стійкість забарвлення цього текстильного матеріалу найвища. Це можна пояснити хімічною будовою бавовняно-поліефірної тканини, та домінуючим впливом поліефірного волокна у текстильному матеріалі, на формування споживних властивостей.

Оброблення досліджуваних текстильних матеріалів біоцидними препаратами суттєво не погіршує стійкість забарвлення до дії прання, поту, дистильованої води, прасування із запарюванням. Отримані в результаті антимікробного оброблення бавовняні та бавовняно-поліефірні тканини характеризуються задовільною стійкістю до різних видів обробки. При цьому оброблення етилтіосульфанілатом ЕТС виявилось більш ефективним, ніж оброблення аліловим та метиловим біоцидом.

Також необхідно відмітити, що обробка досліджуваних тканин біоцидними препаратами не знижує, а навпаки, підвищує стійкість забарвлення до прання, поту, дистильованої води, прасування. Більш наглядно ці зміни помітні на чисто бавовняній тканині. Так, показник стійкості до прання, без обробки, на бавовняній тканині отримав 3/2 бали, а після оброблення досліджуваними препаратами – 4/3. Подібна ситуація зберігається на бавовняній тканині, обробленій ЕТС, аліловим та метиловим біоцидом, при дослідженні стійкості до поту та дистильованої води.

Таблиця 2

Стійкість забарвлення досліджуваних тканин до прання, поту, води, прасування									
№ варіанту	Обробний препарат	Показники стійкості забарвлення тканини, бали, до дії							
		без обробки	Прання №1	без обробки	поту	без обробки	дистильованої води	без обробки	прасування з запарюванням
бавовняна тканина, 100 %									
1	ЕТС	3/2	4/3	3/2	4/4	3/2	4/4	4	4-5
	АТС		4/3		4/3		3-4/3		4-5
	МТС		4/3		4/3		4/3		4-5
бавовняно-поліефірна, 50×50 %									
2	ЕТС	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4	4-5
	АТС		4/4		4/4		4-5/4-5		4-5
	МТС		4/4-5		4/4		4/4		4-5
бавовняно-поліефірна, 35×65 %									
3	ЕТС	4-5/4-5	5	4-5/4	5	4-5/4-5	5	5	5
	АТС		5		4		5		5
	МТС		4		5		5		5

Зношення текстильних матеріалів від стирання супроводжується зменшенням маси тканини в результаті відщеплення і випадання дрібних частинок волокон і ниток. Руйнування тканин через тертя починається зі стирання ниток, які виступають на поверхні тканини, що утворюють її опорну поверхню. Тому стійкість тканини до стирання істотно залежить від структури поверхні тканини, будови волокон і ниток, обробки тканини.

Таблиця 3

Стійкість забарвлення досліджуваних тканин до сухого і вологого тертя, світла							
№ варіанту	Обробний препарат	Показники стійкості забарвлення тканини, бали, до дії					
		без обробки	сухого тертя	без обробки	вологого тертя	без обробки	світла
бавовняна тканина, 100 %							
1	ЕТС	4	4	2	3	3	2
	АТС		4		3		2
	МТС		4		3		2
бавовняно-поліефірна, 50×50 %							
2	ЕТС	4	4	3	3	5	4
	АТС		5		4		5
	МТС		5		4		4
бавовняно-поліефірна, 35×65 %							
3	ЕТС	5	5	4	4	5	5
	АТС		5		4		5
	МТС		5		4		4

Оцінюючи стійкість забарвлення досліджуваних тканин після оброблення біоцидними препаратами до тертя, встановлено, що кращі результати отримуємо при сухому терті, причому, обробка суттєво не впливає на стійкість забарвлення, а у випадку бавовняно-поліефірної тканини, навпаки, навіть її підвищує. Невисокі показники стійкості забарвлення до дії волого тертя пояснюються не високою стійкістю забарвлень до води. Необхідно відмітити низькі показники світлостійкості забарвлення чисто бавовняної тканини у порівнянні з рештою тканин, що пояснюється властивостями натуральних волокон.

Значне зниження стійкості бавовняної тканини до тертя до і після оброблення пояснюється різними причинами. Основними з них є: підвищення жорсткості і зменшення розтяжності текстильних матеріалів; зміна характеру стирання оброблених антимікробними препаратами тканин.

З аналізу даних табл. 2-3 видно, що стійкість забарвлення чисто бавовняної тканини до дії всіх чинників фізико-хімічного зношування дещо нижча у порівнянні з досліджуваними бавовняно-поліефірними тканинами, це обумовлено особливостями надмолекулярної структури бавовняних волокон.

Висновки

В результаті проведених досліджень встановлено ефективність біоцидного оброблення бавовняних та бавовняно-поліефірних текстильних матеріалів для виготовлення спецодягу до дії прання, поту, дистильованої води, прасування із запарюванням, вологого та сухого тертя та світла. Оцінюючи стійкість забарвлення після оброблення біоцидними препаратами досліджуваних тканин до вище перерахованих

чинників, встановлено, що кращі результати стійкості забарвлення отримуємо на бавовняно-поліефірних тканинах, причому, обробка, суттєво не впливає на стійкість забарвлення, а у випадку бавовняно-поліефірної тканини, навпаки, навіть її підвищує.

Література

1. Галик І.С. Пошук ефективних способів захисту текстилю від дії шкідливих мікроорганізмів / І.С. Галик, Б.Д. Семак, З.М. Семак // Вісник Львівської комерційної академії. – Львів, 2014.
2. Martirosyan I. Investigation on stability of textile materials for overalls processed by new biocidal preparation / I. Martirosyan, V. Lubenets, O. Peredriy // Technological Complexes. Scientific journal. – 2018. – № 1(15). – P. 53–59.
3. Пахолук О.В. Використання деяких поліфункціональних обробних препаратів для захисту текстильних целюлозовмісних матеріалів від мікробіологічних пошкоджень / О.В. Пахолук, Г.О. Пушкар, І.С. Галик, Б.Д. Семак // Вісник Хмельницького національного університету. – 2019. – № 1. – С. 100–104.
4. Пахолук О.В. Дослідження ефективності біоцидних речовин для оброблення одягових текстильних матеріалів спеціального призначення / О.В. Пахолук, В.І. Лубенець, І.А. Мартирисян // Товарознавчий вісник : збірник наукових праць Луцького НТУ. – 2018. – Випуск 11. – С. 100–108.
5. Мартирисян І.А. Вплив біоцидного оброблення целюлозовмісних текстильних матеріалів на зміну їх властивостей / І.А. Мартирисян, О.В. Пахолук, В.І. Лубенець // Вісник Хмельницького національного університету. – 2018. – № 6. – С. 94–99.
6. Martirosyan I. A. & Pakholiuk O. V. (2018). Environmental safety of new biocidal products International Multidisciplinary Conference «Science and Technology of the Present Time: Priority Development Directions of Ukraine and Poland» October 19–20, 2018 Wolomin, Republic of Poland, Volume 1, 69–71.
7. Семак Б.Д. Використання нанотехнологій у формуванні асортименту та якості текстилю / Б.Д. Семак, І.С. Галик // Вісник Хмельницького національного університету. – 2013. – № 4. – С. 108–113.
8. Emam H.E. (2019). Antimicrobial cellulosic textiles based on organic compounds. J 3 Biotech, 9 (1), 29–35. URL: <https://doi.org/10.1007/s13205-018-1562-y>
9. Hanczvikkel A., Vig A., & Toth A. (2019). Survival capability of healthcare-associated, multidrug-resistant bacteria on untreated and on antimicrobial textiles. Journal of Industrial Textiles, 48 (7), 1113–1135. URL: <https://doi.org/10.1177/1528083718754901>
10. Farouk A., Moussa S., Ulbricht M., Textor T. ZnO nanoparticles-chitosan composite as antibacterial finish for textiles. Int. J. Carbohydr. Chem. 2012, 693629.
11. Lubenets V. Development of new antimicrobial compositions of thiosulfonate structure / V. Lubenets, O. Karpenko, M. Ponomarenko // Chemistry and Chemical Technology. – 2013. – Vol. 7. № 2. – P. 119–124.

References

1. Halyk I.S. Posbuk efektyvnykh sposobiv zakhystu tekstyliu vid dii shkidlyvykh mikroorhanizmiv / I.S. Halyk, B.D. Semak, Z.M. Semak // Visnyk Lvivskoi komertsii noi akademii. – Lviv, 2014.
2. Martirosyan I. Investigation on stability of textile materials for overalls processed by new biocidal preparation / I. Martirosyan, V. Lubenets, O. Peredriy // Technological Complexes. Scientific journal. – 2018. – № 1(15). – R. 53–59.
3. Pakholiuk O.V. Vykorystannia deiakykh polifunktionalnykh obrobynykh preparativ dlia zakhystu tekstylnykh tselulozovmisnykh materialiv vid mikrobiolohichnykh poshkodzen / O.V. Pakholiuk, H.O. Pushkar, I.S. Halyk, B.D. Semak // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2019. – № 1. – S. 100–104.
4. Pakholiuk O.V. Doslidzhennia efektyvnosti biotsydneykh rechovyn dlia obroblennia odiahovykh tekstylnykh materialiv spetsialnoho pryznachennia / O.V. Pakholiuk, V.I. Lubenets, I.A. Martirosian // Tovaroznachnyi visnyk : zbirnyk naukovykh prats Lutskoho NTU. – 2018. – Vypusk 11. – S. 100–108.
5. Martirosian I.A. Vplyv biotsydnogo obroblennia tselulozovmisnykh tekstylnykh materialiv na zminu yikh vlastyvostei / I.A. Martirosian, O.V. Pakholiuk, V.I. Lubenets // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2018. – № 6. – S. 94–99.
6. Martirosyan I. A. & Pakholiuk O. V. (2018). Environmental safety of new biocidal products International Multidisciplinary Conference «Science and Technology of the Present Time: Priority Development Directions of Ukraine and Poland» October 19–20, 2018 Wolomin, Republic of Poland, Volume 1, 69–71.
7. Semak B.D. Vykorystannia nanotekhnolohii u formuvanni asortymentu ta yakosti tekstyliu / B.D. Semak, I.S. Halyk // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2013. – № 4. – S. 108–113.
8. Emam H.E. (2019). Antimicrobial cellulosic textiles based on organic compounds. J 3 Biotech, 9 (1), 29–35. URL: <https://doi.org/10.1007/s13205-018-1562-y>
9. Hanczvikkel A., Vig A., & Toth A. (2019). Survival capability of healthcare-associated, multidrug-resistant bacteria on untreated and on antimicrobial textiles. Journal of Industrial Textiles, 48 (7), 1113–1135. URL: <https://doi.org/10.1177/1528083718754901>
10. Farouk A., Moussa S., Ulbricht M., Textor T. ZnO nanoparticles-chitosan composite as antibacterial finish for textiles. Int. J. Carbohydr. Chem. 2012, 693629.
11. Lubenets V. Development of new antimicrobial compositions of thiosulfonate structure / V. Lubenets, O. Karpenko, M. Ponomarenko // Chemistry and Chemical Technology. – 2013. – Vol. 7. № 2. – P. 119–124.

Рецензія/Peer review : 6.1.2020 р. Надрукована/Printed : 14.2.2020 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Верхівкер Я.Г.

РОЗВИТОК ІНФОРМАЦІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ НАДБУДОВИ ІНФОРМАЦІЙНОГО СУСПІЛЬСТВА

В статті запропоновані і досліджуються в загальних рисах складові інформаційного середовища, зокрема, технологічного базису інформаційно-комунікаційних систем та основні процеси його вдосконалення для побудови інформаційного суспільства. Відстежується взаємодія користувач – Web-сервіс (інформаційні послуги, які надаються користувачам за допомогою Web-технологій).

Ключові слова: інформаційно-комунікаційна система, технологічний базис, Web-сервіс, інформаційна послуга, електронний бізнес.

Vitaliy Mikhalevskiy, Galyna Mikhalevska
Khmelnytskyi National University

DEVELOPMENT OF INFORMATION ENVIRONMENT FOR FORMATION INTELLECTUAL PROCESSING OF THE INFORMATION SOCIETY

In the article the components of technological basis of information and communication systems and the basic processes of its improvement are proposed and researched in general terms. The interaction between the user and Web service is monitored (information services, which are provided to users through Web technologies). Today, the evolution of the creation and formation of a multidimensional information communication environment is a determining factor for the innovative development and efficient functioning of all structures and social systems of the information society. Precisely by the communication sphere, that is transformed in the context of global information opportunities, the free access to knowledge, connections between people and communities, the accumulation, dissemination and enrichment of social experience are ensured. Today there is an active formation of a single global world economic, legal, information space to ensure the free and efficient business activity of all entities in the Internet. The world information space includes a system of services (services), the most important of which are: 1) Computing Services (Data / Computation Services) - means of placing data and their transportation between applications, access to computing and network resources; 2) Information Services - means of submission, processing, storage and access to information; 3) Knowledge Services - means of accumulation, submission, restoration, publication, search and processing of knowledge. Various institutional structures on the Internet create their own information models through the Website, creating certain information and economic spaces by means of intellectualized software (multiagent systems or software agents as agents of economic activity) in the global electronic environment or object-oriented software (site, portal, e-mail box, etc.). It is the Web server, a kind of business card of an enterprise that represents a set of interconnected Web pages, presents the company and its services. The homepage of the company website tells you about the history of the company, its profile, projects, products / services, business partnerships, etc., namely, general information about what the organization provides and what offers. This page often has links to portals (multifunctional sites) of e-markets or e-shops, which are the entry points to the global network of all participants of the business process, as well as a place for placing electronic catalogs of goods, services, transaction management, logistics processes, payments etc. Today, Web2 and Web3 technologies are replacing Web technologies. They are based on social networks, a collaborative effort to develop information resources. Corporate blogs, Wiki encyclopedias and others are based on these new technologies.

Keywords: information and communication system, technological basis, web-service, information service, e-business.

Постановка проблеми. Початок ХХІ століття став часом стрімких технологічних змін в інформаційно-комунікаційній сфері. В значній мірі сам ринок стимулює різні технологічні новинки й зміни, які є необхідною відповіддю на вимоги споживачів щодо передачі голосу, відео, інформації та користування інформаційними ресурсами. При цьому сама комунікаційна інфраструктура відходить на другий план, поступаючись домінуючою роллю різним сервісам, базам даних та інформаційним ресурсам, реалізованим на базі даної інфраструктури. По суті відбувається процес удосконалення технологічного базису інформаційно-комунікаційних систем, які, в свою чергу, формують та розвивають інтелектуальну надбудову інформаційного суспільства.

Нині еволюційність створення і формування багатоаспектного інформаційного комунікаційного середовища є визначальним чинником інноваційного розвитку й ефективного функціонування всіх структур та соціальних систем інформаційного суспільства. Саме через комунікаційну сферу, що трансформується за умов глобальних інформаційних можливостей, забезпечуються свобода доступу до знань, зв'язки між людьми і спільнотами, накопичення, поширення та збагачення соціального досвіду [1, 2, 4].

Формулювання цілей статті (Постановка завдання). Дослідити в загальних рисах складові технологічного базису інформаційно-комунікаційних систем та основні процеси його вдосконалення. Відстежити взаємодію користувач – Web-сервіс (інформаційні послуги, які надаються користувачам за допомогою Web-технологій).

Виклад основного матеріалу. Оцінка результатів руху до інформаційного суспільства, досягнутих на окремих етапах переходу до інформаційного суспільства, будеється на основі моніторингу розвитку інформаційного середовища за допомогою різних показників. Деякі із них носять оціночний характер, інші отримують у процесі обробки статистичних даних. Самі загальні показники співвідносяться з параметрами соціально-економічного розвитку (показники ВВП на душу населення, частка витрат на освіту в державному бюджеті, параметри сукупного платоспроможного попиту на інформаційні продукти та послуги, розміри інвестицій у високотехнологічні галузі, відсоток зайнятих у сфері оброблення інформації та інформаційно-

обчислювального обслуговування). Інша група показників характеризує розвиток безпосередньо технологічного базису інформаційного суспільства та його окремих складових. Наприклад, можуть використовуватися динаміка росту числа користувачів Інтернету, кількість україномовних сайтів в Інтернеті, ємність інформаційного ринку. Для цих же цілей слід використовувати статистичні дані щодо кількості і типів баз даних, щодо кількості діючих бібліотек, культурно-інформаційних та освітніх центрів, оснащених комп'ютерною технікою, кількості абонентів цих бібліотек та центрів, в тому числі у віддалених регіонах, кількості і типів каналів зв'язку, що використовуються, кількості і типів телекомунікаційних мереж і підключених до них терміналів по країні в цілому, регіонам, областям, організаціям і підприємствам, формам власності. Позитивна динаміка цих індикаторів за рік чи декілька років у середньому на 10–20% буде свідчити про постійний розвиток технологічного базису інформаційного середовища. Повинні бути також оцінені масштаби і глибина споживання інформаційних та комунікаційних технологій, інформаційних продуктів та послуг у різних сферах суспільного життя: у сфері праці і зайнятості, організації побуту і вільного часу. Взяті разом ці показники та індикатори будуть характеризувати послідовне просування країни по обраному шляху до інформаційного суспільства.

Процес формування і розвитку інформаційного суспільства в Україні має глобальний характер і неминуче входження нашої країни в інформаційну спільноту. Основну увагу слід приділяти реальним економічним, організаційним і правовим передумовам, які формуються в країні відносно руху України до інформаційного суспільства. В **техніко-технологічному плані** основну увагу слід зосередити на формуванні і розвитку інформаційно-комунікаційної інфраструктури суспільства, забезпеченні реалізації процесів створення, збереження, розповсюдження та використання інформації і забезпечення доступу до неї широких верств населення (національних та корпоративних інформаційних та телекомунікаційних мереж і систем, українських ланок світових відкритих мереж, мереж зв'язку; центрів обробки інформації різноманітного призначення тощо); удосконаленні і розвитку системи національних інформаційних ресурсів і технологій доступу до них (баз і банків даних, архівів, бібліотек); удосконаленні і розвитку обчислювальних ресурсів (домашні комп'ютери, системне і прикладне програмне забезпечення, система сервісного обслуговування тощо); удосконаленні і розвитку телекомунікаційних ресурсів (лінії і канали зв'язку всіх видів, комунікаційна техніка, комплекси передаючих систем і обладнань, комп'ютерний телефонний зв'язок); створенні і розвитку нових інформаційних, комп'ютерних і телекомунікаційних технологій, що забезпечують реалізацію процесу збирання, накопичення, передачі інформації, її цілісності, доступності і конфіденційності); удосконаленні і розвитку технічної бази і технологій засобів масової інформації (комп'ютерна техніка для електронних і друкованих видань, радіо і ТВ студій, приймально-передавальні обладнання тощо). До **політичного, соціально-економічного та соціально-культурного напрямку** входять наступні компоненти: формування і розвиток єдиного інформаційно-культурного простору як необхідної умови політичного і духовного об'єднання населення України і входження країни у світовий інформаційний простір як рівноправного партнера, розширення світової наукової і культурної співпраці; удосконалення і розвиток системи інформаційного законодавства і механізмів його реалізації; удосконалення і розвиток системи розповсюдження масової інформації і формування суспільно-політичного клімату у країні, сприятливого для переходу до інформаційного суспільства; удосконалення і розвиток системи забезпечення особистої і суспільної безпеки в інформаційній сфері, подолання загроз використання нових інформаційних технологій як зняряддя інформаційного тероризму та інформаційного криміналу; укріплення і розвиток економічного потенціалу процесів формування інформаційного суспільства (державна підтримка вітчизняних споживачів засобів інформатизації, інформаційних продуктів і послуг); комплекс заходів щодо економічного регулювання ринку інформаційних технологій продуктів і послуг, у тому числі у сфері податкової, кредитно-фінансової політики; формування розвинутих інформаційних потреб та інформаційної культури населення і стимулювання платоспроможного попиту на інформаційні продукти і послуги; державна підтримка виробників і споживачів інформаційних технологій, продуктів і послуг для соціально значущих програм (сфера праці і зайнятості, вищої і середньої освіти, дошкільної освіти, міграції населення, культури, побуту, вільного часу тощо); розвиток масової домашньої комп'ютеризації; державна підтримка систем масової підготовки і перепідготовки кадрів для роботи в інформаційних і комунікаційних системах нового покоління [3].

Національна політика розвитку інформаційного суспільства в Україні базується на засадах: пріоритетності національно-технічного та інноваційного розвитку держави; формування необхідних для цього законодавчих і сприятливих економічних умов; загальнодоступної інформаційної інфраструктури, інформаційних ресурсів та забезпечення повсюдного доступу до телекомунікаційних послуг та інформаційно-комунікативних технологій (ІКТ); сприяння збільшенню різноманітності та кількості електронних послуг, забезпеченню створення загальнодоступних електронних інформаційних ресурсів; поліпшення кадрового потенціалу; посилення мотивації щодо використання ІКТ; широкого впровадження ІКТ в науку, освіту, культуру, охорону здоров'я, охорону навколишнього середовища. У Києві 21 серпня 2019 року пройшла технологічна презентація «Електронна Україна», в рамках якої відбулося представлення унікальних досягнень українських вчених, технологів та промисловців у галузі розробки та впровадження електронних ID-документів та ІТ-систем. Усі вони входять до складу Industrial Innovation Group (IG), яку визнано світовим лідером у цьому напрямку. У ході технологічного шоу ТОП-менеджери IG заявили про готовність у рекордно швидкий час створити в Україні систему «Електронної держави». На підтвердження

цього група компаній ІТ продемонструвала свої технологічні та виробничі потужності, підкресливши, що в процесі створення електронної України наша держава не потребує жодних іноземних технологій та будь-якої технологічної допомоги: на очах усіх присутніх було виготовлено одразу чотири документи – ID-карту, посвідчення водія, закордонний паспорт і технічний паспорт транспортного засобу. Це частина спектру послуг для розвитку елементів «електронної України» та замкненого циклу виробництва електронних документів, які створюють технологічний базис усім сервісам електронного уряду.

Сьогодні відбувається активне формування єдиного глобального світового економічного, правового, інформаційного простору для забезпечення вільної й ефективної підприємницької діяльності всіх суб'єктів господарювання у мережі Internet. Світовий інформаційний простір включає систему послуг, найважливіші з яких: 1) *обчислювальні послуги* (Data/Computation Services) – засоби розміщення даних і їхнього транспортування між застосуваннями, доступу до обчислювальних і мережевих ресурсів; 2) *інформаційні послуги* (Information Services) – засоби подання, обробки, збереження та доступу до інформації; 3) *знаннєвоорієнтовані послуги* (Knowledge Services) – засоби накопичення, подання, відновлення, публікації, пошуку та обробки знань.

Послуга – економічна категорія єдності процесу і продукту праці, що характеризується поєднанням процесів створення і споживання послуги (матеріальні послуги), а також фізичної форми процесу і продукту праці щодо створення послуги (нематеріальні послуги). Послуга – це бізнес-діяльність, спрямована на задоволення потреб споживачів. До послуг зазвичай включають транспорт, зв'язок, банківську справу, торгівлю, матеріально-технічне постачання, збут і заготівлі, побутові, житлові та комунальні послуги, громадське харчування, готельне господарство, туризм, фінансові і страхові послуги, науку, освіту, охорону здоров'я, фізкультуру і спорт, культуру і мистецтво, а також послуги консультантів – ключових експертів, інформаційні й обчислювальні, рекламу, юридичні, біржові та посередницькі послуги, операції з нерухомістю, у сфері оренди обладнання, послуги з вивчення ринків і контролю за якістю, післяпродажне обслуговування, технічне обслуговування і діяльність державних установ, організацій та відомств, інколи будівництво тощо.

При переході до інформаційного суспільства, в якому ключовою стає сфера послуг, зберігаються і промисловість, і сільське господарство. Проте роль послуг настільки зростає, що до них переходить головна роль щодо виробництва ВВП. Інформаційною послугою називають задоволення потреб споживача через ІКТ, і не лише надання певної інформації. Для таких послуг властивий віртуальний спосіб подання та персоналізація, тобто послуга/товар надається за персоналізованими вимогами споживача. Головна тенденція ціноутворення у сфері інформаційних послуг полягає в урахуванні часового фактора – кількості годин, днів, місяців, що витрачаються на послугу, або в еквіваленті погодинної оплати для цієї категорії працівників з урахуванням мінімальних заробітних плат, прожиткового мінімуму, кошика споживача тощо. Правила обмеження регулювання ринку цих послуг включають доступ до конкретного сервісу, рівень професіоналізму постачальників і продавців цих послуг, гарантії щодо надання послуги, її тривалість і результат, ставлення до споживача; якість послуги та її ціну. Головною в електронному середовищі телекомунікаційних мереж є безпека споживача, а також дотримання групових або громадських інтересів. Ці правила мають торкатися негативних екстерналій, захисту приватних і громадських інтересів, міжнародних перевезень, пов'язаних зі змінами правил доставки та інших можливих негативних наслідків для людини і суспільства, наприклад, охорони здоров'я. Необхідність регулювання належить, зокрема, до послуг, що стосуються нав'язливої реклами, яка передається електронною поштою, поширення вірусів, несанкціонованого доступу до секретних документів, конфіденційної інформації.

Важливим видом інформаційних послуг є Web-сервіси, які надаються користувачам за допомогою Web-технологій. У широкому розумінні, з огляду на підтримку ІКТ, Web-сервіси – це стандартизований спосіб інтеграції застосунків, які функціонують на основі стандартів XML, SOAP, WSDL і UDDI. Web-сервіси слугують для зв'язку гетерогенних застосунків на основі використання єдиних стандартів і протоколів. Завдяки Web-сервісам функції будь-якої прикладної програми стають доступними через Internet, тобто можна створювати розподілені застосунки, компоненти яких вільно взаємодітимуть один з одним. Це дає змогу надавати спільні послуги підприємствам без необхідності зміни їх економіко-технологічної бази. Іноді для опису Web-сервісів використовують терміни «архітектура, орієнтована на послуги» (Service Oriented Architecture – SOA) або «архітектура Web-сервісів» (Web Services Architecture – WSA). Для реалізації Web-сервісів потрібно забезпечити: 1) інтеоперабельність інформаційних систем, що надають та отримують Web-сервіси; 2) підтримку протоколів і технологій мережі Internet; 3) стандартизацію інтерфейсів; 4) підтримку різних мов програмування; 5) підтримку розподіленого середовища. Стандартизація і специфікація Web-сервісів сприяють створенню уніфікованого електронного середовища, яке є економіко-технологічним базисом для глобалізації світового господарства та інтеграції учасників бізнесу, інформації, бізнес-процесів, виробництва у планетарному масштабі. Доцільно виокремити такі принципи трансформації традиційного бізнесу в електронний (відома міжнародна концепція «4C»): 1) торгівля (commerce); 2) вміст (content); 3) об'єднання (community); 4) співпраця (collaboration).

Змінюються способи укладення угод – вони стають електронними; в електронній формі надається та опрацьовується інформація, методи взаємодії між організаціями та людьми, підприємствами й ринками також стають електронними. Еволюційний процес розвитку світового господарства можна продемонструвати у вигляді схеми, на якій зображено етапи розвитку, кожний з яких, ґрунтуючись на

попередньому, становить новий рівень інтеграції бізнес-процесів і спосіб організації бізнесу (рис. 1).

В останні роки спостерігається глобалізація виробництва, що базується не тільки на експорті сировини або готової продукції, а й на міжнародній організації самого виробництва. Світове господарство у контексті інтеграційних процесів можна розглядати як світову інформаційну економіку з мережевою структурою менеджменту, виробництва і розподілу праці, виділяючи як основний її ресурс ІР, знання й ІКТ, які є головними джерелами зростання продуктивності і конкурентоспроможності. Сучасну епоху можна назвати епохою управління бізнес-процесами, і визначальним чинником підвищення ефективності нині є оптимізація розширених бізнес-процесів та розвантаження бізнес-процесів, що охоплюють як внутрішні сфери діяльності підприємства, так і зовнішні. ІКТ стають більш орієнтованими на потреби бізнесу, і цінність цих технологій вимірюється не стільки їх технологічною досконалістю, скільки якістю тих бізнес-процесів, які формуються на основі цих технологій. Глобальний характер ІКТ та їх широке застосування все більше визначають структуру економічної системи, впливаючи на продуктивність праці у цілому та отримувани прибутки. Підприємства використовують інструменти, що дають можливість легко і швидко вибудовувати навколо стратегії оптимальні моделі бізнес-процесів. За допомогою Web-сервісів підприємство розподіляє компонентні застосування таким чином, щоб вони забезпечили ефективну виробничу діяльність усіх сфер бізнесу з урахуванням вимог усіх структурних підрозділів і навіть усіх учасників бізнес-процесів. Виключення посередників дає змогу за допомогою використання телекомунікацій і Internet вибирати найвигідніших постачальників і споживачів, що допомагає успішно співіснувати невеликим підприємствам поряд з великими корпораціями. Цей чинник залучає до глобалізаційних процесів малий і середній бізнес, сприяє спеціалізації міжнародної праці. Малий і середній бізнес може підтримувати такі пріоритетні напрямки: 1) малі ринки (індивідуальне і дрібносерійне виробництво товарів та послуг); 2) нові ніші ринку, передусім інноваційні; 3) субпідрядні роботи окремих компонент продукту, що випускається, або послуги великого бізнесу. Особливої ваги набувають телекомунікаційні підприємницькі мережі, що здійснюють корпоративне управління автономними суб'єктами економічної діяльності в інформаційній економіці [3, 5].

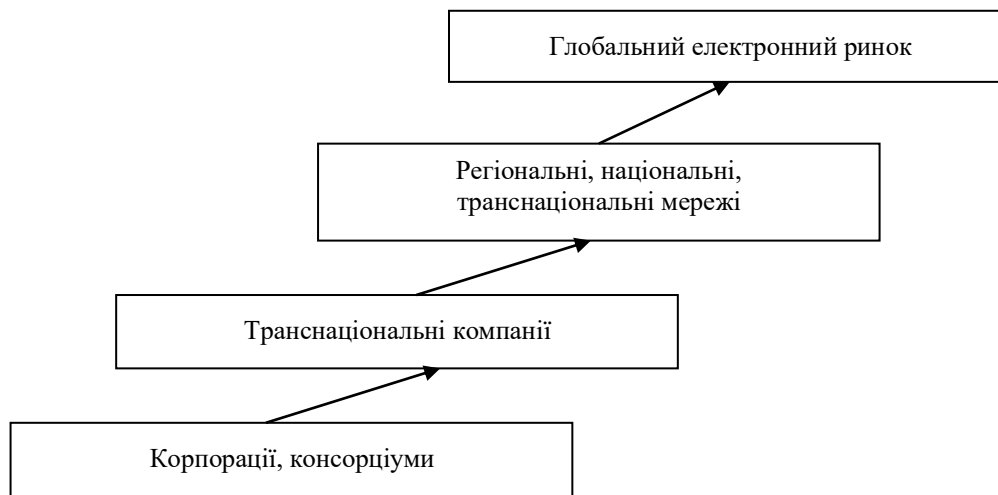


Рис. 1. Етапи розвитку електронного бізнесу

Концепція Web-сервісів виникла наприкінці 90-х років XX ст. і стала галузевим стандартом у сфері ІКТ. Стандарти Web-сервісів розроблені такими компаніями, як IBM, Microsoft, Arriba, Sun Microsystems, SAP за підтримки Консорціуму W3C. У межах W3C було створено робочу групу Web Services Architecture Working Group, яка опублікувала глосарій термінів у сфері Web-сервісів. Web-сервіси використовують XML для обміну даними між застосуваннями, незалежно від використання операційної системи, апаратної платформи і розробника. Web-сервіс – це набір логічно пов'язаних функцій, які можуть бути програмно викликані через мережу Internet. Web-сервіс – це програма, що ідентифікується через URI, інтерфейс якої може бути подано у вигляді мови XML. Web-сервіси – це реалізована програмними засобами система для підтримки міжкомп'ютерної взаємодії телекомунікаційних мереж, що підтримується такими стандартами: SOAP (Simple Object Access Protocol) – протокол обміну повідомленнями; WSDL – мова опису програмних інтерфейсів Web-сервісів; UDDI (Universal Description, Discovery and Integration) – класифікатор Web-сервісів. ІКТ, що реалізують архітектуру Web-сервісів, надано на рис. 2.

Для успішної інтеграції систем на основі Web-сервісів використовується багато стандартів, основними з яких є:

- BPEL – мова реалізації бізнес-процесів;
- WSDL – мова опису сервісів;
- SOAP – протокол обміну повідомленнями;
- UDDI – універсальний формат каталогу для пошуку та інтеграції Web-сервісів.

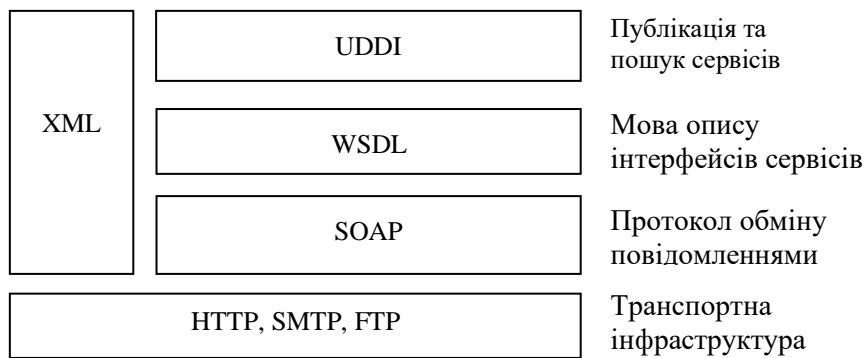


Рис. 2. Технології реалізації Web-сервісів

Композиція Web-сервісів на основі елементарних робіт здійснюється за допомогою мови реалізації бізнес-процесів – Business Process Execution Language (BPEL). Вона з'явилася як результат об'єднання мови WSFL (Web Services Flow Language), розробленої корпорацією IBM, і мови XLANG, створеної в Microsoft. Мова розроблена на нотації XML.

Використання цієї мови дає змогу здійснити формування і виконання потоку робіт як послідовність логічних дій, що включають:

- прийняття запиту на включення роботи в процес;
- перевірка опису, і в разі збігу параметрів – підготовку позитивного відгуку на запит;
- відхилення запиту з видачею обґрунтування.

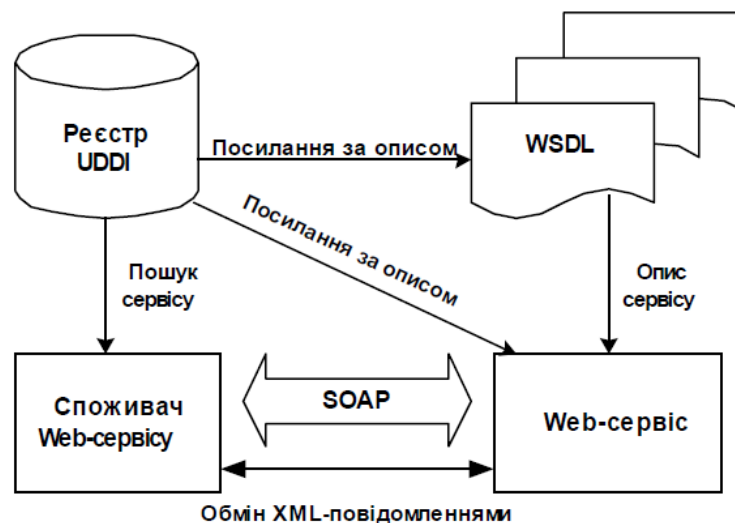


Рис. 3. Стандартизація типів сервісів

Динамічні, гнучкі Web-сервіси спрощують бізнес-процеси підприємств і дають можливість швидко знайти бізнес-партнерів. Концепція архітектури Web-сервісів підприємства має такі переваги: 1) оптимізація процесів управління підприємством за рахунок спрощення процедур об'єднання інформаційних потоків і бізнес-процесів; 2) можливість створення комплексних наскрізних бізнес-процесів, що відповідають вимогам бізнесу, використовуючи для цього як власні Web-сервіси, так і послуги інших підприємств; 3) можливість гнучкої зміни та постійного вдосконалення бізнес-процесів підприємств завдяки наявності єдиної методики підтримки, контролю та обробки інформаційних змін, значно полегшується процедура внесення взаємопов'язаних змін у межах всієї бізнес-архітектури; 4) спрощена інтеграція нових функціональних можливостей в корпоративну систему за рахунок заміни одних послуг іншими, видалення застарілих і додавання нових зі збереженням можливості вибору на ринку інформаційних послуг; 5) можливість спільного використання даних і бізнес-функцій – розрізнені раніше системи зможуть взаємодіяти одна з одною, надаючи учасникам бізнес-процесів нові можливості співпраці; 6) можливість встановлення більш тісних взаємозв'язків з бізнес-партнерами, що забезпечує скорочення витрат і підвищення кількості та якості обслуговування клієнтів [4].

Інформація про те, які функції пропонує конкретний Web-сервіс, міститься в його описі – WSDL-документі. Інші системи взаємодіють з Web-послугами, використовуючи повідомлення у стандарті за протоколом SOAP, передані з використанням HTTP і XML і в поєднанні з іншими Web-стандартами. Поняття архітектури, орієнтованої на послуги, сформувалося упродовж розвитку концепції Web-сервісів. Архітектура Web-сервісів є однією з реалізацій COA (є також інші підходи до реалізації COA: Java RMI (від Sun Microsystems), CORBA (від консорціуму OMG), DCOM (від Microsoft), DCE (запропонований

асоціацією Open Group) тощо). COA має такі характеристики: розподілена, інтерфейс функціональних модулів такий, що використання модулів не залежить від технології або платформи, у межах якої вони реалізовані; можливий динамічний пошук і підключення потрібних функціональних модулів; архітектура базується на загальноприйнятих галузевих стандартах.

Сервіс-орієнтована архітектура (COA) – це концепція проектування, розробки й управління функціональних модулів (сервісів), кожний з яких доступний через мережу і здатний виконувати певні дії. COA створює комунікаційне середовище для модулів, що реалізують прикладну бізнес-логіку. Інформація про модулі публікується в такій формі, що їх використання не вимагає знань про використані в них рішення і технології. Від розробника не вимагається знати, як працює програма, необхідно лише розуміти, які вхідні і вихідні дані потрібні, і як викликаються ці програми для виконання. Сервіс-орієнтовані обчислення (COO) – обчислювальна парадигма, яка використовує сервіси як фундаментальні елементи для розробки застосунків. COO базуються на COA і забезпечують виконання операцій управління сервісами. Розробка системи COO – це процес пошуку, підбору і компонування сервісів, що задовольняють вимоги користувача.

Основою архітектури, орієнтованої на послуги, є взаємодія її учасників: постачальника, споживача та реєстру послуг (рис. 4).

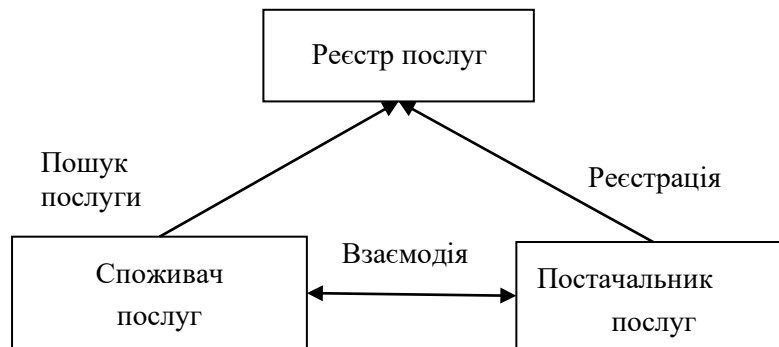


Рис. 4. Схема взаємодії учасників COA

Концепція Web-сервісів означає, що вони мають певну обмежену функціональність. Для вирішення складних завдань потрібно використовувати функціональність кількох послуг. Тому в процесі розвитку архітектури Web-сервісів виникло поняття компонування Web-сервісів і потік Web-послуг, або ще використовують термін *оркестровка* (Web Service Choreography) і *хореографія* (Web Service Choreography) Web-сервісів. Ці поняття відображають взаємодію послуг і послідовність їх виконання. Застосунки, побудовані з використанням Web-сервісів, базуються на потоках робіт (Workflow-based applications). Розподілені обчислення через Internet викликають фундаментальні зміни у веденні бізнесу, і саме Web-сервіси забезпечують відкритий механізм інтеграції бізнес-процесів. Управління бізнес-процесами відбувається в автоматизованому режимі. Так, за допомогою методів моделювання можна перевіряти коректність виконання бізнес-логіки, представлені в діаграмах, а потім автоматично одержувати опис цих діаграм на XML-мовах управління бізнес-процесами. Цей підхід допомагає спростити виклик Web-сервісів з будь-якої точки на основі бізнес-правил. Завдяки цьому компанії можуть реалізовувати швидку зміну бізнес-правил. Стратегічна цінність Web-сервісів полягає у скороченні часу реалізації проєктів, підвищенні продуктивності, швидкій інтеграції бізнес-систем та їх застосунків.

Як правило, BPEL формує потік робіт, що складається з послідовностей логічних дій або активних операцій, кожній з яких відповідає свій квадратик на діаграмі потоку робіт або функція програмного коду. При цьому можливі дві форми використання BPEL:

1. Виконуваний BPEL – процес, який також розглядається як сервіс, і може бути вузлом оркестрування. Програмні продукти, що реалізують виконуваний BPEL-процеси, називаються BPEL-engine (двигун BPEL-процесу). Тут один виконуваний процес може включати інший, що дає ефект включення одного оркестрування (послідовності сервісів) в інший, як це показано на рис. 5.

2. Абстрактний процес є майже повністю ідентичним до виконуваного процесу, за винятком наповнення даними. У цій якості він являє собою логіку бізнес-процесу і використовується з такою метою:

- визначає поведінку елементів організаційної структури, що підтримує процес;
- є керівництвом для програмістів і розробників, що автоматизують процес;
- вважається входом для комерційного програмного забезпечення, що утворює структуру системи.

WSDL (Web Services Description Language) – мова опису Web-сервера-сервісів, що ґрунтується на мові XML. Забезпечує правильний вибір сервісів для передачі від провайдера до споживача. Інформація у форматі WSDL використовується розробниками сервісів для включення сервісів у систему.

SOAP (Simple Object Access Protocol) – протокол обміну повідомленнями, також написаний у форматі XML, призначений для передачі даних із Web-сервісів. Файли SOAP, що створюються автоматично, включають дані з опису сервісів у форматі WSDL.

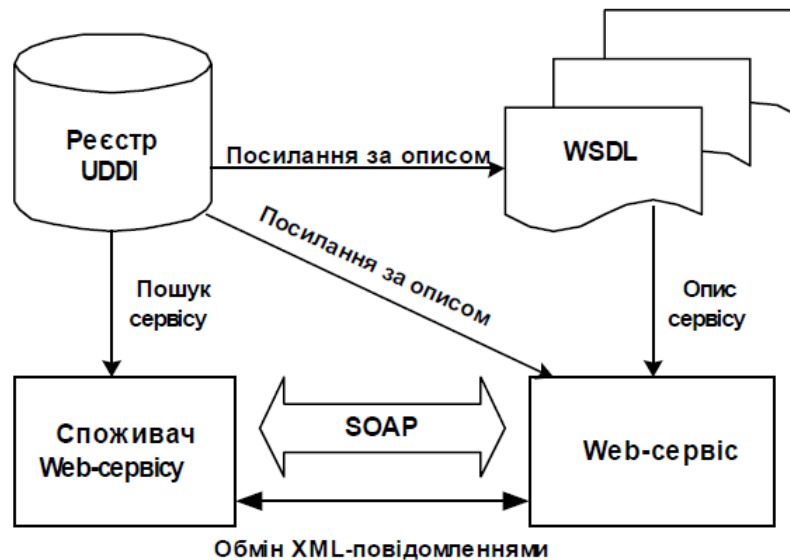


Рис. 5. Схема зв'язаного оркестрування

UDDI є набором правил реєстрації і витягання даних про наявні сервіси. Розробляючи програми, програмісти можуть здійснювати пошук в реєстрі UDDI необхідних сервісів для включення їх у програми. Цей реєстр може бути необхідний в процесі виконання програми, якій необхідні сервіси, що надають дані.

Тактичні переваги Web-сервісів: проста розробка і впровадження застосунків, використання інвестицій, зменшення ризику, пов'язаного з впровадженням проектів у сфері автоматизації послуг та бізнес-процесів, можливість безперервного поліпшення надання послуг, скорочення кількості звертань за технічною підтримкою, підвищення показника повернення інвестицій (ROI) тощо. Gartner прогнозує, що переваленою практикою проектування і розробки програм буде сервіс-орієнтована парадигма. Так, низка підприємств з різних галузей економіки, включаючи фінансові послуги, страхування, аерокосмічну галузь, охорону здоров'я, фармацевтику, роздрібну торгівлю, державний сектор і промисловість, впроваджують власні Web-сервіси [2].

Висновки. Таким чином, особливості еволюції інформаційно-комунікаційного сучасного середовища (глобалізація, розвиток комунікаційних технологій, мережних мультимедійних цифрових засобів зв'язку) є підтвердженням ефективності комунікації з точки зору історії, теорії, практики інформаційного ноосферогенезу. За таких умов еволюцію комунікаційного середовища слід розглядати як феномен комунікативної взаємодії і гармонійного існування людських спільнот та найважливіший чинник розвитку інформаційного суспільства. Водночас потребують подальшого дослідження концептуальні питання еволюції комунікаційного середовища інформаційного суспільства: вивчення засобів, змісту, форм організації, ефектів, наслідків трансформації соціально-комунікаційних структур в умовах інформаційного суспільства; використання сучасного національного і зарубіжного досвіду формування і практичного застосування інформаційно-когнітивних знань у соціально-комунікаційних процесах; визначення актуальних завдань та стратегій оптимізації комунікаційного середовища інформаційного суспільства тощо.

Різні інституціональні структури у мережі Internet створюють власні інформаційні моделі завдяки Web-сайту, формуючи певні інформаційно-економічні простори засобами інтелектуалізованого програмного забезпечення (мультіагентні системи або програмні агенти як представники-агенти суб'єктів економічної діяльності) у глобальному електронному середовищі або об'єктно орієнтованого ПЗ (сайт, портал, електронна пошта скринька тощо). Саме Web-сервер, своєрідна візитна картка підприємства, що представляє сукупність зв'язаних між собою Web-сторінок, презентує фірму та її послуги. На головній сторінці Web-сайта підприємства розповідається про історію створення фірми, її профіль, проекти, продукти/послуги, бізнес-партнерство тощо, тобто інформація про те, чим займається організація, і які надає пропозиції. Часто на цій сторінці розміщується посилання на портали (багатофункціональні сайти) електронних ринків чи е-магазинів, які є точками входу у глобальну мережу всіх учасників процесу-бізнесу, а також місцем для розміщення електронних каталогів товарів, послуг, управління транзакціями, логістичними процесами, платежами тощо.

Сьогодні на зміну технологіям Web приходять технології Web2 та Web3. Їх основою є соціальні мережі, спільна робота, спрямована на розробку інформаційних ресурсів. На основі цих нових технологій функціонують корпоративні блоги, енциклопедії Wiki тощо. Нова ідеологія Web-виробництва інформаційної індустрії сприяє залученню до електронних ринків малих і середніх підприємств, надаючи їм можливість за прийнятною ціною придбати достатньо функціональні рішення, що відповідають їх задачам. Стандартизація та специфікація Web-сервісів сприяють створенню уніфікованого електронного середовища, яке є економіко-технологічним базисом для глобалізації світового господарства та інтеграції учасників бізнесу, інформації, бізнес-процесів, виробництва у планетарному масштабі. Стратегічна цінність Web-

сервісів полягає у скороченні часу реалізації проєктів, підвищенні продуктивності, швидкій інтеграції бізнес-систем та їх застосувань.

Література

1. Пригода В.М. Інформаційне суспільство: сутність та перспективи розвитку в Україні / В.М. Пригода // Економіка і управління. – 2008. – № 3. – С. 24–33.
2. Плескач В.Л. Інформаційні технології та системи / Плескач В.Л. – К. : Книга, 2005. – 520 с.
3. Пожуєв В.І. Стратегічні цілі і задачі переходу України до інформаційного суспільства / В.І. Пожуєв // Гуманітарний вісник ЗДІА. – Запоріжжя, 2009. – № 39. – С. 4–20.
4. Про Національну комісію, що здійснює державне регулювання у сфері зв'язку та інформатизації : Указ Президента України від 23.11.2011 р. № 1067/2011 // Офіційний вісник України. – 2011. – № 94. – Ст. 3417.
5. Урсул А.Д. Глобализация, устойчивое развитие, ноосферогенез: Информационные аспекты / А.Д. Урсул, Т.А. Урсул // НТИ. – Сер. 1. – 2005. – № 4. – С. 1–15.

References

1. Pryhoda V.M. Informatsiine suspilstvo: sutnist ta perspektyvy rozvytku v Ukraini / V.M. Pryhoda // Ekonomika i upravlinnia. – 2008. – № 3. – S. 24–33.
2. Pleskach V.L. Informatsiini tekhnolohii ta systemy / Pleskach V.L. – K. : Knyha, 2005. – 520 s.
3. Pozhuiev V.I. Stratehichni tsili i zadachi perekhodu Ukrainy do informatsiinoho suspilstva / V.I. Pozhuiev // Humanitarnyi visnyk ZDIA. – Zaporizhzhia, 2009. – № 39. – S. 4–20.
4. Pro Natsionalnu komisiuu, shcho zdiisniuie derzhavne rehuliuвання u sferi zviazku ta informatyzatsii : Ukaz Prezydenta Ukrainy vid 23.11.2011 r. № 1067/2011 // Ofitsiinyi visnyk Ukrainy. – 2011. – № 94. – St. 3417.
5. Ursul A.D. Globalizatsyia, ustoichivoe razvitie, noosferogenez: Informatsionnye aspekty / A.D. Ursul, T.A. Ursul // NTY. – Ser. 1. – 2005. – № 4. – S. 1–15.

Рецензія/Peer review : 12.1.2020 р.

Надрукована/Printed : 14.2.2020 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

МОЖЛИВОСТІ ПОЛЬОТНОГО КОНТРОЛЛЕРА CC3D З ПРОШИВКОЮ INAV

Розроблено безпілотний літальний апарат (БЛА) на базі польотного контролера cc3d з вбудованим гіроскопом і акселерометром 3-осьового компаса HMC5883L, барометра/висотоміра BMP180, GPS приймача u-blox NEO-6M. Використана прошивка INAV ver.1.7.2, що підтримує навігаційні функції. В якості рами використовується чотирьохмоторний мультиротор – квадрокоптер. Спроекований квадрокоптер 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 використовується барометр, який сприяє утриманню висоти по тиску повітря. NAV POSHOLD – виконується утримання позиції. GPS. NAV RTH (Return To Home) – повернення додому, в точку зльоту. Контролер запам'ятовує точку, де зроблений Arming і дозволяє повернути БЛА в цю точку. Failsafe RTH – режим порятунку, який відправляє БЛА додому (в точку, де проведений запуск двигунів – Arming) в разі втрати зв'язку з наземною станцією. AIR MODE – режим динамічної регуляції PID регулятора, який забезпечує повну корекцію PID під час нульового дроселя і дає можливість плавного польоту і виконання вищого пілотажу. Показана можливість використання програми STM32 Flash loader demonstrator як програматора для заміни прошивки в cc3d з OpenPilot на INAV. А також можливість її використання для зворотного повернення на прошивку OpenPilot (LibrePilot) при прошивці початкового завантажувача OpenPilot (LibrePilot) з подальшою прошивкою OpenPilot (LibrePilot) за допомогою LibrePilot GCS. Встановлено для прошивки INAV, що при різкому збільшенні дросельної заслінки коптер, злітаючи вгору, втрачає стійкість і завалюється на ліву чи праву сторону. Якщо не зменшити газ і не регулювати стиками вирівнювання по Roll, Pitch, коптер падає. При плавному збільшенні дросельної заслінки коптер зберігає стійкість при підйомі вгору. Тільки ретельний підбір моторів і пропелерів дозволяє стійко коптеру підніматися вгору при різкому збільшенні газу. Таким чином PID регулятори прошивки INAV ver.1.7.2 на контролері cc3d погано працюють з різкими відхиленнями стиків, що призводить до аварії коптера. На прошивці OpenPilot (LibrePilot) з контролером cc3d цього не спостерігається.

Ключові слова: cc3d, PID-регулятор, INAV, LibrePilot, GPS приймач, AIR MODE, STM32F1, Throttle PID Attenuation.

A.A. MYASISCHEV

Khmelnitskyi National University

OPPORTUNITIES OF FLIGHT CONTROLLER CC3D WITH INAV FIRMWARE

An unmanned aerial vehicle (UAV) based on a flight controller cc3d with a built-in gyroscope and accelerometer, 3-axis compass HMC5883L, barometer / altimeter BMP180, GPS receiver u-blox NEO-6M was developed. The firmware used is INAV ver.1.7.2, which supports navigation functions. Four motorized multirotor - quadcopter is used as a frame. The designed quadcopter is able to perform the following flight modes: ANGLE - automatic leveling of the pitch and pitch with control of the angle of the horizon, the set value of which cannot be exceeded, thus achieving stable flight. Here a gyroscope and an accelerometer are used to hold the horizon. NAV ALTHOLD - hold height. Here a barometer is used, which helps to maintain the height of the air pressure. NAV POSHOLD - position is held. Uses GPS. NAV RTH (Return To Home) - return home to the take-off point. The controller remembers the point where Arming is produced and allows you to return the UAV to this point. Failsafe RTH - rescue mode, which sends the UAV home (to the point where the engines were started - Arming) in case of loss of communication with the ground station. AIR MODE is a mode of dynamic regulation of the PID regulator, which provides full PID correction during zero throttle and enables smooth flight and aerobatic flying. The possibility of using the STM32 Flash loader demonstrator program as a programmer to replace the firmware in cc3d from OpenPilot to INAV is shown. And also the ability to use it to return to the OpenPilot (LibrePilot) firmware when flashing the OpenPilot (LibrePilot) bootloader with subsequent OpenPilot (LibrePilot) firmware using the LibrePilot GCS. It is established for INAV firmware, that with a sharp increase in the throttle, the rotor, soaring upwards, loses stability and falls to the left or right side. If you do not turn down the gas and do not adjust the alignment of Roll, Pitch, the copter drops. With a smooth increase in the throttle, the copter remains steady when it rises up. Only a careful selection of engines and propellers allows the steadily steaming upward with a sharp increase in gas. Thus, the PID regulators of the INAV ver.1.7.2 firmware on the cc3d controller do not work well with sharp deviations of sticks, which leads to a crash of the copter. This is not observed on the OpenPilot (LibrePilot) firmware with the cc3d controller.

Keywords: cc3d, PID controller, INAV, LibrePilot, GPS receiver, AIR MODE, STM32F1, Throttle PID Attenuation.

Постановка задачі

В даний час великий інтерес представляють безпілотні літаючі роботи, побудовані на базі мультироторів. Серед них найбільшого поширення мають квадрокоптери (4 мотора). Важливу роль тут мають польотні контролери з встановленою в них прошивкою (програмним забезпеченням). Причому апаратно однакові польотні контролери можуть працювати під управлінням різних прошивок. Відомо, що польотний контролер – електронний пристрій, що управляє польотом літального апарату. Термін застосовується до безпілотних літальних апаратів, а, наприклад, до пілотованих літальних апаратів зазвичай вживається термін автопілот. Найчастіше термін польотний контролер відноситься до керуючих пристроїв – мультикоптер. До функцій польотного контролера відносяться: стабілізація апарату в повітрі; утримання висоти за допомогою барометричного висотоміра чи інших датчиків і позиції за допомогою GPS; автоматичний політ за заданими наперед точками; передача на землю поточних параметрів польоту за допомогою модему; забезпечення безпеки польоту (повернення в точку зльоту при втраті сигналу,

автопосадка); зупинка перед перешкодою (для мультикоптерів) або обліт перешкод (для літаків) за наявності датчиків; підключення додаткової периферії: OSD (On Screen Display – меню на екрані), світлодіодної індикації та іншого.

Кількість функцій польотного контролера залежить від наявності на борту мультикоптера відповідної периферії. В роботі [1] зазначалося, що в даний час розроблено велику кількість польотних контролерів з програмним забезпеченням. Це Multiwii, ArduCopter (APM 2.6, APM 2.8, PixHawk), контролери DJI (Naza-M Lite, DJI Naza-M V2, DJI Wookong), MicroKopter, Zero UAV X4 / X6, AutoQuad, KK., XAircraft та ін. Причому далеко не всі з них мають функціонал, що перелічені вище. Розглянемо особливості польотного контролера CC3D з прошивкою INAV.

Виклад основного матеріалу роботи

CC3D (CopterControl3D) [2] – це 32-бітний польотний контролер, який був розроблений під проект OpenPilot для невеликих безпілотних літальних апаратів (БЛА, UAV), включаючи мультироторні апарати, вертольоти і літаки. У 2015 році після того, як команда OpenPilot припинила підтримку польотних контролерів CC3D був запущений новий проект для підтримки CC3D - LibrePilot [3]. У вересні 2016 року з'явилася оновлена версія LibrePilot, яка працювала з новим більш потужним польотним контролером Sparky2 на мікроконтролері STM32F4 і підтримувала більшу кількість датчиків, зокрема магнітометр, GPS приймач, барометр MS5611 та ін. Прошивка LibrePilot досить стабільно управляє квадрокоптерами, побудованими на рамах 250/300 розміру, але має недолік – недостатньо розвинені навігаційні функції, наприклад відсутність польоту за точками. А для малих польотних контролерів типу CC3D, NAZE32, заснованих на мікроконтролерах STM32F1 – відсутність функцій утримання висоти і позиції, не кажучи про функції "повернення додому". Серед існуючих проектів, можна виділити проект INAV [4], який орієнтований на мікроконтролери сімейства STM32 з підтримкою навігаційних функцій.

INAV є відгалуженням відомого проекту Cleanflight [5] 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, політ за подорожніми точками, режим "Йди за мною" (Follow-Me) та інші. Підтримується велика кількість недорогих плат польотних контролерів. Слід зазначити, що плати управління польотом Naze32 і CC3D ще працюють, але з обмеженими функціями. Однак для використання всіх INAV функцій необхідно використовувати плати з мікроконтролерами STM32F3 і STM32F4 [6]. Польотні контролери на базі STM32F1, такі як Naze32 і CC3D, сучасними прошивками більше не підтримуються, однак раніше випущені прошивки все ще працюють – останній реліз для плат STM32F1 – це INAV 1.7.3. Розглянемо відміну польотних контролерів на мікроконтролерах F1 (STM32F103CBT6), F3 (STM32F303CCT6) (рис. 1):



Рис. 1. STM32 F1, F3, F4 в польотних контролерах

- Одна і та ж частота (72МГц), але більш швидкі операції з плаваючою точкою у F3, завдяки окремому модулю операцій з плаваючою точкою (математичний співпроцесор FPU).

- Додатковий вільний UART порт (COM-порт), у F3 їх 3, F1 має 2 порти. CC3D дозволяє використовувати тільки 1 порт UART, наприклад для підключення GPS приймача. Другий UART задіяний як шина I2C, до якої в даній роботі підключені магнітометр і барометр. Тому можливо для F1 використання лише одного UART.

- У всіх послідовних портів в F3 є апаратний інвертор сигналу, тобто будь-який порт можна використовувати з SBUS або SmartPort без жодних модифікацій.

За рахунок FPU F3 працює значно швидше, ніж F1 при використанні PID контролера на математиці з плаваючою комою, що важливо для швидкісних акробатичних квадрокоптерів. Великим недоліком F1 є мала флеш пам'ять, де розміщується прошивка. Вона дорівнює 128 Кбайт. У F3 – 256 Кбайт. Прошивка з використанням функцій навігації займає багато пам'яті. Тому для більш розвинених прошивок з навігацією використовують F4 з об'ємом флеш пам'яті 1 Мбайт.

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. ТРА Breakpoint – точка на кривій газу, з якої почне застосовуватися ТРА. Нижче цієї точки ТРА не використовується. Наприклад, якщо виникають коливання, що починаються з 3/4 дроселя, необхідно встановити ТРА Breakpoint = 1750 або нижче (передбачається, що діапазон зміни дроселя складає 1000-2000), а потім повільно необхідно збільшити ТРА, поки коливання квадрокоптера не зникнуть. На рис. 2 показаний приклад мультироторної кривої ТРА.

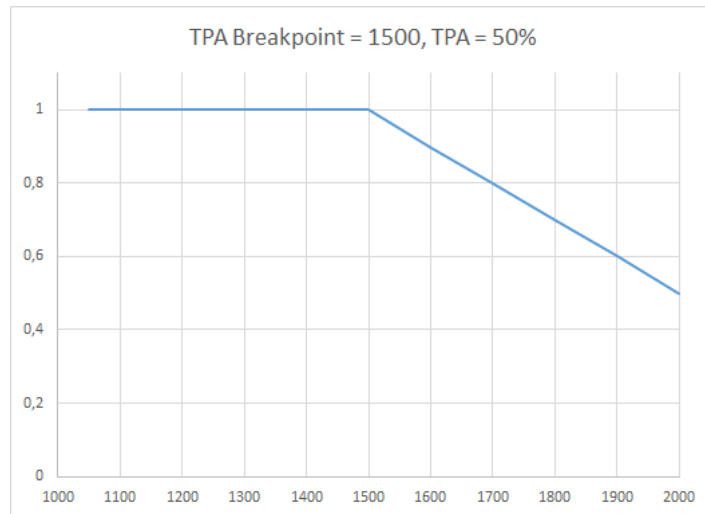


Рис. 2. Приклад мультироторної кривої ТРА

Для динамічної регуляції посилення PID дуже важливо встановити режим AIRMODE. У стандартному режимі зменшення дросельної заслінки, коли розраховуються крен, крок і нищпорення, 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.

Вище було відзначено, що польотні контролери cc3d evo поставляються з прошивкою OpenPilot (LibrePilot). Для використання прошивки INAV контролер cc3d необхідно перепрошити. Прошивка поставляється файлом з розширенням .hex, тому початковий завантажувач LibrePilot втрачається і його при зворотному переході до LibrePilot необхідно відновити з використанням програматора. В роботі стоїть завдання побудови квадрокоптер, який повинен вміти утримувати висоту за барометром, позицію по GPS приймачу і повертатися додому. Вихідними даними є:

1. Рама f450
2. Чотири пропелера 10x45
3. Польотний контролер cc3d evo з гіроскопом і акселерометром

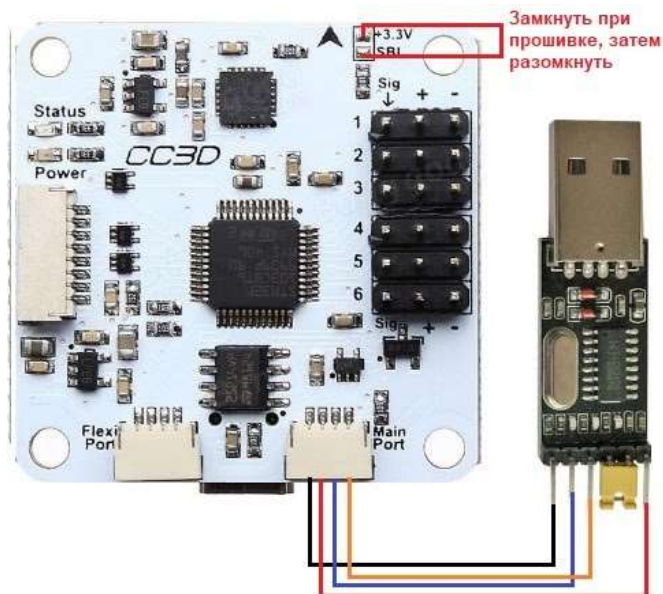


Рис. 3. Підключення cc3d під час програмування

4. Компас HMC5883L і барометр BMP180 на шині I2C
5. GPS приймач GY-GPS6MV2 (GY-NEO6MV2)
6. Батарея lipo 3S1P 4200mAh

Для вирішення завдання копіюється прошивка INAV ver. 1.7.2 та inav ver. 1.7.3 з відповідних сайтів:
<https://github.com/iNavFlight/inav/releases/tag/1.7.2>
<https://github.com/iNavFlight/inav-configurator/releases/tag/1.7.3>

Для контролера cc3d (з мікроконтролером STM32F1) версія прошивки 1.7.3. є останньою. Тут обрана версія 1.7.2. Для прошивки cc3d використовується програма STM32 Flash loader demonstrator з сайту <https://www.st.com/en/development-tools/flasher-stm32.html>. Для прошивки використовується підключення cc3d до USB комп'ютера через конвертер USB to TTL на базі мікросхеми CH340 (рис. 3).

Для правильної роботи програми STM32 Flash loader demonstrator необхідно спочатку вставити в порт USB комп'ютера конвертер, а потім підключити його до cc3d через порт Main Port. Після запуску програми STM32 Flash loader demonstrator необхідно виконати послідовність дій відповідно до рисунка 4 і далі правильно відповідати на питання під час роботи програматора [14].



Рис. 4. Робота з STM32 Flash loader demonstrator (вибір com порту, успішне підключення до cc3d та ідентифікація контролера STM32F1 з flash 128 K)

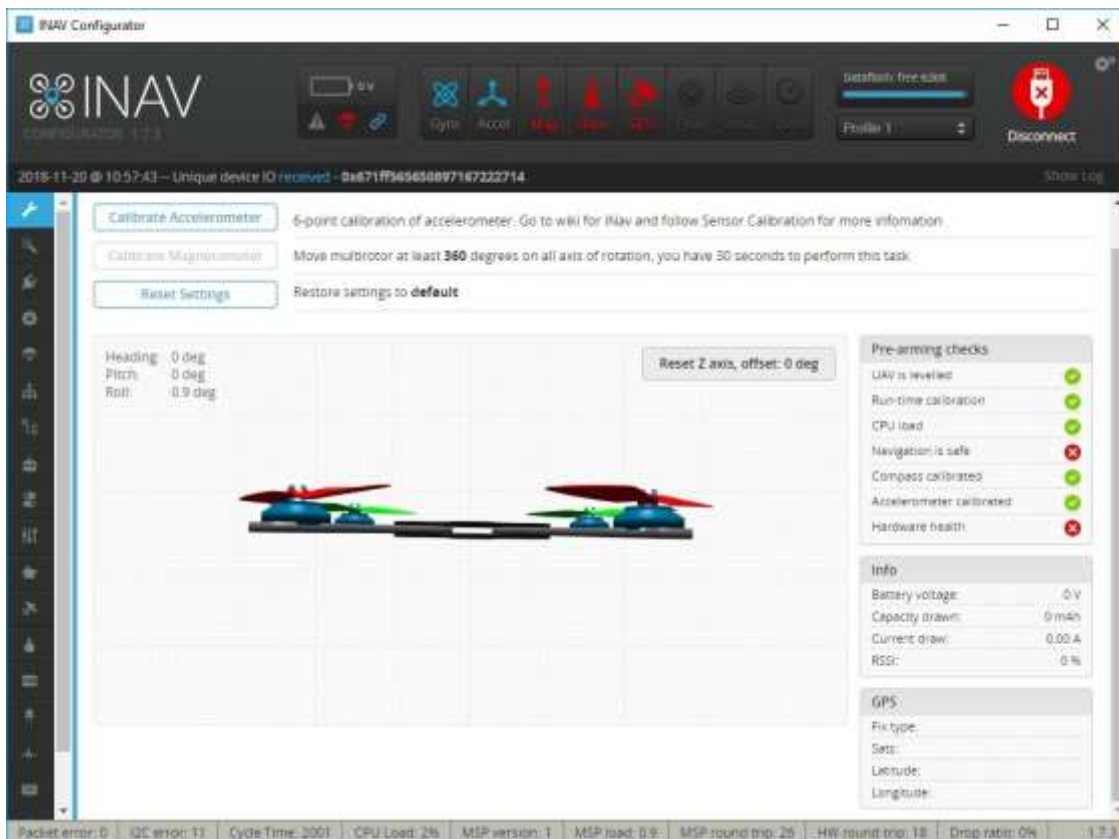


Рис. 5. Завантаження конфігуратором прошивки з cc3d. Показана налаштована прошивка

Після успішної прошивки відключається конвертер СН340 від cc3d і розмикається замкнений контакт (рис. 3). На комп'ютері встановлюється конфігуратор INAV ver.1.7.3 і cc3d підключається до комп'ютера через порт міні USB. Після натискання на кнопку Connect на конфігураторі має з'явитися зображення, як на рис. 5.

Для настройки прошивки виконується послідовність дій відповідно до представлених нижче рисунками.

1. Необхідно зайти у вкладки Ports і Configuration і звернути увагу на установку параметрів, підкреслених червоним. Контролер cc3d повинен бути повністю встановлений на квадрокоптері з підключеними моторами і зі знятими пропелерами. Батарея Ліро повинна бути підключена, інакше напруги живлення на барометр, компас, приймач GPS надходити не буде (рис. 6)

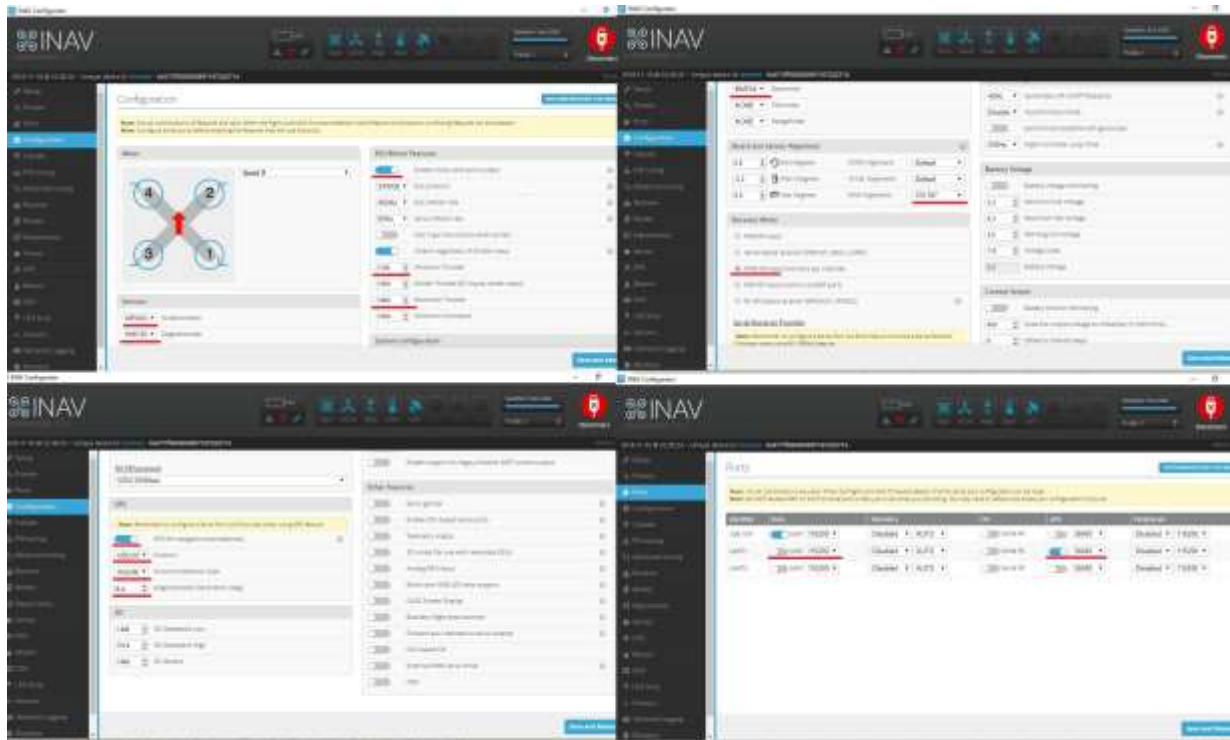


Рис. 6. Вкладки Configuration і Ports

У вкладці Receiver, після включення приймача, виконується переміщення всіх стіків і перемикачів на пульт управління. Смужки на малюнку повинні рухатися у відповідність зі стиками [8].

2. Виконується вхід у вкладку Motors, включаються мотори, як представлено в [8] і переміщуються двигуни для кожного мотора. Вони повинні розкручуватися відповідно до їх номерів підключення до контролера як на верхньому лівому рисунку. Напрямок обертання також має відповідати рисунку. В іншому випадку необхідно поміняти місцями два будь-яких виведення двигуна.

3. На вкладці Setup виконуємо калібрування Accelerometer. Для цього квадрокоптер встановлюється в різні положення як на рис. 7 і після кожного з них виконується натискання на кнопку Calibrate Accelerometer.

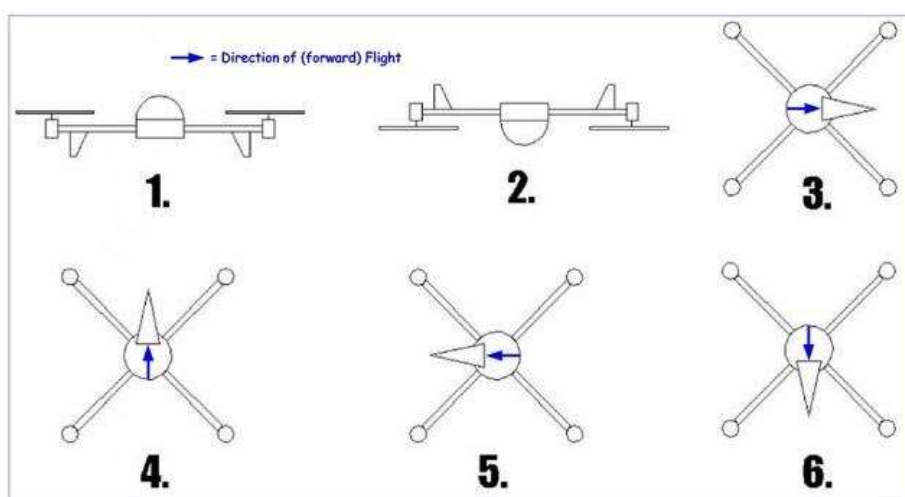


Рис. 7. Калібрування акселерометра

5. Виконується вхід у вкладку PID tuning і встановлюються PID відповідно до рис. 8. А у вкладці Advanced tuning і встановлюються параметри відповідно до джерела [8].

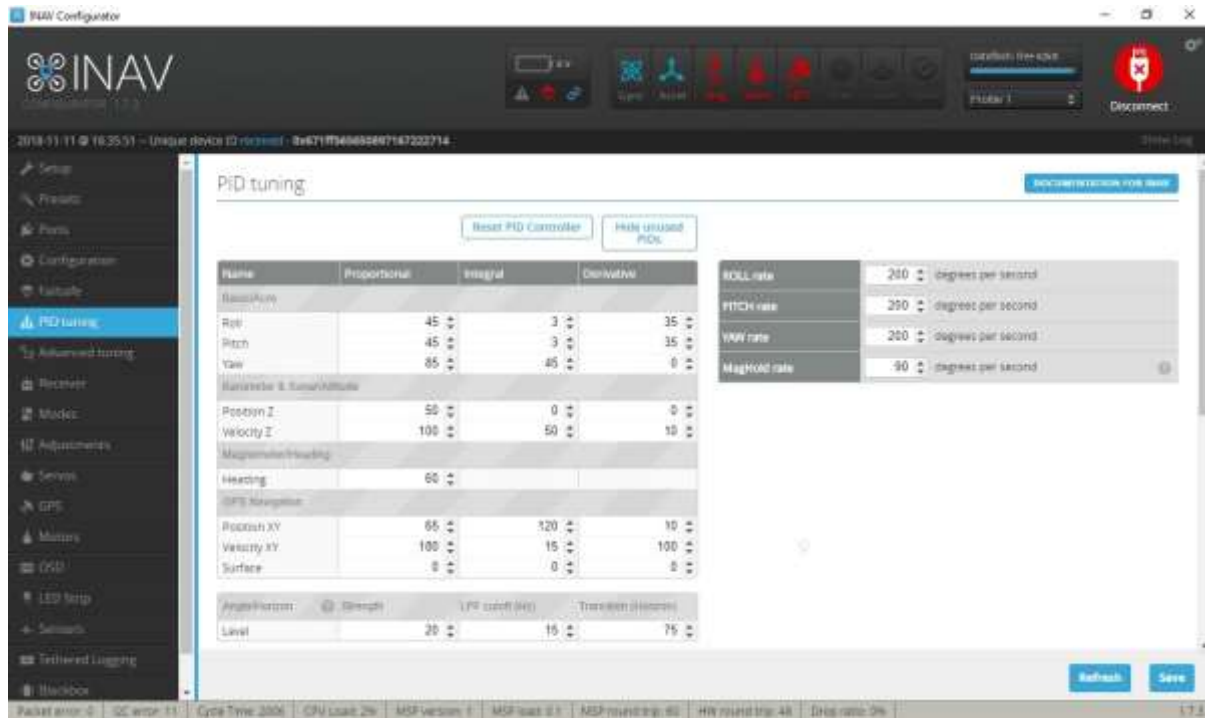


Рис. 8. Установка параметров PID регулятора

6. У вкладці Modes встановлюються польотні режими. Спочатку необхідно встановити режим польоту ANGLE на тумблері (AUX1). Це такий режим, що при максимальних відхиленнях стіків квадрокоптер не перевернеться. За умовчанням встановлений режим ACRO, при якому квадрокоптер може відхилитися на будь-який кут аж до перевертання. З режимом ANGLE поєднуємо AIR MODE. Як вже зазначалося він дозволяє при малих обертах двигунів утримувати задані значення PID регуляторів. В іншому випадку квадрокоптер, наприклад при різкому спуску, буде розгойдуватися аж до перевертання. Далі на AUX1 встановлюються режими NAV ALTHOLD (утримання висоти) та NAV POSHOLD (утримання позиції). На тумблері AUX2 встановлюється режим NAV RTH (повернення додому).



Рис. 9. Установка режимів польоту у вкладці Modes

7. У вкладці Failsafe встановлюється режим повернення додому RTH в разі втрати зв'язку з пультом управління [8].

8. Калібрування компаса виконується в поле перед запуском. Можна її виконати також і в лабораторії, але металеві предмети повинні перебувати на відстані. При калібруванні повинна бути виконана певна комбінація стіків. Лівий стік вгору і вправо, правий вниз і утримувати цю комбінацію 1-2 сек. Після цього протягом 30 сек. необхідно обертати коптер на 360 град за всіма його осях.

9. При відведенні коптера вліво, вправо, вперед і назад при відсутності вітру, виконується програмна калібрування за допомогою пульта. Коптер встановлюється в горизонтальному положенні на землі, верхній стик піднімається вгору, а правий переміщається до упору в сторону, протилежну зсуву коптера. Наприклад, якщо стики так тримати протягом 4 сек, змінюється кут по Roll, Pitch приблизно на 2 градуси.

Підключення до cc3d компаса, барометра, GPS приймача показано на рис. 10. Компас повинен знаходитися над площиною обертання пропелерів на висоті не менше 15 см.

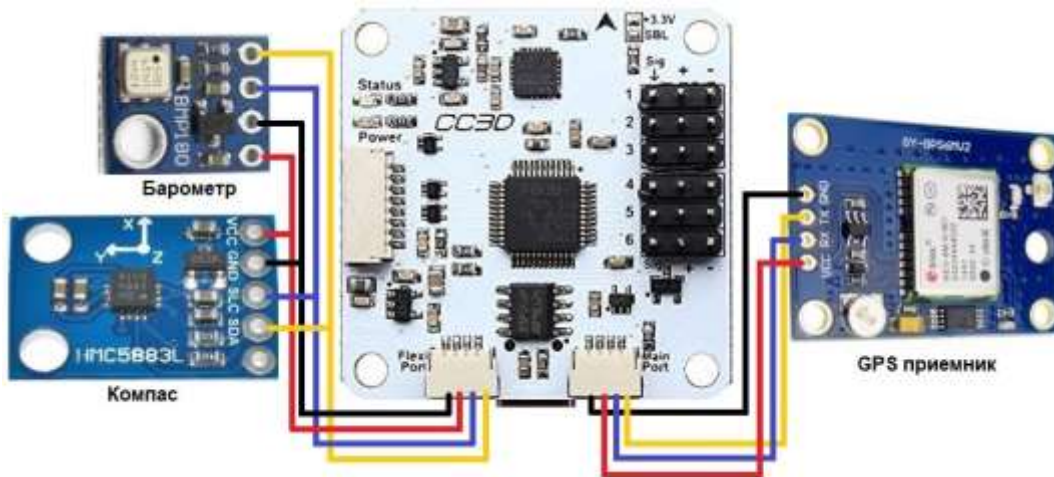


Рис. 10. Підключення до cc3d компаса, барометра, GPS приймача

Підключення приймача FS-IA6 системи управління до контролера cc3d показано на рис. 11

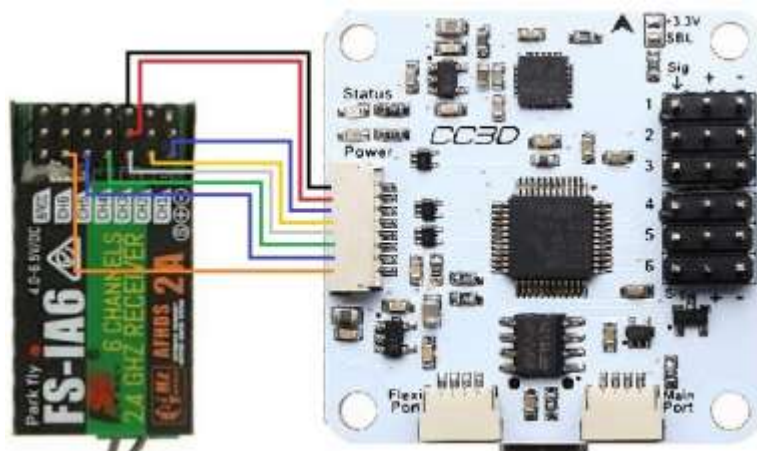


Рис. 11. Підключення приймача FS-IA6 системи управління до контролера cc3d

Калібрування регуляторів ESC, виконується в вкладці Motors [8]. Для цього знімаються пропелери і відключається акумулятор. Далі виконується перехід на вкладку Motors в конфігураторі і включаються мотори [8]. Після переміщення слайдера Master наверх, на всі двигуни буде поданий повний газ. Тепер треба буде підключити акумулятор – двигуни перейдуть в режим калібрування. Далі пересувається слайдер Master повністю вниз, для установки рівня газу на нуль. Двигуни почнуть пищати (програють музичну мелодію), що означає завершення калібрування.

На рис. 12 представлено фото зібраного квадрокоптера.



Рис. 12. Фото квадрокоптера на контролері cc3d

У прошивці INAV передбачений командний режим зміни параметрів прошивки, які не представлені у вкладках конфігуратора INAV. Так для зміни кута нахилу коптера з 30град. на 40град. для прискорення польоту при максимальному відхиленні стіків по Roll, Pitch використовуються команди `set max_angle_inclination_roll = 400`, `set max_angle_inclination_pitch = 400`. Для повернення додому "хвостом" (без розвороту квадрокоптера) потрібно виконати команду `set nav_rth_tail_first = ON`. Для вирішення армінга без супутників використовується команда `set nav_extra_arming_safety = OFF`. Для виконання цих команд польотним контролером квадрокоптера їх необхідно зберегти командою `save`. Всі ці команди вводяться у вкладці CLI [9].

Висновки

1. Побудовано квадрокоптер на польотному контролері cc3d, перепрошитий з прошивки OpenPilot (LibrePilot) на прошивку INAV ver.1.7.2
2. З прошивкою INAV з'явилася можливість до польотного контролера cc3d підключити магнітометр, барометр і GPS приймач, внаслідок чого з'явилися навігаційні функції, тобто утримання висоти, позиції, повернення додому.
3. Показана можливість використання програми STM32 Flash loader demonstrator як програматора для заміни прошивки в cc3d з OpenPilot на INAV. Можливо її використання для зворотного повернення на прошивку OpenPilot (LibrePilot) при прошивці початкового завантажувача OpenPilot (LibrePilot) з подальшою прошивкою OpenPilot (LibrePilot) за допомогою LibrePilot GCS [7].
4. При різкому збільшенні дросельної заслінки (газу) коптер злітає вгору, втрачає стійкість і завалюється на ліву чи праву сторону. Якщо не зменшити газ і не регулювати стиками вирівнювання по Roll, Pitch, коптер падає. При плавному збільшенні дросельної заслінки коптер зберігає стійкість при підйомі вгору. Тільки ретельний підбір моторів і пропелерів дозволив стійко підніматися вгору при різкому збільшенні газу. Таким чином PID-регулятори прошивки INAV ver.1.7.2 на контролері cc3d погано працюють з різкими відхиленнями стіків, що призводить до аварії коптера. На прошивці OpenPilot (LibrePilot) з контролером cc3d цього не спостерігається.
5. Для нульового газу проблема поганої роботи PID вирішена установкою режиму AIR MODE. Без режиму AIR MODE при різкому скиданні дросельної заслінки (газу) коптер втрачає стійкість і падає. На прошивці OpenPilot (LibrePilot) з контролером cc3d цього не спостерігається.

Література

1. Мясичев А.А. Построение БПЛА на базе полетного контроллера APM 2.6. / А.А. Мясичев // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2016. – № 5. – С. 225–230.
2. CopterControl3D. 2015. URL: <http://multicopterwiki.ru/index.php/CopterControl3D>.
3. The LibrePilot open source project. 2017. URL: <http://www.librepilot.org/site/index.html>.
4. INAV. 2018. URL: <https://github.com/iNavFlight/inav/wiki>.
5. Open-Source flight controller software for modern flight boards. 2018. URL: <http://cleanflight.com/>.
6. F1, F3, F4 AND F7 FLIGHT CONTROLLER DIFFERENCES EXPLAINED. 2017. URL: <https://oscarliang.com/f1-f3-f4-flight-controller>
7. FLASHER-STM32. 2016. URL: <https://www.st.com/en/development-tools/flasher-stm32.html>.
8. Мясичев А.А. Квадрокоптер с прошивкой INAV ver. 1.7.2 на полетном контроллере cc3d evo с режимами удержания высоты, позиции, возврата домой. 2018. URL: <https://sites.google.com/site/webstm32/inav-cc3d>
9. Command Line Interface (CLI). 2018. URL: <https://github.com/iNavFlight/inav/blob/master/docs/CLI.md>.
10. Мясичев А.А. Использование платы ROBOTDYN MEGA2560 PRO для построения полетного контроллера гексакоптера / А.А. Мясичев // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2018. – № 3. – С. 171–179.
11. Мясичев А.А. Режимы полету контролерів полету APM 2.6 I PIXHAWK БПЛА / А.А. Мясичев, В.В. Швець // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2018. – № 1. – С. 78–82.
12. Мясичев А.А. Система навігації безпілотного наземного апарата на ARDUINO / А.А. Мясичев, А.П. Фарина // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2018. – № 4. – С. 173–177.
13. U-center Windows. GNSS evaluation software for Windows. 2018. URL: <https://www.u-blox.com/en/product/u-center-windows>.
14. Flashing the OpenPilot bootloader on a CC3D or Flashing Beta/Borisflight Hex on a CC3D. 2015. URL: http://www.southquay3d.com/index.php?route=news/article&news_id=9.

References

1. Miasishchev A.A. Postroenie BPLA na baze poletnoho kontrollera APM 2.6. / A.A. Miasishchev // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2016. – №5.–s. 225–230.
2. CopterControl3D. 2015. URL: <http://multicopterwiki.ru/index.php/CopterControl3D>.
3. The LibrePilot open source project. 2017. URL: <http://www.librepilot.org/site/index.html>.

4. INAV. 2018. URL: <https://github.com/iNavFlight/inav/wiki>.
5. Open-Source flight controller software for modern flight boards. 2018. URL: <http://cleanflight.com/>.
6. F1, F3, F4 AND F7 FLIGHT CONTROLLER DIFFERENCES EXPLAINED. 2017. URL: <https://oscarliang.com/f1-f3-f4-flight-controller>
7. FLASHER-STM32. 2016. URL: <https://www.st.com/en/development-tools/flasher-stm32.html>.
8. Myasishev A.A. Kvadrokopter s proshivkoj INAV ver. 1.7.2 na poletnom kontrollere cc3d evo s rezhimami uderzhaniya vysoty, pozicii, vozvrata domoj. 2018. URL: <https://sites.google.com/site/webstm32/inav-cc3d>
9. Command Line Interface (CLI). 2018. URL: <https://github.com/iNavFlight/inav/blob/master/docs/CLI.md>.
10. Myasishev A.A. Ispolzovanie platy ROBOTDYN MEGA2560 PRO dlya postroeniya poletnogo kontrollera geksakoptera / A.A. Myasishev // Herald of Khmelnytskyi National University.. – 2018. – № 3. – S. 171–179.
11. Miasyshchev A.A. Rezhymy polotu kontroleriv polotu APM 2.6 I PIXHAWK BPLA / A.A. Miasyshchev, V.V. Shvets // Herald of Khmelnytskyi National University.. – 2018. – № 1. – S. 78–82.
12. Miasyshchev A.A. Systema navihatsii bezpilotnoho nazemnoho aparata na ARDUINO / A.A. Miasyshchev, A.P. Faryna // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2018. – № 4. – S. 173–177.
13. U-center Windows. GNSS evaluation software for Windows. 2018. URL: <https://www.u-blox.com/en/product/u-center-windows>.
14. Flashing the OpenPilot bootloader on a CC3D or Flashing Beta/Borisflight Hex on a CC3D. 2015. URL: http://www.southquay3d.com/index.php?route=news/article&news_id=9.

Рецензія/Peer review : 9.1.2020 р. Надрукована/Printed : 14.2.2020 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

О.В. НАХАЙЧУК, Е.А. ЗАХАРОВА, А.А. МІЗРАХ, В.С. ГОРОБЧИШИНА
Вінницький інститут конструювання одягу і підприємництва

ВПЛИВ ПОКАЗНИКІВ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ НА КОМПРЕСІЙНИЙ ТИСК В СИСТЕМІ «ФІГУРА – СУКНЯ»

Авторами статті досліджено вплив конструктивних параметрів і структурної побудови жіночих суконь на ступінь їх комфортності в динамічних умовах. Обґрунтований вибір тих показників властивостей матеріалів, які спільно з конструктивними параметрами впливають на компресійний тиск. Отримана база даних для віртуального моделювання та відображення фізичної і психологічної взаємодії між фігурою і сукнею в статичних і динамічних умовах. Показана 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 навколо форми та створюваного ним тиску, викликаний одними і тими ж показниками властивостей текстильних матеріалів та їх розтягу та згині. Виявлені залежності між показниками властивостей текстильних матеріалів, виміряних на комплексі KES-F та виникаючим під оболонками в системі «фігура – одяг» компресійним тиском.

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
Vinnytsia Institute of Designing of Clothes and Entrepreneurship

THE INFLUENCE OF INDICATORS OF PROPERTIES OF TEXTILE MATERIALS ON COMPRESSION PRESSURE IN "FIGURE-DRESS" SYSTEM

The car explored various design parameters and those that were built by women's dresses to studio their comfort in dynamic conditions. The study selected and substantiated those who work on the power, which are shared with structural elements that have compression pressure. Database for virtual modelling and improvement of physical and psychological activity between internal and dry in statistical and dynamic situations was obtained. By trusting the perfection of KES-F for continuous management of woven textiles, you can use predicted shapes that form dry fabrics and remain under compression pressure on soft fabrics. A unified project for two processes is confirmed - to create dresses that create and create German pressure, withstand the ones that show the power textile enterprises and stretch and bend them. The existence of various delays between the indices of imperious textile materials, which work on KES-F complexes and create under compression shells in the system of "figure of clothing", was confirmed.

Key words: 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. При проектуванні швейних виробів існують тенденції відокремити вплив показників тих властивостей, які можна було б використовувати в САПР при розробці креслень одягу і через які можна впливати на її комфортність. Перевагу в даному питанні віддають одиничним показникам, що вимірюються на приладах або безпосередньо на ділянках фігур для певних видів одягу.

Однак база даних, яка би достатньо формалізувала вплив показників властивостей текстильних матеріалів та умов, необхідних і достатніх для прояви ними такого впливу в одязі, ще не сформована. Без неї неможливо якісне і реалістичне віртуальне проектування тривимірних систем «фігура – одяг».

У даній статті досліджено вплив конструктивних параметрів і структурної побудови жіночих суконь на ступінь їх комфортності в динамічних умовах. Оскільки вибір конструктивних параметрів суконь виконують з урахуванням показників властивостей матеріалів, то внесок останніх в забезпечення необхідних показників комфортності також вимагає вивчення і погодження з іншими виявленими факторами.

Метою дослідження став вибір і обґрунтування тих показників властивостей матеріалів, які спільно з конструктивними параметрами впливають на компресійний тиск.

Експериментальна частина

В якості вимірюваних величин були використані показники фізико-механічних властивостей текстильних матеріалів, показники обсягу систем «фігура – сукня», тиск сукні на поверхню тіла, органолептична оцінка комфортності сукні.

Дослідження були проведені з сукнею прилеглого силуету малооб'ємної форми з короткими рукавами, в якій основні лінійні конструктивні прибавки мали мінімально можливі значення: $P_{C3} = 1$, $P_{CT} = 1$, $P_{C6} = 1$, $P_{on} = 7$. Такі значення прибавок дозволять обраним матеріалам повністю реалізувати свої можливості в створенні компресійного тиску. Сукні були виготовлені з двох видів тканин (M1, M2) і одного трикотажного полотна (M3). З кожного матеріалу було виготовлено по п'ять суконь для отримання достовірних результатів.

Для даного дослідження були обрані найбільш популярні матеріали – дві бавовняні тканини, включаючи одну вибілену, і одне синтетичне трикотажне полотно. В якості основних характеристик матеріалів були прийняті показники фізико-механічних властивостей, виміряні на плоских пробах.

Текстильні матеріали [1] тестували за допомогою двох груп приладів: розривної машини РТ-250 (каф ТКШВ, КНУТД, м. Київ) і пристрою релаксометр-стійка для вимірювання деформації розтягу і автоматичного комплексу Kawabata KES-F [2].

Метою паралельного використання приладів двох груп був вибір кращого вимірювального комплексу. У перелік показників, вимірюваних на приладах першої групи, були включені одноциклові характеристики розтягу по основі, утоку і під кутом 45° ; розривні характеристики – зусилля розриву, H ; розривне видовження, (%) і нерозривні – лінійність кривої розриву «навантаження-видовження»; частка пружної деформації, (%). До другої групи були включені показники вигину, зсуву, розтягу і стиснення, виміряні на комплексі Kawabata. На комплексі Kawabata були виміряні 11 показників розтягу, зсуву і чистого вигину [3]. Випробування кожного з 11 показників проводили по п'ять разів при стандартних умовах. Чисельні значення показників наведені в табл. 1. Для кожного показника був розрахований коефіцієнт варіабельності, який показує значимість відмінностей між обраними для дослідження текстильними матеріалами з різними властивостями.

Таблиця 1

Показники фізико-механічних властивостей досліджених матеріалів

Характеристики та показники	№ п/п	Основа вздовж проби (0), уток поперек проби (y)	Значення показника для матеріалів			Cv
			Хл	Хл	ПЄФ85	
Склад волокон, %	1	-	Хл 100	Хл 100	ПЄФ85 Хл15	-
Поверхнева густина г/м ³	2	-	88	92	165	0,76
Переплетення	3		полотняне	полотняне	rib	
1. Показники першої групи, виміряна на вітчизняних приладах						
Доля пружної деформації розтягу, %	4	o	100,5	102,5	121,5	0,194
	5	y	107,5	111,5	132,5	0,213
	6	45 град.	120	125	127,5	0,06
Розривне навантаження, даН	7	o	14	20,8	14,2	0,42
	8	y	10,2	7	11,2	0,44
	9	45 град.	10,8	7	9	0,43
2. Показники другої групи, виміряні на комплексі KES-F						
Зсув (прилад KES-FB-1)						

Для показників розтягу матеріалів, виміряних на комплексі KES-F, середній коефіцієнт варіації становить 1,05, а для приладів першої групи (показники 4-6) лише 0,138, тобто на порядок нижче. Це свідчить про більш тонку диференціацію за допомогою KES-F досліджуваних матеріалів. Особливо істотні відмінності між матеріалами для показників розтягу і вигину WT, EMT і B.

Для вивчення комфортності суконь були обрані п'ять жіночих фігур приблизно одного соматичного типу та кольору шкіри з розмірними ознаками, близькими до типової фігури: P = 160, Oг3

Форму суконь з різних матеріалів оцінювали за обсягом повітряного зазору в системі «торс жіночої фігури – сукня». В якості комплексних показників обсягу суконь були взяті три об'ємні конструктивні прибавки (КПВ), що враховують можливий вплив морфології фігур на формування текстильної оболонки і показують обсяг повітря в підодяговому просторі. Схема формування КПВ показана на рис. 1, а вимірювали їх наступним чином: прибавку КПVOг3-Ог4 – безпосередньо під верхньою опорною поверхнею фігури, яка зазнає вплив її пластики, об'єднані прибавки КПVOг4-ПРО5, КПVO5 – розташовані між верхньою і нижньою опорними поверхнями, прибавку КПVO6-Об – безпосередньо над нижньою опорною поверхнею.

Значення об'ємних прибавок (таблиця 2) показують особливості формування текстильних оболонок з різних матеріалів навколо фігури. Наприклад, прибавка КПVOг3-Ог4, що обчислюється безпосередньо під опорною поверхнею фігури, має найменше абсолютне значення для всіх матеріалів з причини щільних контактів оболонок з поверхнею фігури; однак, коефіцієнт варіації в цій зоні має максимальне значення (Cv=1,6), що свідчить про явно виражений вплив матеріалів на форму оболонки. Нижче цієї зони вплив показників властивостей матеріалів стає менш явним, але значення об'ємних прибавок зростають.

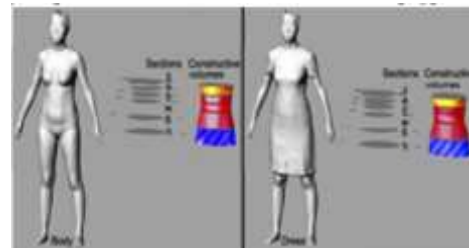


Рис. 1. Схема об'єднання фрагментів сукні в об'ємних конструктивних прибавках, отримані в програмі Rhinoceros зі сканованих систем «фігура – сукня»

Таблиця 2

Значення об'ємних конструктивних прибавок в системах «фігура – сукня»

Об'ємні конструктивні прибавки	Середнє значення об'ємної конструктивної прибавки, розрахованої для п'яти систем «фігура – сукня», см ³ , з різних матеріалів			Коефіцієнт варіації
Під верхньою опорною поверхнею				
КПВ _{ор3-ор4}	71,6	22,2	14	1,6
Між верхньою та нижньою опорною поверхнею				
КПВ _{ор4-ор5}	89,3	147,8	70,4	
КПВ _{ор5-ор6}	197,9	228,4	197,2	
КПВ _{ор6-ор6}	358,3	314,9	186,4	
Сума КПВ _{ор4-ор6}	645,5	691,1	454,3	0,4
Під нижньою опорною поверхнею				
КПВ _{ор6-ор6}	1617,9	1417,5	1417	0,14
Сумарна прибавка				
КПВ _{ор3-ор6}	2335	2130,8	1885	0,21

Примітки: 1. O_3 – охват грудей третій; O_m – охват талії; O_c – охват стегон; O_5 – охват талії посередині між рівнями O_{c4} та O_m ; O_6 – охват талії посередині між рівнями O_m та O_6 ; 2 – об'єм вибірки $n=5$.

Залежності між величинами об'ємних конструктивних прибавок і показниками властивостей матеріалів досліджували із застосуванням методу кореляційно-регресійного аналізу. Оскільки деякі показники KES-F можуть мати кореляцію між собою, то важливо вибрати незалежні показники. Для відбору незалежних показників, що впливають на форму суконь, був використаний наступний триступеневий алгоритм [4]:

- первинний відбір – проведення кореляційного аналізу між всіма показниками KES-F для виявлення незалежних факторів;
- вторинний відбір – порівняння впливу незалежних факторів в напрямку основи (уздовж полотна) і утку (поперек полотна) на показники форми і тиску: якщо підтверджувався аналогічний вплив в обох напрямках, то фактор приймався; якщо вплив підтверджувалося тільки в одному напрямку, то фактор відхилявся;
- остаточний відбір незалежних факторів за результатами попередніх етапів. Були проаналізовані всі парні зв'язку між показниками KES-F і значеннями сумарної КПВ. Кореляційна матриця наведена в табл. 3.

Таблиця 3

Коефіцієнти лінійної парної кореляції між показниками властивостей матеріалів і об'ємною конструктивною прибавкою

Показник та напрямок вимірювання		Коефіцієнт кореляції	Показник та напрямок вимірювання		Коефіцієнт кореляції
G	основа	0,1557	B	основа	0,591072
	уток	0,265463		уток	0,5625
2HG	основа	-0,46909	2HB	основа	0,5925
	уток	-0,44795		уток	0,5975
2HG5	основа	0,3725	LC	-	-0,56228
	уток	0,425	WC	-	-0,5975
LT	основа	0,5575	RT	-	-0,30866
	уток	0,4591	TO	-	-0,4475
WT	основа	-0,5515	TM	основа	-0,52488
	уток	-0,60484	MIU	уток	0,2775
RT	основа	-0,501186	MMD	основа	0,2775
	уток	-0,575		уток	0,6225

Примітка: критичний коефіцієнт кореляції (для $n = 15$, $p = 90\%$) становить $r_{крит} = 0.412$

Після перевірки значимості зв'язків, що існують між показниками з табл. 1, адекватності дії показників уздовж основи та утку на обсяг суконь, був сформований наступний ряд з найбільш важливих показників (в порядку зменшення їх впливу на обсяг суконь по середньому значенню коефіцієнта кореляції для основи та утку):

$$WC (-0,5975) - 2HB (0,595) - B (0,5763) - RT (-0,5375) - LT (0,5087) [- 2HG5 (0,3988)]. \tag{1}$$

В остаточну модель для прогнозування величин КПВ включені ті показники, схеми вимірювання яких при випробуваннях на приладах KES-F можуть моделювати реальні процеси формування текстильної оболонки навколо фігури:

- З групи показників розтяг – лінійність кривої «навантаження – розтяг/пауза» LT у вигляді середнього значення по основі і утоку, що показує рівномірність зростання напруги всередині матеріалу при його розтягу. Стосовно формоутворення текстильної оболонки цей показник може бути віднесений до її здатності чинити опір адаптації під пластику фігури. Чим нижче значення LT, тим важче змінити форму оболонки і тим більшим буде компресійний тиск під нею.

- З групи показників вигину – жорсткість при вигині В у вигляді середнього значення по основі і утоку, що показує здатність текстильної оболонки чинити опір вигину навколо фігури. Чим вище значення В, тим важче згинається матеріал, і тим більше буде компресійний тиск під ним.

Рівняння для розрахунку об'ємних до конструктивних прибавок на різних рівнях торса мають вигляд (статистична значимість рівнянь перевірена за критеріями Фішера ($F_{\text{крит}} = 2,4$) і Стьюдента, а також по коефіцієнту множинної кореляції) для $n = 15$, $p = 95\%$:

$$\begin{array}{ll} \text{рівні вимірювання прибавки} & \text{рівняння і критерії Фішера} \\ O_{r3}-O_{r4} & \text{КПВ}_{O_{r3}-O_{r4}} = 323,77 \text{ В} \end{array} \quad (2)$$

$$F = 2,58$$

$$\begin{array}{ll} O_{r4}-O_6 & \text{КПВ}_{O_{r4}-O_6} = 1381,2 \text{ LT}-358,34 \end{array} \quad (3)$$

$$F = 19,64$$

$$\begin{array}{ll} O_6-O_{r5} & \text{КПВ}_{O_6-O_6} = 1680+1291,4\text{В} \end{array} \quad (4)$$

$$F = 4,33$$

$$\begin{array}{ll} O_{r3}-O_6 & \text{КПВ}_{O_{r3}-O_6} = 1374+844,4\text{LT}+1480\text{В} \end{array} \quad (5)$$

$$F = 14,85$$

де КПВ – об'ємні конструктивні прибавки, см^3 ; LT – середнє значення лінійності кривої «навантаження – розтяг/пауза по основі та утоку при навантаженні 500 сН/см, %; В – середнє значення жорсткості при згині по основі та утоку, $\text{сН}\cdot\text{см}^2/\text{см}$. З рівнянь (2–5) видно, що обидва відібраних показника збільшують обсяг сукні, що підтверджує правильність припущення про їх вплив на форму сукні. Таким чином, обґрунтований механізм прогнозування обсягу фрагментів форми жіночих суконь за допомогою показників фізико-механічних властивостей тканин, виміряних на приладах KES-F.

Висновки

1. 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.

2. Підтверджений єдиний механізм для двох процесів – формоутворення суконь навколо форми та створюваного нею тиском, що викликаний одними і тими ж показниками властивостей текстильних матеріалів під час їх розтягу та згину.

3. Отримані залежності між показниками властивостей текстильних матеріалів, виміряних на комплексі KES-F та виникаючим під оболонками в системі «фігура – одяг» компресійним тиском, які можуть бути використані для віртуального моделювання та відображення фізичної і психологічної взаємодії між фігурою і сукнею в статичних і динамічних умовах.

Література

1. <http://www.tekscan.com/ess301-announcement>.
2. Ito N. The relation among the biaxial extension properties of Girdle clothes and wearing comfort and clothing pressure of girdles / N. Ito, M. Inoue // Journal of the Japan Research Association for Textile End-Uses. – 1995. – 36. No. 1. – P. 102–8.
3. Нахайчук О.В. Дослідження зносостійкості бавовняних тканин лікувально-бандажних виробів / О.В. Нахайчук, Е.А. Захарова, В.В. Мица, В.І. Музичук // Проблеми трибології. – 2016. – № (1). – С. 37–41.
4. Ciesielska-Wrobel I.-L. The hand of textiles – definitions, achievements, perspectives – a review / I.-L. Ciesielska-Wrobel, L.V. Langenhove // Textile Research Journal. – 2012. – 82(14). – P. 1457–1468.

References

1. <http://www.tekscan.com/ess301-announcement>.
2. Ito N. The relation among the biaxial extension properties of Girdle clothes and wearing comfort and clothing pressure of girdles / N. Ito, M. Inoue // Journal of the Japan Research Association for Textile End-Uses. – 1995. – 36. No. 1. – P. 102–8.
3. Textile End-Uses. – 1995. – 36. No. 1. – P. 102–8.
4. Nakhaichuk O.V. Doslidzhennia znosostiikosti bavovnianykh tkanyn likuvalno-bandazhnykh vyrobiv / O.V. Nakhaichuk, E.A. Zakharova, V.V. Mytsa, V.I. Muzychuk // Problemy trybolohii. – 2016. – № (1). – S. 37–41.
5. Ciesielska-Wrobel I.-L. The hand of textiles – definitions, achievements, perspectives – a review / I.-L. Ciesielska-Wrobel, L.V. Langenhove // Textile Research Journal. – 2012. – 82(14). – P. 1457–1468.

Рецензія/Peer review : 10.1.2020 р.

Надрукована/Printed : 14.2.2020 р.

Рецензент: к.ф.-м.н., доцент Шньорко В.М.

DOI 10.31891/2307-5732-2020-281-1-184-191

УДК 621.391 160164

А.О. НІЧЕПОРУК, А.А. НІЧЕПОРУК, О.В. ФЕГИР, А.Д. КАЗАНЦЕВ, Ю.О. НІЧЕПОРУК
Хмельницький національний університет

МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ DDoS АТАК НА ІОТ МЕРЕЖІ

В роботі представлено метод виявлення DDoS атак на IoT-мережі, що заснований на використанні логістичної регресії. Запропонований метод складається з двох етапів: *offline* та *online*. Головною метою *offline* етапу є створення моделі класифікатора, яка буде в подальшому використана в процесі виконання *online* етапу. Шляхом моніторингу мережевого трафіку в режимі реального часу етап *online* здійснює виявлення DDoS атак на основі використання сформованої на етапі *offline* моделі класифікатора. Процес виявлення передбачає розбиття спостережуваного періоду моніторингу трафіку на 10 відрізків та визначення на кожному з них проміжних результатів. Висновок про наявність DDoS атаки здійснюється на основі порівняння середнього значення серед всіх проміжних результатів класифікації з пороговим значенням виявлення. У випадку перевищення порогового значення робиться висновок про наявність DDoS атаки.

Ключові слова: DDoS атака, IoT, класифікатор, мережевий трафік.

A.O. NICHOPORUK, A.A. NICHOPORUK, O.V. FEHYR, A.D. KAZANTSEV, Y.O. NICHOPORUK
Khmelnyskyi National University

METHOD OF DETECTING DDoS ATTACKS ON IOT NETWORKS

The paper presents a method for detecting DDoS attacks on an IoT network based on the use of logistic regression. With limited computing power and available memory on IoT networks, the use of logistic regression is dictated by the low computational complexity and ease of implementation. The proposed method consists of two steps: *offline* and *online*. The main purpose of the *offline* stage is to create a classifier model that will be further used in the *online* stage execution process. The main purpose of the *offline* stage is that in during training the logistic classifier model, the entire training data set is split into two sets. The first dataset is labeled and will be used to train the logistic regression classifier. The second dataset is also labeled and used for validation. The training algorithm does not use validation dataset labels, instead they are used to test the predicted output of the classifier. By monitoring network traffic in real time, the *online* stage detects DDoS attacks based on the use of the *offline* classifier model. The detection process involves splitting the monitored monitoring period into 10 segments and identifying intermediate results on each of them. The conclusion that a DDoS attack is present is based on a comparison of the mean among all the intermediate classification results with the detection threshold. If the threshold is exceeded, it is concluded that a DDoS attack is present. According to the results of a study using the developed software, the highest efficiency of DDoS detection of TCP SYN attacks was achieved at the level of 91%. However, with the highest detection efficiency, the type 1 error rate was also the highest, at 10%. After carrying out 10 experiments, the average values of statistical indicators were determined, in particular the accuracy value was 89.9%, and the level of false positives was 9.6%.

Keywords: DDoS attack, IoT, classifier, network traffic.

Вступ

Зростаюча популярність IoT (або “інтернет речей”) надає широкі можливості для покращення, планування та автоматизації нашого життя. IoT дозволяє поєднувати в мережу та керувати множиною пристроїв, які забезпечують збір, аналіз та передачу даних. Сфера застосування IoT з кожним роком продовжує розширюватися, охоплюючи нові сфери життя, починаючи від розумних будинків, міст та закінчуючи сферою охорони здоров’я.

Проте разом із очевидними перевагами та зручностями, що несе із собою використання IoT, концепція “інтернет речей” залишає для зловмисників ряд потенційних “вузьких” місць у безпеці таких систем. Персональні дані, зібрані IoT-пристроями, завжди мають цінність для хакерів і викрадачів конфіденційної інформації. Крім того, кібератака на IoT-рішення потенційно здатна завдати шкоди фізичним сервісам та фізичній інфраструктурі.

Згідно з доповіддю Arbor Security [1], атаки DDoS на IoT системи були найбільш домінуючим видом атаки у 2017 році, а 65% всіх атак, виявлених у 2016 році, були об’ємною атакою DDoS. Атака Mirai DDoS [2], яка є найбільш масовою DDoS атакою, була здійснена шляхом інфікування незахищених пристроїв IoT. На сьогоднішній день найпоширенішими DDoS-атаками є TCP, UDP, SYN та DNS атаки. Через обмеження в пам’яті, обробці, енергетичних обмеженнях та неоднорідному характері пристроїв IoT реалізація систем захисту та безпеки в таких пристроях є складною та актуальною проблемою.

Попередні дослідження

На сьогоднішній день проблемі виявлення вторгнень в IoT мережі присвячується значена увага. Серед основних напрямків по виявленню DDoS атак 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. Розглянемо детальніше відомі підходи до виявлення DDoS атак у IoT мережах.

У роботі [3] було запропоновано алгоритм захисту IoT мереж перед DDoS-атаками, 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 методу сильно залежить від обмежених ресурсів кожного бота.

Хостова система на основі виявлення та запобігання вторгнень (IoT-IDM) у IoT мережах представлена у роботі [4]. Система IoT-IDM відстежує зловмисну активність та блокує доступ до пристроїв за допомогою програмно визначених програмних мереж (SDN) з використанням протоколу OpenFlow. Після того, як атака в оточенні SmartHome виявлена на рівні мережі, IoT-IDM створює політику для блокування та переміщення інфікованих хостів у карантин. Проте слід відзначити, що оцінка роботи IoT-IDM проводилася лише за допомогою сценарію атаки проти smart ламп. Окрім того, система IoT-IDM має обмежені можливості для додавання нових пристроїв у ручному режим, що ускладнює користувачам роботу з нею.

На відміну від системи IoT-IDM та його аналізу пакетів, автори роботи [5] змінили вихідний код з IoT ботнета Mirai та розгорнули доброякісний ботнет. Цей ботнет використовує ту саму компрометуючу техніку для сканування та створення списку вразливих пристроїв та служб протидії інфікуванню, які залучаються при виявленні вразливості. Для уникнення подальшого інфікування та запобігання подальшому поширенню з вихідного коду, що розроблявся для атаки на сервери telnet, SSH та HTTP, було видалено всі зловмисні функції. Незважаючи на те, що всі функції атаки були видалені та враховуючи технічну доцільність такої стратегії, автор визнає, що підхід порушує закони у багатьох юрисдикціях, враховуючи відсутність географічних меж таких ботнетів.

У роботі [6] авторами запропоновану систему виявлення вторгнень (IDS) на основі обробки подій для IoT. Ця система заснована на специфікаціях та використовує методи оброблення події для виявлення атак. Запропонована система збирає дані з пристроїв IoT, отримує список подій та виконує виявлення DDoS атак шляхом зіставлення списку подій із наборами правил, що зберігаються в сховищі правил.

У роботі [7] запропоновано алгоритм виявлення DDoS атак на основі використання інформаційних метрик. Авторами представлено два статистичні показники, узагальнену ентропію та інформаційну відстань для виявлення швидкоплинних DDoS-атак. В основі представленої роботи робиться припущення про різний розподіл мережевого трафіку. Так у випадку відсутності DDoS атаки розподіл трафіку підкорюється Гаусівському закону, тоді як під час атаки розподіл мережевого трафіку – закону Пуассона. Рішення про інфікування приймається на основі різниці в інформаційних показниках між легітимним та шкідливим трафіком.

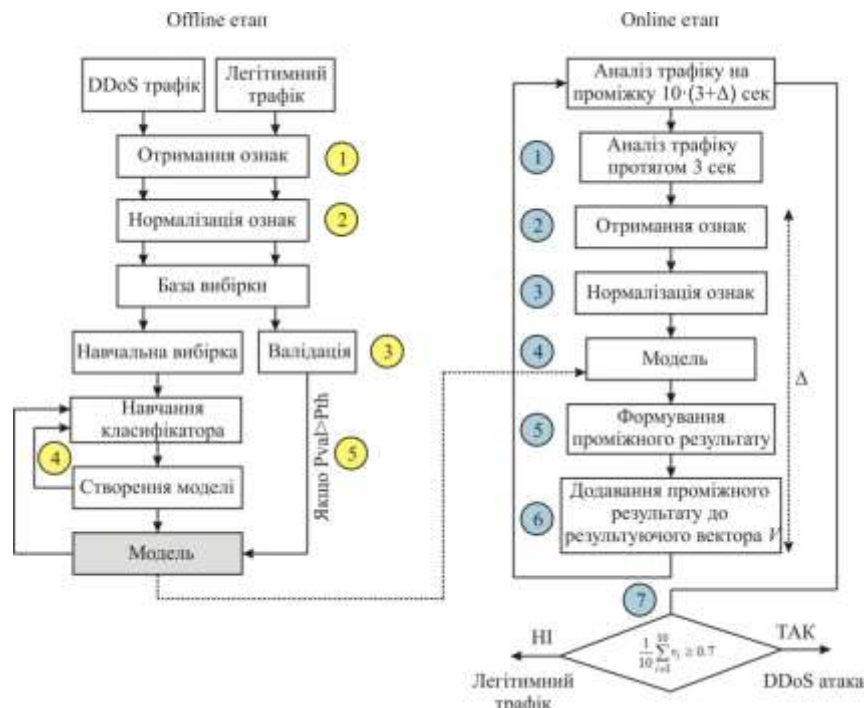


Рис. 1. Узагальнена схема методу виявлення DDoS атак на IoT-мережі

Ще один підхід заснований на обчисленні ентропії представлений у роботі [8]. Автори розробили IDS систему, що заснована на зміні розмірів пакетів ентропії інформації при DDoS атаці на IoT мережу. Результати їх експериментів, що представлений підхід здатний здійснити виявлення як короткочасних, так і довгострокових атак.

Підхід, який для виявлення бот-мереж в IoT залучає штучну нейронну мережу, що використовується для навчання ефективних кодувань, представлено у роботі [9]. В основі підходу лежить принцип навчання нейронної мережі для кожного IoT вузла в мережі. В результаті множини експериментів авторами було продемонстровано високий рівень ефективності виявлення із незначним рівнем хибних спрацювань. Однак завдяки навчанню автокодувальника для кожного пристрою обчислювальна складність запропонованого методу є високою, що унеможливує його масштабування та розгортання в існуючих IoT

мережах.

Метод виявлення DDoS атак на IoT мережі

З метою підвищення ефективності виявлення DDoS атак у мережах інтернету речей запропоновано метод на основі використання логістичного класифікатора, що складається з двох етапів: offline та online. Узагальнену схему методу виявлення DDoS атак на IoT-мережі наведено на рис. 1. Розглянемо детальніші кроки запропонованого методу.

Класифікатор на основі логістичної регресії

В якості класифікатора, що використовується у запропонованому методі виявлення DDoS атак на IoT-мережі використано метод логістичної регресії.

Метод логістичної регресії визначає взаємозв'язок між категоріально залежною змінною та однією або кількома незалежними змінними шляхом оцінки ймовірностей за допомогою логістичної функції. Незалежні змінні $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ – це ознаки або вхідні дані, які будуть використовуватись для прогнозування цілі, залежною змінною є змінна класу цілі або вихідні дані Y , які необхідно передбачити зі значеннями 0 або 1. Тобто класифікатор на основі логістичної регресії здійснює визначення імовірності P належності вхідного об'єкта X , що заданий множиною незалежних змінних x_1, x_2, \dots, x_n , до одного із класів, тобто $Y=C$, де значення C приймає 0 або 1. В нашому дослідженні значенню 1 відповідатиме наявність підозрілої активності у мережевому трафіку, що свідчить про DDoS атаку. Натомість значенню 0 відповідає категорія легітимний трафік, в якому відсутні ознаки DDoS атаки. У випадку бінарного класифікатора K , рішення про віднесення досліджуваного об'єкта до одного із класів приймається в залежності від порогового значення φ :

$$K = \begin{cases} Y = 1, & \text{if } P \geq \varphi, \\ Y = 0, & \text{if } P < \varphi, \end{cases} \quad (1)$$

В основі класифікатора застосовується сигмоїдна функція:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-Z}} \quad (2)$$

Тоді для обчислення імовірності належності вхідного об'єкта X , до класу, що визначає наявність DDoS атаки визначається як:

$$P(Y = 1 / X) = \frac{1}{1 + e^{-Z}} \quad (3)$$

Аналогічним чином, беручи до уваги, що змінна Y приймає тільки два значення 0 та 1, імовірність належності об'єкта X до класу, що відповідає легітимному трафіку, визначається так:

$$P(Y = 0 / X) = 1 - P(Y = 1 / X) \quad (4)$$

де у виразах 3.3 та 3.4 значення Z обчислюється як:

$$Z = \theta^T X = \theta_0 + \theta_1 x_1 + \theta_2 x_2 + \dots + \theta_n x_n \quad (5)$$

де x_1, x_2, \dots, x_n n ознак, що надходять на вхід до класифікатора, $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$ коефіцієнти регресії.

Для навчання або підбору параметрів $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$ необхідно скласти навчальну вибірку, що складається із наборів значень незалежних змінних та відповідних їх значень залежної змінної. Формально, це множина пар $(x^{(1)}, y^{(1)}), \dots, (x^{(m)}, y^{(m)})$, де $x^{(i)} \in R^n$ – вектор значень незалежних змінних, а $y^{(i)} \in \{0, 1\}$ – відповідне їм значення y . Кожна така пара називається навчаючим прикладом.

Для навчання класифікатора на основі логістичної регресії використовується метод максимальної правдоподібності, згідно із яким вибираються параметри θ_i , що максимізують значення функції правдоподібності на навчальній вибірці:

$$\hat{\theta} = \arg \max_{\theta} L(\theta) = \arg \max_{\theta} \prod_{i=1}^m P\{y = y^i / x = x^i\} \quad (6)$$

Оскільки максимізація функції правдоподібності еквівалента максимізації її логарифму, то можна записати вираз 3.6 наступним чином:

$$\log L(\theta) = \sum_{i=1}^m \log P\{y = y^i / x = x^i\} \quad (7)$$

Для максимізації цієї функції може бути застосований, наприклад, метод градієнтного спуску. Він полягає у виконанні наступних ітерацій, починаючи з деякого початкового значення параметрів θ_i :

$$\theta := \theta + \alpha \nabla \log L(\theta) = \theta + \alpha \sum_{i=1}^m (y^{(i)} - f(\theta^T x^{(i)})) x^{(i)}, \alpha > 0 \quad (8)$$

Offline етап

Головною метою Offline етапу є створення моделі класифікатора, яка буде в подальшому

використана в процесі виконання Online етапу. Наведемо кроки offline етапу для методу виявлення DDoS атак на IoT-мережі (рис. 1):

На основі множини зразків легітимного та DDoS трафіку отримання ознак, на основі яких здійснюватиметься навчання моделі класифікатора.

Нормалізації отриманих ознак та приведення їх значення до дійсних чисел в діапазоні від 0 до 1. Отримання бази вибірки.

Розбиття бази вибірки на дві частини у співвідношенні 80% до 20%, тобто навчальну вибірку та вибірку для валідації відповідно.

Навчання класифікатора.

Виконання навчання класифікатора на множині тестових даних.

Перевірка створеної моделі класифікатора на даних для валідації. Якщо імовірність належності значення прикладу із даних для валідації до одного із класів більша за 0,9, то включення цього прикладу до моделі.

Розглянемо детальніше кроки Offline етапу.

Розмежування поведінки між легітимним та DDoS трафіком здійснюється на основі аналізу пакетів, які функціонують у IoT-мережі. В процесі моніторингу мережевого трафіку здійснюється відбір ознак із пакетів, що дозволяють ідентифікувати DDoS атаку. В запропонованому методі цими ознаками є: розмір пакету, часовий інтервал надходження пакетів, різниця між розміром пакетів, тип протоколу та IP адреса призначення.

Всі значення ознак отримуються з pcap файлів із використанням утиліти wireshark та NetworkTrafficView.

Таким чином для кожного екземпляру легітимного та DDoS IoT-трафіку, що представлений у .pcap файлі буде отримано вектор ознак у форматі CSV (comma separated vector):

$$X = \langle x_{ps}, x_{\Delta t}, x_{\Delta s}, x_{pr}, x_{ip} \rangle \quad (9)$$

Всі вектори ознак були згруповані у два файли: один для легітимного трафіку, інший для DDoS трафіку.

З метою приведення різнорідних даних до чисел в діапазоні дійсних чисел від 0 до 1 наступним кроком є нормалізація значень векторів ознак з використанням мін-макс нормалізації:

$$x' = \frac{x - \min x}{\max x - \min x}, \quad (10)$$

де x' – нормалізоване значення ознаки, $\min x$ та $\max x$ – мінімальне та максимальне значення ознаки x у навчальній вибірці відповідно.

Наступним кроком offline етапу є розбиття бази вибірки на дві частини у співвідношенні 80% до 20%. Перший набір даних є маркованим, і він буде використовуватися для тренування класифікатора на основі логістичної регресії. Він був позначений як навчальний набір даних. Другий набір даних також є маркованим і використовується для валідації, ми позначили його як набір даних для валідації. Алгоритм навчання не використовує мітки набору даних валідації, натомість мітки використовуються для перевірки передбачуваного виходу класифікатора.

Запропонована система виявлення для класифікатора на основі логістичної регресії використовує напівавтоматичний алгоритм машинного навчання.

Етап навчання складається з двох кроків. На першому кроці етапу навчання навчальний набір даних, завантажується в алгоритм навчання. Кожен рядок навчального набору даних є навчальним прикладом з шістьох ознак $\langle x_{ps}, x_{\Delta t}, x_{\Delta s}, x_{pr}, x_{ip} \rangle$ та мітки (Y). Мітка приймає значення або 1, або 0 (DDoS атака або легітимний трафік).

За допомогою навчального набору даних алгоритм тренування здійснює обчислення набору коефіцієнтів θ_i із залученням методу найбільшої правдоподібності (3.7, 3.8).

На другому кроці коефіцієнти, що отримані на першому кроці, підставляються у вираз 3.5 для обчислення значення Z для кожного навчального прикладу з набору даних валідації. Після визначення значення Z виконуємо обчислення логістичної функції, і таким чином, ймовірності того, що навчальний приклад належить до класу 1 та 0, використовуючи рівняння 3.3 та 3.4 відповідно. Таким чином дані, з розміченого набору даних, що мають високий ступінь належності до одного із класів будуть додані до початкового тестового набору для підвищення ефективності роботи класифікатора.

Розмічені дані включаються у навчальну вибірку, якщо їх ступінь належності до одного із класів C більший за значення P_{th} :

$$P(Y = C / X) \geq P_{th} \quad (11)$$

Значення P_{th} є пороговим значенням імовірності включення навчального прикладу до навчальної моделі класифікатора. Навчальні приклади, що продемонстрували низький ступінь довіри, не будуть додані до навчального набору даних.

Online етап

Етап online здійснюється для безпосереднього виявлення DDoS атак в мережах Інтернету речей та

передбачає виконання наступних кроків:

Аналіз мережевого трафіку протягом 3 сек;

Отримання ознак;

Нормалізації отриманих ознак та приведення їх значення до дійсних чисел в діапазоні від 0 до 1;

Використовуючи модель класифікатора, що була створена на етапі offline, виконання класифікації мережевого трафіку;

Формування проміжного результату;

Додавання проміжного результату класифікації до результуючого вектора V .

Повторення кроків 1–6 десять разів;

На основі десяти значень результатів класифікації визначення результуючого результату про наявність DDoS атаки.

Розглянемо детальне кроки online етапу для методу виявлення DDoS атак в IoT-мережах.

Першим кроком online методу є моніторинг мережевого трафіку протягом визначеного часового інтервалу. Визначення часового інтервалу для збору записів із мережевого трафіку має велике значення. Якщо збір проводиться через тривалі інтервали, то буде значна затримка для виявлення нападу і, як наслідок, скорочення часу, необхідного для блокування DDoS атаки. З іншого боку, якщо інтервал часу для моніторингу буде занадто коротким, відбудеться збільшення накладних витрат на збір та опрацювання ознак. У нашому дослідженні в якості часового інтервалу, на протязі якого здійснюється моніторинг трафіку, було обрано 3 сек.

Другий та третій крок online етапу, що передбачають отримання ознак та їх нормалізація аналогічні першому та другому кроку offline етапу методу виявлення DDoS атак в IoT-мережах.

Наступний крок online етапу передбачає використання моделі класифікатора, що був створений на етапі online. З цією метою здійснюється залучення логістичної функції, у яку підставляються значення отриманих ознак з мережевого трафіку, що отримані на другому та третьому кроці методу. Слід відзначити, що значення коефіцієнтів θ_i отримуються в процесі навчання класифікатора на етапі offline. В результаті висновок про наявність DDoS атаки здійснюється на основі використання формули 1. Значення коефіцієнта φ було обрано на рівні 0,5. Тобто, висновок про наявність DDoS атаки приймається, якщо значення імовірності, що обчислене в результаті підстановки ознак у логістичну функцію буде більше або дорівнювати значенню 0,5. У такому випадку значення проміжного результату складе $v_j = 1$, де $j = \overline{1,10}$. В іншому випадку значення $v_j = 0$. Визначене таким чином значення часткового результату додається до результуючого вектора V .

Для визначення остаточного результату про наявність DDoS атаки на IoT-мережу здійснюється визначення середнього арифметичного для всіх проміжних результатів класифікації та порівняння із пороговим значенням рівня виявлення:

$$\frac{1}{10} \sum_{j=1}^{10} v_j \geq 0.7 \quad (12)$$

Таким чином online етап виявлення DDoS атак передбачає моніторинг мережевого трафіку на проміжку $10 \cdot (3 + \Delta)$ сек, тобто розбиття спостережуваного періоду моніторингу на 10 відрізків та визначення на кожному з них проміжних результатів. Слід відзначити, що час моніторингу на кожному відрізку визначається сумою часу безпосереднього моніторингу та часу, що витрачається на отримання ознак, нормалізацію та класифікацію. На кожному з відрізків час моніторингу складає 3 сек.

Експерименти

Для проведення експериментальних досліджень по перевірці ефективності запропоновано методу виявлення DDoS-атаки необхідним завданням є генерація легітимного та DDoS мережевого трафіку. Спочатку було згенеровано DDoS та легітимний трафік окремо, а потім дві множин трафіку були поєднані разом в одну навчальну вибірку.

Отримання DDoS-трафіку

Для створення DDoS-трафіку було використано дві комп'ютерні системи з операційною системою Kali Linux, що працюють у віртуальному середовищі Oracle VirtualBox, одна з яких виступала цільовою платформою для DDoS атаки, а інша – комп'ютерна система. Обидві комп'ютерні системи були підключені до однієї мережі Wi-Fi. Мережевий трафік на машині жертви збирався за допомогою утиліти Wireshark. Потіки TCP SYN і UDP flood були згенеровані за допомогою утиліти hping3, що входить до операційної системи Kali Linux. Вигляд запуску команди генерування DDoS атаки TCP SYN наведено на рис. 2.

```
root@kali:~# hping3 --flood -S -p 80 10.37.129.3
HPING 10.37.129.3 (eth0 10.37.129.3): S set, 40 headers + 0 data bytes
hping in flood mode, no replies will be shown
```

Рис. 2. Запуску DDoS атаки TCP SYN на цільову комп'ютерну систему з IP адресою 10.37.129.3

Як видно з першої половини рис. 4, середній час реакції ping в нормальних умовах становить 0,6 мс. Відразу після ініціювання атаки час реакції ping збільшився в середньому до 300 мс. Потрібно відзначити,

що в цьому експерименті в атаках використовується лише одна машина. В реальних умовах атака, яка проводиться із залученням багатьох зомбі-комп'ютерів, число яких може досягати тисяч комп'ютерних систем, наслідки атаки були б значно руйнівнішими. Значення ring, на протязі всього часу проведення DDoS атаки наведено на рис. 3.

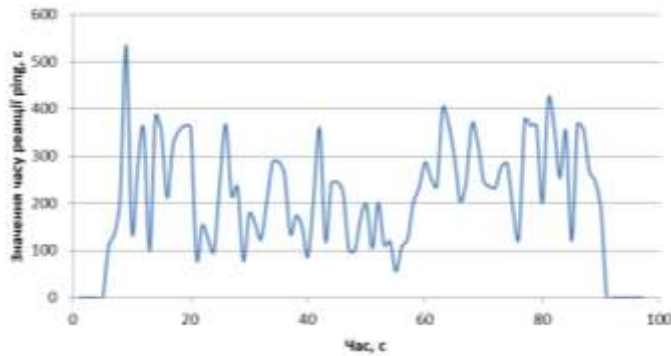


Рис. 3. Значення ring, на протязі проведення DDoS атаки



Рис. 4. Скріншот реакції ring до початку DDoS атаки TCP SYN та після (стрибокподібне збільшення часу реакції)

Для проведення експерименту DDoS атака тривала приблизно 1,5 хвилини для кожного з протоколів. В результаті було захоплено близько 600 000 пакетів.

Отримання легітимного трафіку

Для збору легітимного трафіку було використано два пристрої IoT, які регулярно взаємодіяли протягом приблизно 12 хвилин. Перший пристрій – датчики руху Fibaro1, які вимірює температуру, освітленість, рух та акселерометр. Датчик підключається через контролер Z-Wave до комп'ютера та інтегрується з OpenHab2. Трафік цього пристрою збирався в автономному режимі на локальному хості. Другий IoT датчик – це модуль камери Raspberry Pi Camera Module V2, що був підключений до Raspberry Pi, та використовувався для передачі потокового відео та розпізнавання обличчя. Камера зафіксувала нерозпізнані обличчя та надіслала зображення в службу простого зберігання (AWS-S3) Amazon Web Service, а також виконувала прямі трансляції. Камера передала з високою якістю HD на машину на базі Ubuntu, а тривалість захоплення трафіку становила близько 4 хвилини.

Таким чином в результаті проведення збору зразків трафіку було отримано навчальну вибірку розміром 24 000 записів, з яких 14 234 були промарковані як DDoS трафік, а 9766 відповідали легітимному трафіку.

Оцінка ефективності виявлення DDoS атак на IoT мережі

З метою визначення ефективності виявлення DDoS атак на IoT мережі було проведено множинну експериментів з використанням методу DDoS атак на основі методу логістичної регресії. З цією метою запропонований метод був реалізований у вигляді програмного забезпечення.

Для обчислення показників ефективності було використано 10-fold перехресну перевірку. З цією метою 90% всієї множини тестових даних було використано для навчання моделі і 10% для тестування. Така процедура вибору даних проводилась десять разів, кожного разу вибираючи іншу послідовність для навчання та тестування. Такий алгоритм вибору даних дозволяє змоделювати ситуацію виявлення zero-day шкідливого програмного забезпечення. Загальна ефективність роботи методу визначалась як середнє значення показників ефективності на кожному з десяти етапів тестування. Після кожного етапу тестування було обраховано значення accuracy, precision, recall та F1:

Ефективність виявлення:

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}, \quad (13)$$

Точність виявлення:

$$precision = \frac{TP}{TP + FP}, \quad (14)$$

Повнота виявлення:

$$recall = \frac{TP}{TP + FN}, \quad (15)$$

F1 міра:

$$F1 = 2 \cdot \frac{precision \cdot recall}{precision + recall}, \quad (16)$$

де TP – кількість вірно виявлених вірусних програм, FN – кількість хибно класифікованих вірусних програм, TN – кількість вірно ідентифікованих корисних програм, FP – кількість корисних програм неправильно класифікованих як вірусні програми.

Результати експериментальних досліджень наведені у таблиці 1. За результатами проведеного дослідження найвища ефективність виявлення була досягнута на рівні 91%. Проте при найвищому значенні ефективності виявлення рівень помилки першого роду також був найвищий та складав 10%. Після проведення 10 експериментів було визначено середні значення статистичних показників, зокрема значення асигасу становило 89,9%, а рівень хибних спрацювань складав 9,6%. Результати асигасу та помилок першого роду під час проведення 10 експериментів наведено на рис. 5.

Таблиця 1

Результати експериментальних досліджень

№	Спостереження				Метрики			
	TP	FP	TN	FN	Precision	Recall	F1	Accuracy
1	12910	1324	8679	1087	0,9070	0,9223	0,9146	0,8995
2	12936	1298	8777	989	0,9088	0,9290	0,9188	0,9047
3	12809	1425	8664	1102	0,8999	0,9208	0,9102	0,8947
4	13076	1158	8887	879	0,9186	0,9370	0,9277	0,9151
5	12847	1387	8746	1020	0,9026	0,9264	0,9143	0,8997
6	12660	1574	8670	1096	0,8894	0,9203	0,9046	0,8888
7	12766	1468	8867	899	0,8969	0,9342	0,9152	0,9014
8	12782	1452	8803	963	0,8980	0,9299	0,9137	0,8994
9	12866	1368	8561	1205	0,9039	0,9144	0,9091	0,8928
10	12936	1298	8442	1324	0,9088	0,9072	0,9080	0,8908
Сер.	12859	1375	8710	1056	0,9034	0,9242	0,9136	0,8987

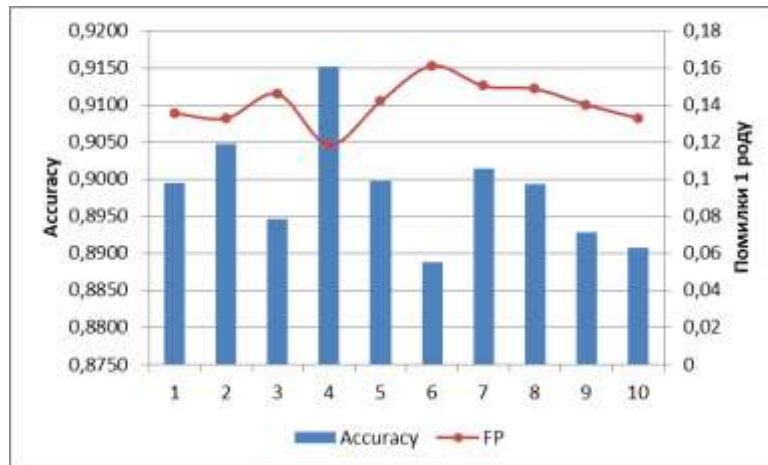


Рис. 5. Значення асигасу та помилок першого роду при проведенні 10 кратної перехресної перевірки

Висновок

Розроблено метод виявлення DDoS атак у IoT-мережах, що заснований на використанні логістичної регресії. В умовах обмежених обчислювальних потужностях та обсягах доступної пам'яті у мережах IoT, використання методу логістичної регресії продиктоване невисокою обчислювальною складністю та простотою його реалізації. Запропонований метод складається з двох етапів: offline та online. Головною метою offline етапу є створення моделі класифікатора, яка буде в подальшому використана в процесі виконання online етапу. Особливістю offline етапу є те, що в процесі навчання моделі логістичного класифікатора весь набір навчальних даних розбивається на два набори. Перший набір даних є маркованим, і він буде використовуватися для тренування класифікатора на основі логістичної регресії. Другий набір даних також є маркованим і використовується для валідації. Алгоритм навчання не використовує мітки набору даних валідації, натомість мітки використовуються для перевірки передбачуваного виходу класифікатора.

Шляхом моніторингу мережевого трафіку в режимі реального часу етап online здійснює виявлення DDoS атак на основі використання сформованої на етапі offline моделі класифікатора. Процес виявлення передбачає розбиття спостережуваного періоду моніторингу на 10 відрізків та визначення на кожному з них проміжних результатів. Висновок про наявність DDoS атаки здійснюється на основі порівняння середнього значення серед всіх проміжних результатів класифікації з пороговим значенням виявлення. У випадку перевищення порогового значення робиться висновок про наявність DDoS атаки.

За результатами проведеного дослідження із застосування розробленого програмного забезпечення найвища ефективність виявлення DDoS атак типу TCP SYN була досягнута на рівні 91%. Проте при найвищому значенні ефективності виявлення рівень помилки першого роду також був найвищий та складав 10%. Після проведення 10 експериментів було визначено середні значення статистичних показників, зокрема значення асигасу становило 89,9%, а рівень хибних спрацювань складав 9,6%.

References

1. Arbor NETSCOUT Arbor's 13th Annual Worldwide Infrastructure Security Report. 23 January 2018. URL: https://pages.arbornetworks.com/rs/082-KNA-087/images/13th_Worldwide_Infrastructure_Security_Report.pdf.
2. Elzen I. v. d. Techniques for detecting compromised IoT Devices / I. v. d. Elzen, J. v. Heugten // MSc System and network Engineering, University of Asterdam. – 2017. – P. 1–26.
3. Zhang C. Communication security in internet of thing: preventive measure and avoid ddos attack over iot network / C. Zhang, R. Green // Proceedings of the 18th Symposium on Communications & Networking. Society for Computer Simulation International. – Alexandria Virginia, 2015. – P. 8–15.
4. Nobakht M. A host-based intrusion detection and mitigation framework for smart home iot using openflow / M. Nobakht, V. Sivaraman, and R. Boreli // Proceedings of the 11th International Conference in Availability, Reliability and Security (ARES). – Salzburg, Austria, 2016. – P. 147–156.
5. Jerkins J. A. Motivating a market or regulatory solution to iot in security with the mirai botnet code / J. A. Jerkins // Proceedings of the 7th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC). – Las Vegas, NV, USA, 2017. – P. 1–5.
6. Jun C. Design of complex event-processing idsin internet of things / C. Jun, C. Chi // Proceedings of the Sixth International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA). – Zhangjiajie, China, 2014. – P. 226–229.
7. Xiang Y. Low-Rate DDoS Attacks Detection and Traceback by Using New Information Metrics / Y. Xiang, K. Li, W. Zhou // IEEE Transactions on Information Forensics and Security. – 2011– Vol. 6. – No. 2. – P. 426–437.
8. Du P. IP packet size entropy-based scheme for detection of DoS/DDoS attacks / P. Du, S. Abe // IEICE transactions on information and systems. – 2008. – Vol. 91. – Issue 5. – P. 1274–1281.
9. Meidan Y. N-BaIoT—Network-Based Detection of IoT Botnet Attacks Using Deep Autoencoders / Y. Meidan, M. Bohadana, Y. Mathov et al. // IEEE Pervasive Computing. – 2018. – Vol. 17. – Issue 3. – P. 12–22.

Рецензія/Peer review : 13.1.2020 р.

Надрукована/Printed : 16.2.2020 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

ТЕНЗОРЕАКТИВНИЙ ЕФЕКТ В БІПОЛЯРНИХ ТРАНЗИСТОРАХ

В роботі представлено розробку та дослідження елементів теорії тензореактивного ефекту в біполярних 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, які визначають залежність частоти генерації радіовимірювальних частотних перетворювачів від дії тиску. Теоретичні та експериментальні дослідження показали, що активна складова повного опору біполярного транзистора змінюється на $10 \text{ Ом}/10^5 \text{ Па}$, а реактивна складова змінюється на $20 \text{ Ом}/10^5 \text{ Па}$ при зміні тиску на $2 \cdot 10^5 \text{ Па}$, що є достатньо суттєвим для використання біполярних 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 біполярних тензочутливих транзисторів.

Ключові слова: тензореактивний ефект, радіовимірювальні частотні перетворювачі, тензочутливий біполярний транзистор, тиск, від'ємний диференційний опір.

A.V. OSADCHUK, V.S. OSADCHUK, I.A. OSADCHUK
Vinnytsia National Technical University

TENZOREACTIVE EFFECT IN BIPOLAR TRANSISTORS

The paper presents the development and research of elements of the theory of the tenzoreactive effect in pressure-sensitive bipolar transistors. Under the action of pressure on a tenzo-sensitive bipolar transistor, which is formed by bending the membrane by ion implantation, the energy of electrons and holes in the conduction band and in the valence band changes, and this, in turn, leads to a change in all parameters of the bipolar transistor. As a result of the pressure, the impedance at the electrodes of the emitter-collector of the transistor changes, which causes a change in the resonant frequency of the radio measuring frequency pressure transducer. 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, which determine the dependence of the generation frequency of the radio frequency transducers on the effect of pressure. Theoretical and experimental studies have shown that the active component of the impedance of a bipolar transistor changes by $10 \text{ Ohm}/10^5 \text{ Pa}$, and the reactive component changes by $20 \text{ Ohm}/10^5 \text{ Pa}$ when the pressure changes by $2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$, which is significant enough to use bipolar transistors as primary strain sensors elements in radiomeasuring frequency pressure transducers. As a result of mathematical modelling, analytical expressions are obtained that can be used for the engineering calculation of the conversion function, the sensitivity equation, and other characteristics of radio frequency measuring pressure transducers based on bipolar tenzo-sensitive transistors.

Keywords: tenzoreactive effect, radiomeasuring frequency transducers, tenzo-sensitive bipolar transistor, pressure, negative differential resistance.

Вступ

Розвиток економіки базується на впровадженні сучасних нанотехнологій в таких галузях, як авіаційна та космічна техніка, машинобудування, металургія, енергетика, хімічна промисловість, ефективність яких значною мірою залежить від якості контролю і автоматизації виробничих процесів [1–3]. Тому важливим завданням сучасного приладобудування та контрольно-вимірювальної техніки є вибір надійних методів вимірювання фізичних величин, зокрема тиску в різних виробництвах, створення вимірювальних приладів необхідної точності, стабільності та швидкодії, а також дослідження впливів на результат вимірювань всієї сукупності факторів, які супроводжують вимірювальний процес [4–6].

На сучасному етапі використання та розробки 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 заводостійкості, що дозволяє збільшити чутливість і точність вимірювання [7–10].

Розробка радіовимірювальних частотних перетворювачів тиску на основі напівпровідникових структур з від'ємним диференційним опором, в яких біполярний та польовий транзистори виступають як тензочутливі активні елементи, потребує розроблення математичних моделей тензореактивного ефекту в тензочутливих елементах [10]. На основі цих математичних моделей можна визначити залежності активної та реактивної складових повного опору 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

Під час дії тиску на тензочутливий біполярний транзистор, який методом іонної імплантації сформований на згині мембрани, відбувається зміна енергії електронів і дірок в зоні провідності і в валентній зоні, а це, в свою чергу, призводить до зміни усіх параметрів біполярного транзистора. Внаслідок дії тиску змінюється повний опір на електродах емітер-колектор, що викликає зміну резонансної частоти радіовимірювальних частотних перетворювачів тиску. Таким чином, необхідно визначити повний опір на електродах емітер-колектор біполярного транзистора і знайти залежність його складових від зміни тиску. Еквівалентна схема біполярного транзистора $p-n-p$ типу для малих сигналів змінного струму має вигляд [8].

Для спрощення розрахунків перетворимо еквівалентну схему транзистора (рис. 1) на більш зручну схему, зображену на рис. 2.

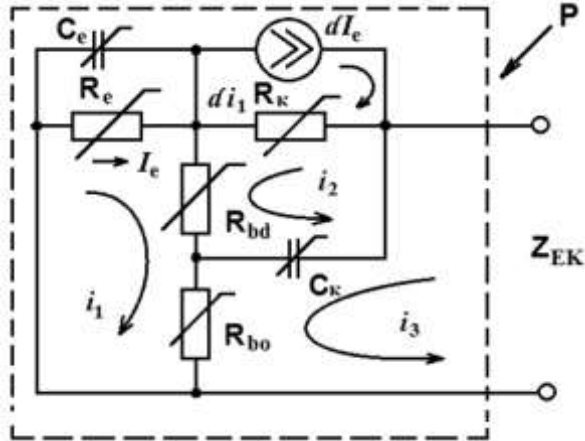


Рис. 1. Еквівалентна схема біполярного транзистора при дії тиску

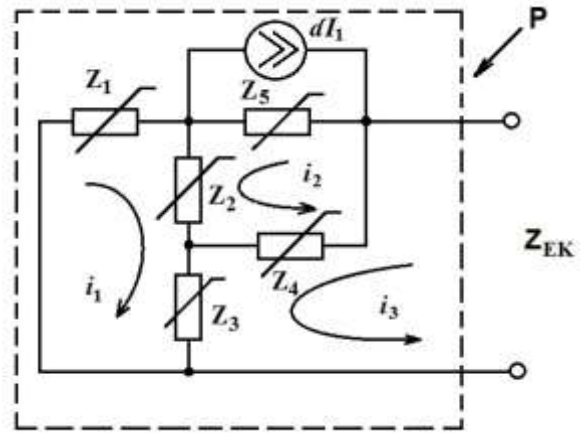


Рис. 2. Перетворена еквівалентна схема біполярного транзистора при дії тиску

На еквівалентній схемі, представлений на рис. 2, повні опори описуються нижче наведеними формулами:

$$Z_1 = \frac{R_e}{1 + (\omega C_e R_e)^2} - j \frac{\omega R_e^2 C_e}{1 + (\omega C_e R_e)^2}; \quad Z_2 = R_{bd}; \quad Z_3 = R_{b0}; \quad Z_4 = -j \frac{1}{\omega C_k}; \quad Z_5 = R_k.$$

Згідно з вибраними напрямкам контурних струмів рівняння Кірхгофа для еквівалентної схеми (див. рис. 2) мають вигляд:

$$\begin{cases} 0 = (Z_1 + Z_2 + Z_3)i_1 + Z_2 i_2 - Z_3 i_3, \\ 0 = (Z_2 + Z_4 + Z_5) \cdot i_2 + Z_2 i_1 - Z_4 i_3 + Z_5 h_{21b} i_1, \\ \dot{U}_{out} = (Z_3 + Z_4) \cdot i_3 + Z_3 i_1 - Z_4 i_2. \end{cases} \quad (1)$$

Із системи рівнянь (1) визначаємо струм i_1 з першого рівняння і підставимо в друге рівняння системи, з якого визначаємо струм i_2 . Підставляючи значення струмів i_1 та i_2 в третє рівняння системи (1), знаходимо аналітичний вираз повного вхідного опору біполярного транзистора Z_{EK} :

$$Z_{EK} = (Z_3 + Z_4) + \left[\frac{\frac{Z_3 Z_2}{(Z_1 + Z_2 + Z_3)(Z_2 + Z_4 + Z_5)} - \frac{Z_4}{Z_2 + Z_4 + Z_5} + \frac{Z_5 Z_3 h_{21b}}{(Z_1 + Z_2 + Z_3)(Z_2 + Z_4 + Z_5)}}{1 - \frac{Z_2^2}{(Z_1 + Z_2 + Z_3)(Z_2 + Z_4 + Z_5)} - \frac{Z_5 Z_3 h_{21b}}{(Z_1 + Z_2 + Z_3)(Z_2 + Z_4 + Z_5)}} \right] \times \frac{Z_2 Z_3}{(Z_1 + Z_2 + Z_3)} - \frac{Z_3^2}{(Z_1 + Z_2 + Z_3)}. \quad (2)$$

Визначивши вихідний опір біполярного транзистора, перейдемо до розрахунків залежності елементів еквівалентної схеми (рис. 1) від дії тиску, що дасть змогу знайти залежність повного вихідного опору від тиску.

Для біполярного транзистора $p-n-p$ типу при дії тиску зміна опору емітерного переходу R_e визначається, виходячи з його виразу [11]

$$R_e = \frac{kT}{qI_e}. \quad (3)$$

Прямий струм емітера біполярного транзистора визначається виразом [12]

$$I_e = \frac{AqD_p p_n}{L_p} e^{\frac{qU_e}{kT}}, \quad (4)$$

де D_p – коефіцієнт дифузії дірок; A – поперечна площа бази транзистора; p_n – концентрація інжектованих дірок у базову область транзистора; U_e – прикладена напруга до емітерного переходу біполярного транзистора; L_p – дифузійна довжина дірок; q – заряд електрона; k – стала Больцмана, T – температура. Підставляючи вираз (4) у вираз (3) з використанням співвідношення Ейнштейна $D_p = \mu_p kT / q$, отримаємо формулу

$$R_e = \frac{L_p}{Aq p_n \mu_p e^{\frac{qU_e}{kT}}}. \quad (5)$$

У зв'язку з тим, що площа перерізу бази біполярного транзистора визначається шириною бази W ,

зміна опору емітерного переходу R_e від дії тиску буде мати вигляд

$$\Delta R_e(P) = \frac{\partial R_e}{\partial W} \Delta W(P) + \frac{\partial R_e}{\partial p_n} \Delta p_n(P) + \frac{\partial R_e}{\partial \mu_p} \Delta \mu_p(P) + \frac{\partial R_e}{\partial U_e} \Delta U_e(P). \quad (6)$$

Складові приросту опору R_e визначаються за формулами

$$\frac{\partial R_e}{\partial W} \Delta W(P) = - \frac{L_p}{W^2 q p_n \mu_p e^{kT}} \Delta W(P), \quad (7)$$

$$\frac{\partial R_e}{\partial p_n} \Delta p_n(P) = - \frac{L_p}{A q p_n^2 \mu_p e^{kT}} \Delta p_n(P), \quad (8)$$

$$\frac{\partial R_e}{\partial \mu_p} \Delta \mu_p(P) = - \frac{L_p}{A q p_n \mu_p^2 e^{kT}} \Delta \mu_p(P), \quad (9)$$

$$\frac{\partial R_e}{\partial U_e} \Delta U_e(P) = - \frac{L_p}{A k T p_n \mu_p e^{kT}} \Delta U_e(P), \quad (10)$$

Опір базової області транзистора складається з дифузійного опору R_{bd} , який залежить від концентрації інжектованих дірок, а також омичного опору напівпровідникового матеріалу бази R_{bo} [13]

$$R_b = R_{bd} + R_{bo}. \quad (11)$$

Дифузійний опір базової області R_{bd} описується формулою [11], [13]

$$R_{bd} = \frac{kT}{q I_e (1 - h_{21b})}, \quad (12)$$

де h_{21b} – коефіцієнт передачі струму біполярного транзистора в схемі із загальною базою, який має вигляд [13]

$$h_{21b} = \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{W}{L_p} \right)^2 \right]. \quad (13)$$

При підстановці виразу (13) у вираз (12) отримуємо формулу

$$R_{bd} = \frac{2kT L_p^2}{q I_e W^2} = \frac{2(kT)^2 \tau_p \mu_p}{q^2 I_e W^2}. \quad (14)$$

На підставі вище наведених виразів, зміна дифузійного опору R_{bd} від дії тиску визначається формулою

$$\Delta R_{bd}(P) = \frac{\partial R_{bd}}{\partial I_e} \Delta I_e(P) + \frac{\partial R_{bd}}{\partial \mu_p} \Delta \mu_p(P) + \frac{\partial R_{bd}}{\partial W} \Delta W(P). \quad (15)$$

Складові виразу (15) мають вигляд

$$\frac{\partial R_{bd}}{\partial I_e} \Delta I_e(P) = - \frac{2(kT)^2 \tau_p \mu_p}{q^2 I_e^2 W^2} \Delta I_e(P), \quad (16)$$

$$\frac{\partial R_{bd}}{\partial \mu_p} \Delta \mu_p(P) = - \frac{2(kT)^2 \tau_p}{q^2 I_e W^2} \Delta \mu_p(P), \quad (17)$$

$$\frac{\partial R_{bd}}{\partial W} \Delta W(P) = - \frac{4(kT)^2 \tau_p \mu_p}{q^2 W^3 I_e^2} \Delta W(P), \quad (18)$$

Опір пасивної області бази описується виразом [13]

$$R_{bo} = \rho \left[\frac{1}{2W} + \frac{l}{a W_1} \right], \quad (19)$$

де W – активна ширина бази транзистора; l – відстань між емітерним і базовим контактами біполярного транзистора; a – ширина емітерної області транзистора; W_1 – пасивна ширина бази; ρ – питомий опір напівпровідникового матеріалу бази транзистора. Приріст опору пасивної області бази транзистора при дії тиску визначається формулою

$$\Delta R_{bo}(P) = \frac{\partial R_{bo}}{\partial \rho} \Delta \rho(P) + \frac{\partial R_{bo}}{\partial W} \Delta W(P) + \frac{\partial R_{bo}}{\partial W_1} \Delta W_1(P). \quad (20)$$

Складові виразу (20) мають вигляд

$$\frac{\partial R_{bo}}{\partial \rho} \Delta \rho(P) = \frac{1}{W} \Delta \rho(P) + \frac{l}{a W_1} \Delta \rho(P), \quad (21)$$

$$\frac{\partial R_{bo}}{\partial W} W(P) = -\frac{\rho}{2W^2} \Delta W(P), \quad (22)$$

$$\frac{\partial R_{bo}}{\partial W_1} W_1(P) = -\frac{\rho l}{2W_1^2} \Delta W_1(P), \quad (23)$$

Опір колекторного переходу біполярного транзистора визначається виразом [14]

$$R_k = \frac{WU_k}{d_k I_e (1 - h_{21b})}, \quad (24)$$

де U_k – зворотна напруга на колекторному переході транзистора; d_k – товщина шару об'ємного заряду колекторного переходу, яка дорівнює [14]

$$d_k = \left[\frac{2\varepsilon\varepsilon_0 U_k}{qN_d} \right]^{1/2}, \quad (25)$$

де ε – діелектрична стала напівпровідника; ε_0 – діелектрична стала вакууму; N_d – концентрація домішкових донорних атомів базової області біполярного транзистора. При підстановці виразів (13) і (25) у вираз (24) отримуємо формулу для опору колекторного переходу біполярного транзистора

$$R_k = \frac{\sqrt{2}U_k^{1/2} (qN_d)^{1/2} \mu_p kT \tau_p}{q(\varepsilon\varepsilon_0)^{1/2} I_e W}. \quad (26)$$

Приріст опору колектора R_k від дії тиску згідно (26) приймає вигляд

$$\Delta R_k(P) = \frac{\partial R_k}{\partial U_k} \Delta U_k(P) + \frac{\partial R_k}{\partial N_d} \Delta N_d(P) + \frac{\partial R_k}{\partial \mu_p} \Delta \mu_p(P) + \frac{\partial R_k}{\partial T} \Delta T(P) + \frac{\partial R_k}{\partial I_e} \Delta I_e(P) + \frac{\partial R_k}{\partial \varepsilon} \Delta \varepsilon(P) + \frac{\partial R_k}{\partial W} \Delta W(P) + \frac{\partial R_k}{\partial \tau_p} \Delta \tau_p(P). \quad (27)$$

Складові виразу (27) описуються формулами

$$\frac{\partial R_k}{\partial U_k} \Delta U_k(P) = \frac{\sqrt{2}(qN_d)^{1/2} \mu_p \tau_p \frac{kT}{q}}{2U_k^{1/2} I_e (\varepsilon\varepsilon_0)^{1/2} W} \Delta U_k(P), \quad (28)$$

$$\frac{\partial R_k}{\partial N_d} \Delta N_d(P) = \frac{\sqrt{2}q^{1/2} \mu_p \tau_p \frac{kT}{q}}{2N_d^{1/2} I_e (\varepsilon\varepsilon_0)^{1/2} W} \Delta N_d(P), \quad (29)$$

$$\frac{\partial R_k}{\partial \mu_p} \Delta \mu_p(P) = \frac{\sqrt{2}U_k^{1/2} (qN_d)^{1/2} \tau_p \frac{kT}{q}}{I_e (\varepsilon\varepsilon_0)^{1/2} W} \Delta \mu_p(P), \quad (30)$$

$$\frac{\partial R_k}{\partial \tau_p} \Delta \tau_p(P) = \frac{\sqrt{2}U_k^{1/2} (qN_d)^{1/2} \mu_p \frac{kT}{q}}{I_e (\varepsilon\varepsilon_0)^{1/2} W} \Delta \tau_p(P), \quad (31)$$

$$\frac{\partial R_k}{\partial I_e} \Delta I_e(P) = \frac{\sqrt{2}U_k^{1/2} (qN_d)^{1/2} \mu_p \tau_p \frac{kT}{q}}{I_e^2 (\varepsilon\varepsilon_0)^{1/2} W} \Delta I_e(P), \quad (32)$$

$$\frac{\partial R_k}{\partial \varepsilon} \Delta \varepsilon(P) = \frac{\sqrt{2}U_k^{1/2} (qN_d)^{1/2} \mu_p \tau_p \frac{kT}{q}}{2(\varepsilon_0)^{1/2} (\varepsilon)^{3/2} W} \Delta \varepsilon(P), \quad (33)$$

$$\frac{\partial R_k}{\partial W} \Delta W(P) = \frac{\sqrt{2}U_k^{1/2} (qN_d)^{1/2} \mu_p \tau_p \frac{kT}{q}}{(\varepsilon_0\varepsilon)^{1/2} W^2} \Delta W(P), \quad (34)$$

$$\frac{\partial R_k}{\partial T} \Delta T(P) = \frac{\sqrt{2}U_k^{1/2} (qN_d)^{1/2} \mu_p \tau_p \frac{k}{q}}{(\varepsilon_0\varepsilon)^{1/2}} \Delta T(P), \quad (35)$$

Перейдемо до розгляду залежностей ємностей малосигнальної еквівалентної схеми біполярного транзистора від дії тиску. Дифузійна ємність біполярного транзистора описується формулою [14]

$$C_e = \frac{Aq\mu_p p_n \tau_p \frac{qU_e}{kT}}{2W}. \quad (36)$$

Зміна дифузійної ємності C_e від дії тиску описується виразом

$$\Delta C_e(P) = \frac{\partial C_e}{\partial \mu_p} \Delta \mu_p(P) + \frac{\partial C_e}{\partial p_n} \Delta p_n(P) + \frac{\partial C_e}{\partial \tau_p} \Delta \tau_p(P) + \frac{\partial C_e}{\partial U_e} \Delta U_e(P) + \frac{\partial C_e}{\partial T} \Delta T(P) + \frac{\partial C_e}{\partial W} \Delta W(P). \quad (37)$$

Складові виразу (37) мають вигляд

$$\frac{\partial C_e}{\partial \mu_p} \Delta \mu_p(P) = \frac{Aq p_n \tau_p e^{\frac{qU_e}{kT}}}{2W} \Delta \mu_p(P), \quad (38)$$

$$\frac{\partial C_e}{\partial p_n} \Delta p_n(P) = \frac{Aq \mu_p \tau_p e^{\frac{qU_e}{kT}}}{2W} \Delta p_n(P), \quad (39)$$

$$\frac{\partial C_e}{\partial \tau_p} \Delta \tau_p(P) = \frac{Aq \mu_p p_n e^{\frac{qU_e}{kT}}}{2W} \Delta \tau_p(P), \quad (40)$$

$$\frac{\partial C_e}{\partial U_e} \Delta U_e(P) = \frac{Aq^2 \mu_p p_n \tau_p e^{\frac{qU_e}{kT}}}{2WkT} \Delta U_e(P), \quad (41)$$

$$\frac{\partial C_e}{\partial T} \Delta T(P) = -\frac{Aq^2 \mu_p p_n \tau_p e^{\frac{qU_e}{kT}} U_e}{2WkT^2} \Delta T(P), \quad (42)$$

$$\frac{\partial C_e}{\partial W} \Delta W(P) = -\frac{Aq \mu_p p_n \tau_p e^{\frac{qU_e}{kT}}}{2W^2} \Delta W(P). \quad (43)$$

Зарядна ємність колекторного переходу біполярного транзистора описується виразом [15]

$$C_k = A \left[\frac{\varepsilon \varepsilon_0 N_c N_v e^{-\frac{E_g}{kT}}}{2U_k p_n} \right]^{1/2}, \quad (44)$$

де N_v – ефективна щільність квантових станів на стелі валентної зони; N_c – ефективна щільність квантових станів на дні зони провідності; E_g – ширина забороненої зони напівпровідникового матеріалу базової області біполярного транзистора.

Приріст ємності C_k колекторного переходу біполярного транзистора від дії тиску описується виразом

$$\Delta C_k(P) = \frac{\partial C_k}{\partial A} \Delta A(P) + \frac{\partial C_k}{\partial \varepsilon} \Delta \varepsilon(P) + \frac{\partial C_k}{\partial N_c} \Delta N_c(P) + \frac{\partial C_k}{\partial N_v} \Delta N_v(P) + \frac{\partial C_k}{\partial E_g} \Delta E_g(P) + \frac{\partial C_k}{\partial p_n} \Delta p_n(P) + \frac{\partial C_k}{\partial U_k} \Delta U_k(P). \quad (45)$$

Складові виразу (45) мають вигляд

$$\frac{\partial C_k}{\partial A} \Delta A(P) = \left[\frac{\varepsilon \varepsilon_0 N_c N_v e^{-\frac{E_g}{kT}}}{2U_k p_n} \right]^{1/2} \Delta A(P), \quad (46)$$

$$\frac{\partial C_k}{\partial \varepsilon} \Delta \varepsilon(P) = \frac{1}{2\varepsilon^{1/2}} \left[\frac{\varepsilon_0 N_c N_v e^{-\frac{E_g}{kT}}}{2U_k p_n} \right]^{1/2} \Delta \varepsilon(P), \quad (47)$$

$$\frac{\partial C_k}{\partial N_c} \Delta N_c(P) = \frac{1}{2N_c^{1/2}} \left[\frac{\varepsilon \varepsilon_0 N_v e^{-\frac{E_g}{kT}}}{2U_k p_n} \right]^{1/2} \Delta N_c(P), \quad (48)$$

$$\frac{\partial C_k}{\partial N_v} \Delta N_v(P) = \frac{1}{2N_v^{1/2}} \left[\frac{\varepsilon \varepsilon_0 N_c e^{-\frac{E_g}{kT}}}{2U_k p_n} \right]^{1/2} \Delta N_v(P), \quad (49)$$

$$\frac{\partial C_k}{\partial E_g} \Delta E_g(P) = -\frac{1}{2kT} e^{-\frac{E_g}{2kT}} \left[\frac{\varepsilon \varepsilon_0 N_v N_c}{2U_k p_n} \right]^{1/2} \Delta E_g(P), \quad (50)$$

$$\frac{\partial C_k}{\partial p_n} \Delta p_n(P) = -\frac{1}{2p_n^{3/2}} \left[\frac{\varepsilon \varepsilon_0 N_v N_c}{2U_k} \right]^{1/2} \Delta p_n(P), \quad (51)$$

$$\frac{\partial C_k}{\partial U_k} \Delta U_k(P) = -\frac{1}{2U_k^{3/2}} \left[\frac{\varepsilon \varepsilon_0 N_v N_c}{2p_n} \right]^{1/2} \Delta U_k(P). \quad (52)$$

Розглянемо залежність коефіцієнта передачі по струму h_{21b} від дії тиску. Коефіцієнт h_{21b} описується виразом [13–15]

$$h_{21b} = \left[1 - \frac{1}{2} \frac{W^2 q}{\mu_p k T \tau_p} \right]. \quad (53)$$

Приріст коефіцієнта передачі по струму h_{21b} від дії тиску в загальному вигляді описується рівнянням

$$\Delta h_{21b}(P) = \frac{\partial h_{21b}}{\partial W} \Delta W(P) + \frac{\partial h_{21b}}{\partial \mu_p} \Delta \mu_p(P) + \frac{\partial h_{21b}}{\partial T} \Delta T(P) + \frac{\partial h_{21b}}{\partial \tau_p} \Delta \tau_p(P). \quad (54)$$

Складові виразу (54) описуються формулами

$$\frac{\partial h_{21b}}{\partial W} \Delta W(P) = - \frac{Wq}{\mu_p k T \tau_p} \Delta W(P), \quad (55)$$

$$\frac{\partial h_{21b}}{\partial \mu_p} \Delta \mu_p(P) = - \frac{W^2 q}{\mu_p^2 k T \tau_p} \Delta \mu_p(P), \quad (56)$$

$$\frac{\partial h_{21b}}{\partial T} \Delta T(P) = - \frac{W^2 q}{\mu_p k T^2 \tau_p} \Delta T(P), \quad (57)$$

$$\frac{\partial h_{21b}}{\partial \tau_p} \Delta \tau_p(P) = - \frac{W^2 q}{\tau_p^2 k T \mu_p} \Delta \tau_p(P), \quad (58)$$

Отримавши аналітичні вирази для визначення зміни елементів еквівалентної схеми біполярного транзистора від дії тиску (рис. 1) можна розрахувати і експериментально перевірити залежності дійсної і уявної складових повного вихідного опору біполярного транзистора, тобто тензореактивний ефект транзисторів. На рис. 3 і рис. 4 представлені теоретичні та експериментальні залежності складових повного опору біполярного транзистора від дії тиску.

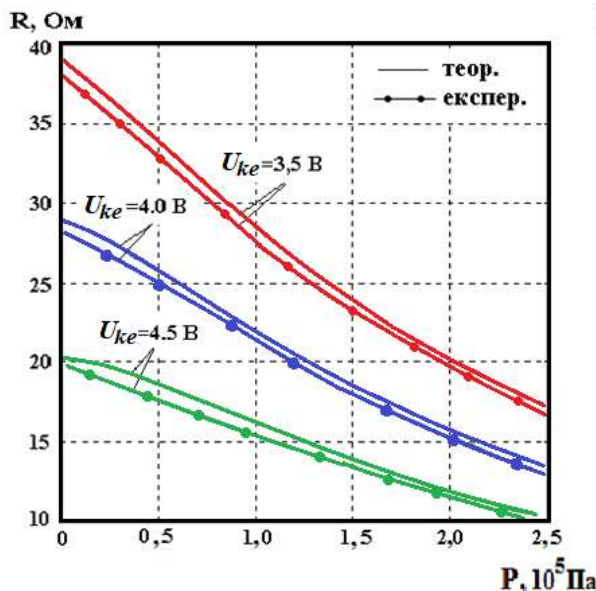


Рис. 3. Теоретичні та експериментальні залежності активної складової повного опору біполярного транзистора від дії тиску

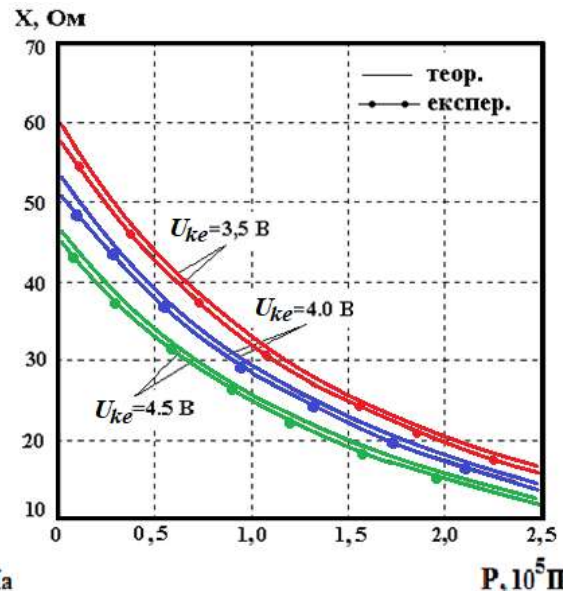


Рис. 4. Теоретичні та експериментальні залежності реактивної складової повного опору біполярного транзистора від дії тиску

Як видно з рис. 3 і рис. 4, активна складова змінюється на $10 \text{ Ом}/10^5 \text{ Па}$, а реактивна на $20 \text{ Ом}/10^5 \text{ Па}$ при зміні тиску на $2 \cdot 10^5 \text{ Па}$, що є достатньо суттєвим для використання біполярних тензотранзисторів як первинних тензочутливих елементів в радіовимірювальних частотних перетворювачах тиску. Необхідні значення параметрів для теоретичних розрахунків було отримано з робіт [13–16], а самі розрахунки проводилися за допомогою пакету прикладних програм "Matlab 9.3" [17].

Висновки

Розроблено математичні моделі тензореактивного ефекту в біполярних 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 показали, що активна складова повного опору біполярного транзистора змінюється на $10 \text{ Ом}/10^5 \text{ Па}$, а реактивна складова змінюється на $20 \text{ Ом}/10^5 \text{ Па}$ при зміні тиску на $2 \cdot 10^5 \text{ Па}$, що є достатньо суттєвим для використання біполярних 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 основі біполярних тензочутливих транзисторів.

Література

1. Джексон Р. Г. Новейшие датчики / Джексон Р. Г. – Москва : Техносфера, 2007. – 384 с.
2. Schaumburg H. Sensoren. Stuttgart: Teubner, 1992. 517 s.
3. Готра З. Ю. Мікроелектронні сенсори фізичних величин : в 3 т. Т. 2 / Готра З. Ю. – Львів : Ліга-Прес, 2003. – 367 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. Богущ М. В. Проектирование пьезоэлектрических датчиков на основе пространственных электротермоупругих моделей / Богущ М. В. – Москва : Техносфера, 2014. – 324 с.
7. Khutornenko, 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), pp. 1639–1648.
8. 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.
9. Osadchuk A. V., Osadchuk V. S., Osadchuk Ia. A., Seletskia O. O., Kisała P., Nurseitova K. 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. <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. Зи С. Физика полупроводниковых приборов. Т. 2 / Зи С. – Москва : Мир, 1984. – 486 с.
13. 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.
14. Тугов Н.М., Глебов Б.А., Чарыков Н.А. Полупроводниковые приборы / Тугов Н.М., Глебов Б.А., Чарыков Н.А. – Москва : Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
15. Чахмахсаян Е. А., Мозговой Г. П., Силин В. Д. Математическое моделирование биполярных элементов электронных схем / Чахмахсаян Е. А., Мозговой Г. П., Силин В. Д. – Москва : Радио и связь, 1985. – 142 с.
16. User's Guide includes PSpice A/D, PSpice A/D Basics, and PSpice. Cadence Design Systems, Inc. All rights reserved, 2016. 898 p.
17. Дьяконов В. П. MATLAB. Полный самоучитель / Дьяконов В. П. – М. : ДМК Пресс, 2012. – 768 с.

References

1. Jackson R.G. Newest Sensors. Moscow: Technosphere, 2007. 384 p.
2. Schaumburg H. Sensoren. Stuttgart.: Teubner, 1992. 517 s.
3. Gothra Z.Y. Microelectronic sensors of physical quantities. In 3 volumes. Lviv: League-Press, 2003. Vol.2. 367 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. Khutornenko 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), pp. 1639-1648.
8. Osadchuk V.S., Osadchuk O.V., Osadchuk I.A. Microelectronic pressure transducer with frequency output based on tunneling resonance diode // Herald of the Khmelnytsky National University. Technical Sciences, 2015. № 1 (221), p. 97-101.
9. Alexander V. Osadchuk; Vladimir S. Osadchuk; Iaroslav A. Osadchuk; Olena O. Seletskia; 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) <https://doi.org/10.1117/12.2538264>
10. Osadchuk O.V., Osadchuk I.A. Deformation effects in semiconductor structures // Herald of the Khmelnytsky National University. Technical Sciences. № 2 (211), 2014. P. 146-150.
11. Vikulin I.M., Stafeyev V.I. Physics of semiconductor devices. Moscow: Radio and Communications, 1990. 264 p.
12. Zi S. Physics of semiconductor devices. Moscow: World, 1984. T. 2. 486 p.
13. Razevig V.D. Application of P-CAD and Pspice programs for PC circuit simulation. Issue 2. Models of component analogue devices / V.D. Razevig. M.: Radio and Communications, 1992. 64 p.
14. Tugov N.M., Glebov B.A., Charykov N.A. Semiconductor devices. Moscow: Energoatomizdat, 1990. 576 p.
15. Chakhmakhsazyan E. A., Mozgovoy G. P., Silin V. D. Mathematical modeling of bipolar elements of electronic circuits. Moscow: Radio and communications, 1985. 142 p.
16. User's Guide includes PSpice A/D, PSpice A/D Basics, and PSpice. Cadence Design Systems, Inc. All rights reserved, 2016. 898 p.
17. Dyakonov V.P. MATLAB. Complete tutorial. M.: DMK Press, 2012. 768 p.

Рецензія/Peer review : 25.1.2020 p.

Надрукована/Printed : 14.2.2020 p.
Рецензент: д.т.н., проф. Семенов А.О.

Л.В. ПЕЛИК, Ю.А. ПЕЛЕХ
Львівський торговельно-економічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАБИВНИХ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ СУБЛІМАЦІЇ

У статті проаналізовано дослідження механічних властивостей текстильних матеріалів, у яких набивний малюнок наносився за допомогою технології сублімації. Встановлено, що розривні характеристики текстильних матеріалів визначають терміни експлуатації виробів, впливають на вибір режимів та методів оброблення тканин у швейному виробництві. Зображення поверхні текстильних матеріалів, отриманих за допомогою технології сублімації, викликають зміну їх лінійних розмірів протягом всього процесу нагрівання.

Ключові слова: розривальне навантаження, сублімаційний друк, механічні властивості.

L.V. PELYK, Y.A. PELEH
Lviv University of Trade and Economics

RESEARCH OF MECHANICAL PROPERTIES OF PRINTED TEXTILE MATERIALS WITH THE USE OF SUBLIMATION TECHNOLOGY

The article analyzes the mechanical properties of textile materials in which the printed pattern was applied using sublimation technology. The reliability of textile materials with drawing by sublimation technology is determined by changes in their physical characteristics and moral aging. Changes in physical characteristics occur under the influence of the external environment, both climatic (physical and chemical factors) and subject (mechanical and physical factors). It has been investigated that with increasing of the overlapping of the threads in the fabric, the angles of girth of the thread increase, and accordingly, the area of friction, the bonding of the fabric elements increases, the force of mutual pressure between the filaments of the warp and the weft, and the degree of adhesion of the fibers in the yarn, which increases the strength of the fabric. The type of processing significantly affects the tearing load of printed textile materials: boiling, bleaching, dyeing, thermal stabilization decreases the stretch ability of tissues, and operations that loosen the structure (tearing, felting) of tissues - increase it. It is established that the breaking characteristics of textile materials determine the service life of products, affect the choice of modes and methods of tissue processing in garment production. Images of the surface of textile materials obtained by sublimation technology cause their linear dimensions to change throughout the entire heating process. The stability of the sizes of textile materials throughout the lifetime is an important factor for ensuring the property of reliability and prolonging the life of their exploitation. Since the change in the linear dimensions of synthetic fiber material depends on the thermal fixing mode, textile fabrics use stable thermally fixed fibers and materials to prevent them from settling and elongating at elevated temperatures.

Keywords: tear load, sublimation printing, mechanical properties.

Вступ

Все більшої популярності у дизайні текстильної індустрії набуває застосування сублімаційного друку. На сьогоднішній день існує велика кількість способів нанесення зображення на текстильний матеріал. Умовно їх можна поділити на декоративні (вишивка, ручний розпис) та поліграфічні (сублімаційний друк, трафаретний друк, нанесення фольги на тканину, друк флекс плівками, прямиий друк на тканинах). Необхідно враховувати, що для різних тканин підходить не кожна технологія перенесення зображення. Для аргументованого вибору технологій нанесення зображень на тканину необхідним є аналіз структури текстильного матеріалу. Сублімаційний друк – це друк, при якому фарба при температурі 180–200 °C і під дією тиску переходить з проміжного носія на поверхню, що задруковується. Для цієї технології використовуються спеціальні барвники, які після отвердіння на проміжному носії являють собою речовину для сублімації. Для якісного переносу зображення на текстильний матеріал необхідний повний контакт між проміжним носієм та задрукованою поверхнею і рівномірний розподіл температури. До основних переваг сублімаційного друку на тканинах відносять «еластичність зображення» – пофарбований шар не тріскається при розтягненні, висока стійкість до процесу прання.

Надійність текстильних матеріалів із нанесенням малюнка за допомогою технології сублімації визначають зміни їх фізичних характеристик і моральне старіння. Зміна фізичних характеристик відбувається під дією зовнішнього середовища як кліматичного (фізико-хімічні чинники), так і предметного (механічні і фізичні чинники) [1]. Особливе значення для текстильних матеріалів мають стійкість до зміни розмірів після теплового оброблення, стійкість до руйнування поверхні, стирання ступеня тривкості пофарбування.

Постановка завдання. Метою статті було дослідження фізичних властивостей набивних текстильних матеріалів різних за волокнистим складом з нанесеним малюнком за допомогою технології сублімації.

Результати досліджень

Механічні властивості текстильних матеріалів визначають терміни експлуатації швейного одягу, впливають на вибір режимів та методів оброблення тканин у швейному виробництві [2]. На властивості міцності текстильних матеріалів впливають наступні фактори:

- природна міцність волокон;
- структура пряжі та ниток: більшу міцність мають тканини, які виготовлені з більш товстої пряжі (ниток), підвищеного кручення;

- структура тканини: вид переплетення та щільність. Більшу міцність надають тканинам переплетення з частим переплетенням між собою ниток основи та утку, тобто з короткими перекриттями (наприклад, полотняне) та підвищення щільності;

- вид оброблення: валяння, мерсеризація, апретування збільшують міцність тканини, а відварювання, білення, фарбування, кислотні та лужні обробки – зменшують її.

Досліджувані зразки текстильних матеріалів отримані рогожкою, полотняним та візерунковим переплетеннями. У волокнистому складі досліджуваних текстильних матеріалів вар. 1, вар. 6–10 знаходяться волокна поліестеру, а у вар. 2–5 та вар. 11 – волокна поліестеру та бавовни. Сублімаційний друк нанесений на досліджувані текстильні матеріали у вар. 6 зображенням до барабану; у вар. 7 – зображенням до фетру; у вар. 8 – нанесено на виворіт покриття; у вар. 9 – двосторонній друк за один прохід одночасно, лицем до барабану, виворотом до фетру; у вар. 10 – двосторонній друк за один прохід одночасно, лицем до фетру виворотом до барабану. Досліджувані зразки відрізняються поверхневою щільністю від 107 г/м² до 317 г/м², товщиною 0,28–0,97 мм.

Результати дослідження механічних властивостей текстильних матеріалів представлені у табл. 1.

Таблиця 1

Характеристика параметрів будови досліджуваних набивних текстильних матеріалів та їх розривальне навантаження

Вар. зразка	Вид і лінійна густина пряжі (нитки), склад сировини/текс	Вид переплетення	Поверхнева густина, г/м ²	Товщина, мм	Розривальне навантаження, Н			
					основа		уток	
					вихідні дані	після нанесення сублімаційного друку	вихідні дані	після нанесення сублімаційного друку
1	2	4	5	6	7	8	9	10
1	100% ПЕ	Візерункове	139	0,44	1313	1263	1213	1157
2	50% ПЕ 50% Бавовна	Полотняне	114	0,30	561	665	492	547
3	85% ПЕ 15% Бавовна	Рогожка	227	0,58	1146	1165	1777	1789
4	45% ПЕ 55% Бавовна	Полотняне	107	0,28	312	339	432	536
5	50% ПЕ 50% Бавовна	Полотняне	119	0,31	612	683	490	543
6	100% ПЕ	Полотняне	186	0,43	1560	1520	1328	1260
7	100% ПЕ	Полотняне	186	0,42	1560	1520	1328	1260
8	100% ПЕ	Рогожка	313	0,93	1440	1387	1290	1134
9	100% ПЕ	Рогожка	317	0,97	1440	1345	1290	1145
10	100% ПЕ	Рогожка	317	0,96	1440	1355	1290	1153
11	60% ПЕ 40% Бавовна	Полотняне	223	0,55	877	963	1101	1179

Аналіз отриманих даних табл. 1 показує, що розривальне навантаження набивних текстильних матеріалів залежить від їх структурних показників і, перш за все, від природної міцності волокон, що входять у структуру матеріалу. Так, найбільше розривальне навантаження знаходиться у вар.6 та вар.7 і становить за основою 1560 Н та за утком – 1328 Н. Висока міцність тканини з волокна поліестеру забезпечує довготривалий термін придатності при використанні цієї тканини в якості меблевих текстильних матеріалів, що являється перевагою порівняно з іншими досліджуваними тканинами. У досліджуваних зразках із волокон поліестеру вар. 8, вар. 9 та вар. 10 розривальне навантаження становить за основою 1440 Н і за утком – 1290 Н при найбільшій поверхневій густині – 317 г/м². Найменше розривальне навантаження знаходиться у вар. 4, який містить 45% волокна поліестеру та 55% волокна бавовни і становить за основою 312 Н та за утком – 432 Н. За інших рівних умов найбільшу міцність мають тканини з синтетичних ниток.

Зі збільшенням перекриття ниток у тканині збільшуються кути обхвату ниток, і відповідно, площа тертя, зв'язаність елементів тканини збільшується, збільшується сила взаємного тиску між нитками основи та утку і ступінь зчеплення волокон у пряжі, внаслідок чого зростає міцність тканини [3]. Так, найбільше розривальне навантаження із досліджуваних зразків із волокон поліестеру полотняного переплетення характеризуються вар. 6 та вар. 7 і становить за основою 1560 Н та за утком – 1328 Н. Досліджуваний зразок вар. 1 із волокон поліестеру характеризується візерунковим переплетенням і меншим розривним навантаженням, що становить за основою 1313 Н та за утком – 1213 Н.

Ткацьке переплетення рогожка являється похідним переплетенням від головного – полотняного. Його отримують при одночасному збільшенні основних і уткових перекриттів і має характерний візерунок

у вигляді квадратів. Це пояснює збільшення товщини у досліджуваних текстильних матеріалах вар. 8, вар. 9 та вар. 10, яка становить 0,93 мм, 0,97 мм та 0,96 мм відповідно.

З аналізу отриманих даних видно, що на міцність набивних тканин впливає вид переплетення. Встановлено, що з коротким перекриттям основи та утоку збільшується взаємний зв'язок її елементів, тобто волокон і ниток, що призводить до збільшення міцності матеріалу. Так, при однаковій товщині вар. 6 характеризується полотняним переплетенням і розривальне навантаження є вищим і становить за основою 1560 Н та за утком – 1328 Н, ніж вар. 1 – 1313Н і 1213Н відповідно візерункового переплетення.

Суттєво впливає на розривальне навантаження набивних текстильних матеріалів вид оброблення: відварювання, білення, фарбування, термічна стабілізація зменшує розтяжність тканин, а операції, які розпушують структуру (ворсування, валяння) тканин, – збільшують її. Встановлено, що у досліджуваних зразках із волокон поліестеру після нанесення малюнку технологією сублімації розривальне навантаження зменшилось і знаходиться у межах за основою 1263Н – 1520Н і за утком 1157Н – 1260Н.

Збільшення лінійної щільності ниток (пряжі), підвищення фактичної щільності тканини, застосування переплетень з короткими перекриттями і багат шарових переплетень, проведення валки, мерсеризації, апретування, нанесення плівкових покриттів призводять до підвищення міцності тканин. Відварювання, білення, фарбування, ворсування дещо знижують міцність. Досліджено, що у зразках набивних текстильних матеріалів полотняного переплетення із волокон поліестеру та бавовни після сублімаційного друку розривальне навантаження збільшилось за основою та утком. Так, у досліджуваних зразках вар. 2, вар. 3, вар. 4, вар. 5 та вар. 11 розривальне навантаження збільшилось і знаходиться у межах за основою 339Н – 1165Н і за утком 536Н – 1789Н.

Стабільність розмірів текстильних матеріалів протягом всього терміну експлуатації є важливим фактором для забезпечення властивості надійності і продовження терміну їх експлуатації. Оскільки зміна лінійних розмірів матеріалу з синтетичних волокон залежить від режиму термофіксації, при виготовленні текстильних виробів використовуються стабільні термофіксовані волокна та матеріали, щоб не допустити їх зсідання та видовження при підвищених температурах.

Результати дослідження зміни лінійних розмірів набивних текстильних матеріалів представлені у табл. 2.

Таблиця 2

Зміна лінійних розмірів після технології сублімації досліджуваних набивних текстильних матеріалів

Вар. зразка	Вид і лінійна густина пряжі (нитки), склад сировини/текст	Вид переплетення	Поверхнева густина, г/м ²	Товщина, мм	Зміна лінійних розмірів після технології сублімації, %	
					основа	уток
1	2	4	5	6	7	8
1	100% ПЕ	Візерункове	139	0,44	-1,3	-1,5
2	50% ПЕ 50% Бавовна	Полотняне	114	0,30	-1,8	-1,7
3	85% ПЕ 15% Бавовна	Рогожка	227	0,58	-2,2	-1,3
4	45% ПЕ 55% Бавовна	Полотняне	107	0,28	-0,5	-1,9
5	50% ПЕ 50% Бавовна	Полотняне	119	0,31	-1,5	-1,3
6	100% ПЕ	Полотняне	186	0,43	-1,5	-1,6
7	100% ПЕ	Полотняне	186	0,42	-1,8	-2,2
8	100% ПЕ	Рогожка	313	0,93	-2,0	-3,7
9	100% ПЕ	Рогожка	317	0,97	-2,0	-3,7
10	100% ПЕ	Рогожка	317	0,96	-2,0	-4,2
11	60% ПЕ 40% Бавовна	Полотняне	223	0,55	-3,2	-2,7

Зміна величини лінійних розмірів залежить від факторів, які сприяють розвитку процесу релаксації і встановленню рівноваги ниток у структурі матеріалу. До них відносять хімічний склад волокна, співвідношення лінійного заповнення за основою й утком, вид переплетення, щільність ниток у тканинах, спосіб виробництва текстильного матеріалу, зсідання його каркасного матеріалу, процес оброблення, а також умови експлуатації.

Технологія сублімації нанесення малюнку на текстильні матеріали викликає зміну їх лінійних розмірів протягом всього процесу нагрівання, яка знаходиться у межах 0,5–3,2% за основою та 1,3–4,2% за

утоком [4].

Досліджувані зразки вар. 1–6 піддавалися обробленню – термофіксації, яка зменшила величину лінійних розмірів і призвела до їх стабілізації під час нагрівання. Це пояснюється тим, що при термофіксації в процесі оброблення створюються умови для зняття напруги, набутої текстильним матеріалом у процесі ткацтва. Оскільки натяг набивної тканини при термофіксації, перешкоджає досягати повного відновлення деформації сирової тканини, внаслідок деформування та розпрямлення ниток (особливо основи) створюється додаткова можливість до подальшої зміни лінійних розмірів готової тканини. Це спостерігається у досліджуваних зразках вар. 7–11 внаслідок нанесення малюнку сублимаційним друком під впливом високих температур, в процесі яких відбувається зростання зміни лінійних розмірів набивних текстильних матеріалів.

Висновки

Метод сублимації відноситься до цифрових способів перенесення зображення на текстильний матеріал. У сучасній поліграфії він стоїть в перших рядах за продуктивністю, так як дозволяє в короткі терміни отримувати відбитки практично на будь-яких поверхнях і при цьому гарантує відмінну якість. Сублимаційний друк – непрямий вид друку, так як перенесення барвника відбувається через проміжний носій. В основному в якості такого використовується папір. Термоперенос сублимаційної фарби на запечатувану поверхню тканини відбувається під впливом тиску преса.

Досліджено, що показники розривних характеристик, що визначають експлуатаційні властивості набивних текстильних матеріалів, залежать від їх будови. Будова текстильних полотен визначається їх волокнистим складом, товщиною, поверхневою густиною і розташуванням волокон у ньому.

Встановлено, що зміна лінійних розмірів набивних текстильних матеріалів відбувається через зменшення довжини ниток і перебудову структури (зміна фази будови і зменшення відстані між нитками), які є наслідком релаксаційного процесу. Релаксаційний процес обумовлений тепловими коливаннями, які викликають переміщення окремих ланок чи макромолекул.

Технологія сублимації дозволяє переносити фарбу практично на будь-які поверхні текстильного матеріалу. Однак головна особливість процесу полягає в тому, що сублимаційна фарба адгезує тільки з полімерними сполуками. Найбільш якісні відбитки виходять на чистому текстильному матеріалі, виготовленому із волокон поліестеру. Порівняно з класичними способами перенесення фарби сублимаційний друк – це просто вершина сучасності. Вона не обмежує користувача у обсязі тиражу, ні в матеріалах, ні навіть у формі виробів, що виготовляються.

Література

1. Бучківська У. Б. Дослідження комплексного зносу платтяно-костюмних тканин з використанням еластанових ниток / У. Б. Бучківська // Молодий вчений. – 2016. – № 4. – С. 237–241.
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 : Видавництво Львівської комерційної академії, 2015. – 108 с.
3. Пелик Л.В. Наукові основи формування асортименту та якості фільтрувальних текстильних матеріалів : монографія / Л.В. Пелик. – Львів : Видавництво Львівської комерційної академії, 2010. – 260 с.
4. Пелик Л.В. Дослідження ступеня тривкості набивних текстильних матеріалів з ефектом сублимації / Л.В. Пелик, О.В. Остапчук, Ю.А. Пелех // Вісник Хмельницького національного університету. – 2019. – № 6. – С. 49–52.

References

1. Buchkivska U.B. Investigation of the complex wear of dress fabrics with the use of elastane yarns. Scientific journal "Young scientist". 2016. № 4. P. 237-241.
2. Pelyk L.V., Polikarpov I.S., Kirylchuk R.V. et al. Material science and fundamentals of commodity production technologies. Tutorial – manual. Lviv: Publisher of the Lviv Commercial Academy, 2015. 108 p.
3. Pelyk L.V. Scientific bases of formation of assortment and quality of filter textile materials: monograph. Lviv: Publisher of the Lviv Commercial Academy, 2010. 260 p.
4. Pelyk L.V., Ostapchuk O.V., Pelekh Y.A. The study of the degree of durability of stuffed textile materials with sublimation effect. Bulletin of the Khmelnytsky National University, 2019. № 6. P. 49–52.

Рецензія/Peer review : 24.1.2020 р.

Надрукована/Printed : 14.2.2020 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Семак Б.Д.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ ВЕРХУ ВЗУТТЯ

З метою дослідження та оптимізації технологічного регламенту процесу формування взуттєвої заготовки на колодці вивчено вплив параметрів цього процесу на формостійкість взуття в умовах, наближених до умов реального виробництва. Для реалізації поставленої мети використано ряд методів: органолептичного оцінювання та фізико-механічного аналізу Крост, формування взуттєвої заготовки з цього натурального шкірматеріалу, математичного планування експерименту (рототабельний план Бокса для трифакторного експерименту) та статистичного оброблення експериментальних даних. Формування та формофіксацію заготовки виконували на сферичному куполі (півсфері) пластиметричного пристрою. Фактори, що впливають на формостійкість, та рівень їх варіювання, визначали на підставі відомих наукових підходів, а також технологічного регламенту формування заготовки верху взуття з натуральної шкіри в умовах сучасного взуттєвого виробництва. За результатами дослідження формостійкості шкіри за різних технологічних параметрів формування встановлено, що даний показник суттєво залежить від умов оброблення, оскільки його значення знаходяться у досить широкому (від 63 до 95 %) діапазоні. Отримано рівняння регресії у вигляді залежності формостійкості від умов оброблення під час формування заготовки верху взуття: відносна вологість матеріалу до формування (W), температури теплового впливу при фіксації форми (t), тривалості теплового впливу (τ), яке свідчить про те, що всі три фактори впливають на формостійкість. Крім того, між факторами існує певний взаємозв'язок, а високі значення параметрів не завжди забезпечують належну формостійкість. Встановлено покращення формостійкості у разі використання енергоощадного технологічного режиму формування, згідно з яким відносна вологість матеріалу заготовки до формування становить 16 %, температура повітря у сушарці – 60–65 °C, а тривалість теплового впливу – 4 хв.

Ключові слова: натуральний шкіряний матеріал для верху взуття, формування заготовки, формостійкість, технологічні параметри, оптимізація.

N.V. PERVAIA, O.A. ANDREYEVA, V.Y. Scherban

Kiev National University of Technology and Design

RESEARCH OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF FOOTWEAR MOULDING

In order to simulate the process of forming a shoe blank on a block in real production, the influence of the technological parameters of the shoe molding process on shape stability has been investigated. In order to achieve this purpose, the following methods had been used in the work: organoleptic assessment and physic-mechanical analysis of leather, the moulding of the upper, statistical processing of experimental data and mathematical planning experiment. The moulding and the keep of shape after moulding was performed on a spherical dome (hemisphere) of the plastimetric device. The choice of a range of factors affecting the shape stability was carried out taking into account the technological regime of processing the upper of leather shoes during its molding and shaping in production conditions. The results of determining the shape stability index of the skin at various technological parameters of the molding process showed that the value of this indicator is in a fairly wide range (from 63 to 95%) and significantly depends on the processing conditions. The obtained regression equation in the form of the dependence of the shape stability on the processing conditions when molding the upper of shoe: the relative humidity of the material before molding (W), the temperature of the heat exposure during the fixation of the form (t), the duration of the heat exposure (τ) indicates that: all three factors affect shape stability; there is a certain relationship between factors; high values of technological parameters do not always provide optimal values of the indicator of shape stability. According to the results of the study, it was found that when forming the shoe upper to achieve optimal shape stability, it is enough to adhere to a more rational, energy-saving technological mode, according to which the relative humidity of the material before moulding is 16%, the air temperature in the dryer is at the level of 60-65 °C, and the duration of the heat influence is 4 minutes.

Keywords: leather for the upper, the moulding, the shape stability, optimization of technological parameters.

Вступ. В умовах жорсткої конкурентної боротьби за споживача забезпечення функціонально-споживчих та виробничо-економічних вимог до взуття є надзвичайно актуальним. Одним із шляхів розв'язання цієї проблеми є докладне вивчення фізико-механічних характеристик матеріалів для верху взуття, технологічного режиму надання та збереження форми останнього.

У технологічному циклі виготовлення взуття процес формування верху складається з двох стадій:

- формоутворення заготовки верху взуття через змінювання фізико-механічних властивостей матеріалів верху під впливом вологи при зволоженні, тепла при сушінні, деформації при формуванні заготовки на колодці;

- формофіксації внаслідок стабілізації фізико-механічних властивостей матеріалів і форми взуття за рахунок теплового впливу та витримування сформованої заготовки на колодці.

Зволоження заготовки з натуральних шкіряних матеріалів на стадії формоутворення відіграє суттєву роль, оскільки впливає на ефективність оброблення, структуру та фізико-механічні властивості шкіри [1–9]. Наприклад, через збільшення відстані між головними поліпептидними ланцюгами під впливом вологи гідратації та розклинювальної дії шарів води під впливом вологи мікрокапілярів зростає об'єм дерми. Тобто наявність цих двох видів вологи в шкірі сприяє перебігу процесу надання матеріалу заготовки певної форми.

Під час обтягування та затягування заготовки верху взуття волога також виконує роль пластифікатора, забезпечуючи тим самим рухомість структурних елементів матеріалу через зменшення сил

взаємодії між ними. Вилучення частини води при подальшому сушінні призводить до наближення структурних елементів один до одного та утворення нових зв'язків. Крім того, при дії зовнішнього навантаження відбувається переорієнтування структурних елементів шкіри у напрямку прикладання сили, при цьому звивистість вторинних волокон колагену зменшується. Після припинення механічного впливу внутрішнє напруження, що виникло у структурі, прагнуть повернути структурні елементи у початкове положення. На думку Чернова М.В. [3], після усунення навантаження переважна частина пучків волокон не повертається до вихідного стану, тобто відбувається їх незворотне переміщення, що викликає залишкову деформацію шкіри. Незворотне орієнтування елементів мікроструктури дерми (а це вторинні та первинні волокна колагену) у свою чергу призводить до підвищення залишкової деформації. У разі надмірного розтягування шкіри відбувається орієнтування пучків волокон уздовж сили, що розтягує, структура дерми розпушується й виникає можливість руйнування шкіри.

Під час сушіння при виготовленні взуття відбувається видалення вологи та розчинників із заготовки, а також зменшення напружень у матеріалах верху. Вплив температури посилює тепловий рух структурних елементів колагену, що призводить до зменшення напружень. З видаленням вологи відбувається збільшення внутрішніх напружень і поведінка шкіри обумовлюється накладанням зазначених процесів [7,8]. Все це визначає характер фіксації форми, що надається виробу під час його виготовлення.

Питання деформації заготовки при формуванні, закономірності процесів формоутворення розглянуто у роботах Фукіна В.О., Каліти А.М., Цибізової Е.М., Зибіна Ю.П., Купріянова М.П., Анохіна Д.І., Коновала В.П., Горбачика В.Е., Козарь О.П., Тихонової Н.В. та ін. [10–19]. При дослідженні зносостійкості матеріалів для низу взуття у роботах Чернова М.В., Кутяніна Г.І., Цветкова В.М. та Нестерова В.П. [3, 6, 20, 21] встановлено взаємозв'язок між деформаційними та експлуатаційними властивостями шкіри під час виготовлення взуття, запропоновано ряд методів випробування.

Постановка завдання. Виходячи з викладеного, для забезпечення формостійкості взуття, яка є однією з головних вимог до якості готового виробу й суттєво залежить від властивостей використаних матеріалів і технологічного регламенту, виникає нагальна потреба у дослідженні процесу формування верху взуття.

Сьогодні в світі все більшої популярності у виробників та споживачів набуває натуральний шкіряний матеріал Краст, який одержують обробленням шкур тварин без заключного оздоблення. Це обумовлено тим, що виготовленим з Красту виробам можна надавати привабливого вигляду шляхом декорування за допомогою таких сучасних дизайнерських методів оздоблення як принтування, фарбування, тиснення, гравіювання, шпаклювання тощо.

За участю авторів розроблено уніфіковану технологію виробництва Краст з використанням екологічно безпечних полімерних сполук нового покоління – похідних малеїнової та акрилової кислот під час хромполімерного дублення та рідинного оздоблення, яка забезпечує більш раціональне використання дефіцитної шкіряної сировини та хімічних матеріалів, інтенсифікацію технологічного циклу та зменшення шкідливого навантаження на довкілля [22]. Тому інтерес уявляє дослідити та визначити раціональний режим оброблення заготовок взуття з цього матеріалу з метою надання йому необхідної формостійкості та формофіксації.

Результати дослідження. Для дослідження було обрано Краст, виготовлений зі шкур великої рогатої худоби (ВРХ) за уніфікованою ресурсоощадною технологією [22]. Зразки матеріалу піддавали формуванню та формофіксації за умов, що моделювали реальний технологічний процес складання взуття. Експеримент здійснювався з використанням методу математичного планування, який забезпечує пошук оптимальних параметрів технологічного режиму.

З теорії та практики взуттєвого виробництва відомо [6, 9, 12], що на процес формоутворення та формофіксації верху взуття з натуральної шкіри найбільшою мірою впливають такі керовані фактори, як відносна вологість матеріалу перед формуванням W (%), температура теплового впливу під час фіксації форми зразка t (°C), тривалість теплового впливу τ (хв). Таким чином, для обраного критерію оптимізації у вигляді формостійкості Φ правомірна залежність:

$$\Phi = f(W, t, \tau) \quad (1)$$

Вибір діапазону всіх факторів здійснювався з урахування технологічного режиму оброблення верху взуття з натуральної шкіри під час його формування та формофіксації у виробничих умовах.

Для визначення інтервалів варіювання відносної вологості матеріалу перед формуванням виходили з того, що $W = 35$ % тоді, коли заготовку занурюють у воду, а це викликає підвищення вологовмісту у заготовці, збільшуючи тим самим витрати на сушіння, а також тривалість виробничого циклу. На сучасних галузевих підприємствах цей спосіб зволоження використовують лише для юткових заготовок. Інші заготовки зволожують до вологовмісту 10–20 % залежно від виду застосованого матеріалу. При виборі інтервалу варіювання температури теплового впливу врахували технічні можливості обладнання для сушіння відформованої заготовки. При виборі інтервалу варіювання для відносної вологості матеріалу і температури теплового впливу застосували ресурсоощадний підхід, оскільки підвищення відносної вологості матеріалу спричиняє підвищення тривалості теплового впливу, що, у свою чергу, призводить до значних енерговитрат. З урахуванням викладеного, а також результатів пошукового експерименту для моделювання процесів формування та формофіксації обрано наступні рівні та інтервали варіювання факторів (табл. 1):

Рівні та інтервали варіювання факторів

Чинник	Код	Рівень варіювання					Інтервал варіювання
		-1,682	-1	0	+1	+1,682	
Відносна вологість шкірматеріалу W , %	X_1	8	11	16	21	24	5
Температура теплового впливу при фіксації форми зразка t , °C	X_2	26	40	60	80	93	20
Тривалість теплового впливу τ , хв	X_3	0,6	2	4	6	7,4	2

Слід зазначити, що умови експерименту імітували умови реального технологічного процесу виготовлення взуття. Зразки зволожували контактним способом до необхідного вологовмісту, формували на пластиметричному пристрої (ПМП) [23], забезпечуючи тим самим двовісне розтягування. Термофіксацію виконували конвекційним способом протягом часу, зазначеного у матриці планування експерименту. Після зняття з пластиметричного пристрою та семи діб відпочинку за допомогою електронно-цифрового штангенрейсмусу ($\pm 0,01$ мм) визначали висоту зразків, а зважуванням на лабораторних електронних вагах AD200 (фірми AXIS (Україна)) ($\pm 0,001$ г) – їх масу для розрахунку залишкової відносної вологості.

Послідовність проведення технологічних процесів оброблення Красту представлена на рис. 1.

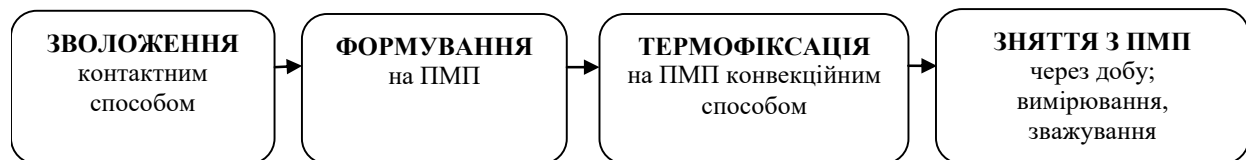


Рис. 1. Технологічна схема оброблення Красту

Формостійкість зразків визначали за формулою:

$$\Phi = \left(\frac{r_k}{r_0} \right)^3 \cdot 100, \quad (2)$$

де r_0 та r_k – початковий та кінцевий радіус відформованого зразка на півсфері пластиметричного пристрою, мм.

Результати визначення формостійкості шкіри за різних технологічних параметрів представлено на рис. 2, з якого випливає, що значення її показника знаходяться у досить широкому діапазоні (від 63 до 95 %) і суттєво залежать від умов оброблення.

Так, у випадку дії теплового впливу протягом 2 хв підвищення відносної вологості зразка до 21 % і температури теплового впливу до 80 °C на формостійкість суттєво не впливає, оскільки показник знаходиться на однаковому рівні (63–66 %). З підвищенням тривалості теплового впливу до 4 хв більшої значущості набувають чинники відносної вологості зразка і температури теплового впливу. Так, за умови $W = 21$ % і $t = 60$ °C формостійкість зразків підвищується до 80 %. Тенденція покращення показника формостійкості (до 95 %) спостерігається при $\tau = 6$ хв зі зростанням відносної вологості зразка до 21 % і температури теплового впливу до 60 °C. Тобто на формостійкість позитивно впливає підвищення всіх трьох чинників: відносної вологості, тривалості і температури теплового впливу. Разом з тим, підвищення відносної вологості зразка і тривалості теплового впливу при подальшому підвищенні температури до 80 °C призводить до деякого погіршення показника формостійкості. Так, у випадку підвищенні температури від 60 до 80 °C, відносної вологості від 16 до 21 %, а тривалості теплового впливу від 4 до 6 хв показник формостійкості зменшується на 6 %.

Аналіз експериментальних даних виявив потребу у подальшому дослідженні впливу умов оброблення на формостійкість Красту з метою оптимізації параметрів процесу формування, отже, й покращення формостійкості виробів з цього матеріалу.

Для встановлення залежності «умови оброблення – формостійкість» у роботі застосували метод планування експерименту з використанням рототабельного плану Бокса для трифакторного експерименту ($k_{1,2,3} = 3$), який рекомендується проводити за умови $k_{1,2,3} \leq 5$ [23]. Матриця планування експерименту представлена у табл. 2.

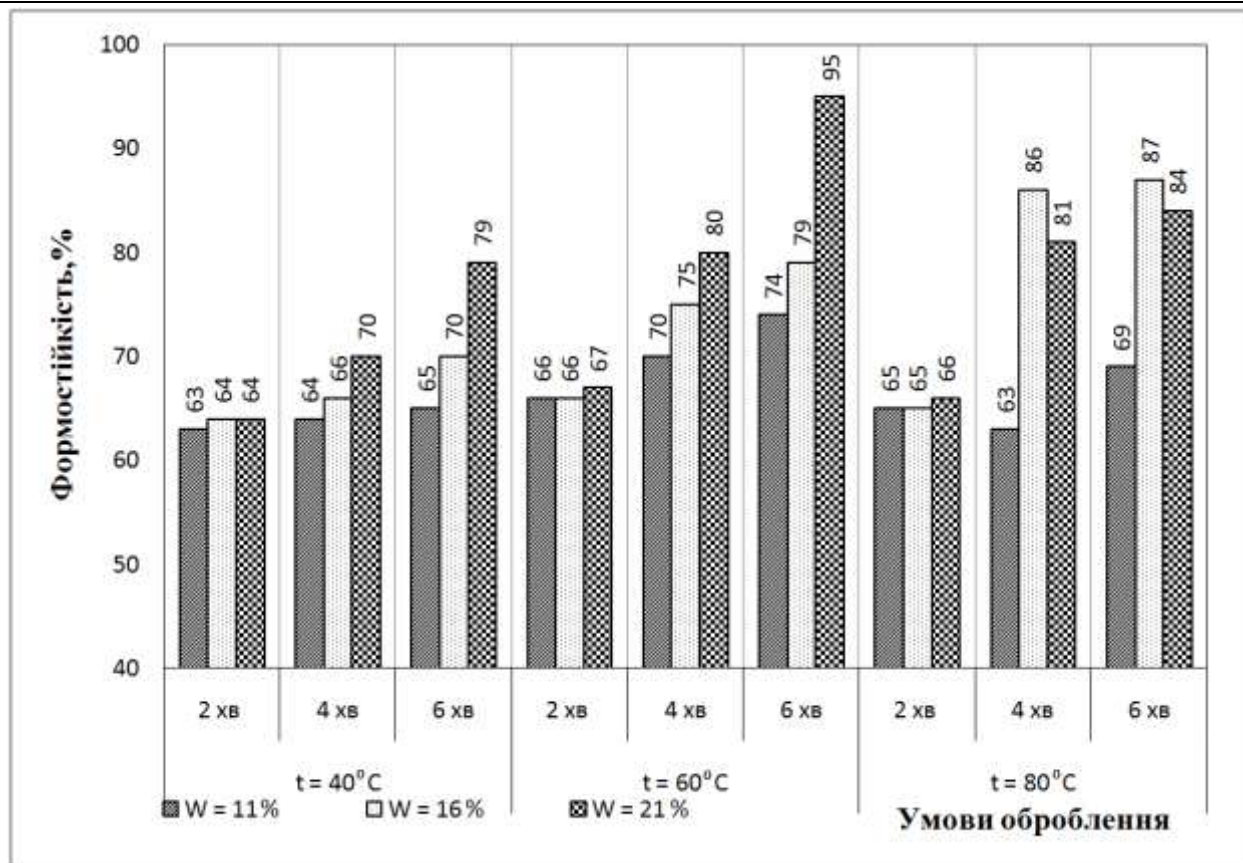


Рис. 2. Вплив умов оброблення на формостійкість Красу

Таблиця 2

Матриця планування, робоча матриця та результати експерименту

Дослід	Матриця планування			Робоча матриця			Дані для розрахунку		
	X ₁	X ₂	X ₃	W, % (X ₁)	t, °C (X ₂)	τ, хв (X ₃)	y _{u1}	y _{u2}	\bar{y}_u
1	-1	-1	-1	11	40	2	64	63	63,5
2	+1	-1	-1	21	40	2	65	64	64,5
3	-1	+1	-1	11	80	2	66	65	65,5
4	+1	+1	-1	21	80	2	67	67	67
5	-1	-1	+1	11	40	6	65	64	64,5
6	+1	-1	+1	21	40	6	79	80	79,5
7	-1	+1	+1	11	80	6	74	74	74
8	+1	+1	+1	21	80	6	95	94	94,5
9	-1,682	0	0	8	60	4	66	66	66
10	+1,682	0	0	24	60	4	82	82	82
11	0	-1,682	0	16	26	4	60	61	60,5
12	0	+1,682	0	16	93	4	85	86	85,5
13	0	0	-1,682	16	60	0,6	63	63	63
14	0	0	+1,682	16	60	7,4	88	87	87,5
15	0	0	0	16	60	4	86	86	86
16	0	0	0	16	60	4	85	86	85,5
17	0	0	0	16	60	4	86	85	85,5
18	0	0	0	16	60	4	86	86	86
19	0	0	0	16	60	4	85	85	85
20	0	0	0	16	60	4	86	86	86

За допомогою комп'ютерного моделювання одержано адекватне рівняння регресії у кодованих значеннях перемінних:

$$y_u = 85,7 + 4,7 x_1 + 5,2 x_2 + 6,8 x_3 - 4,5 x_1^2 - 4,8 x_2^2 - 4,0 x_3^2 + 4,1 x_1 x_3 + 2,5 x_2 x_3 \quad (3)$$

Рівняння (3) описує вплив технологічних параметрів процесу формування – відносної вологості

матеріалу перед формуванням (x_1), температури теплового впливу під час фіксації форми зразка (x_2), а також тривалості теплового впливу (x_3) – на формостійкість. На рис. 3 наведено поверхні відгуку за цим рівнянням.

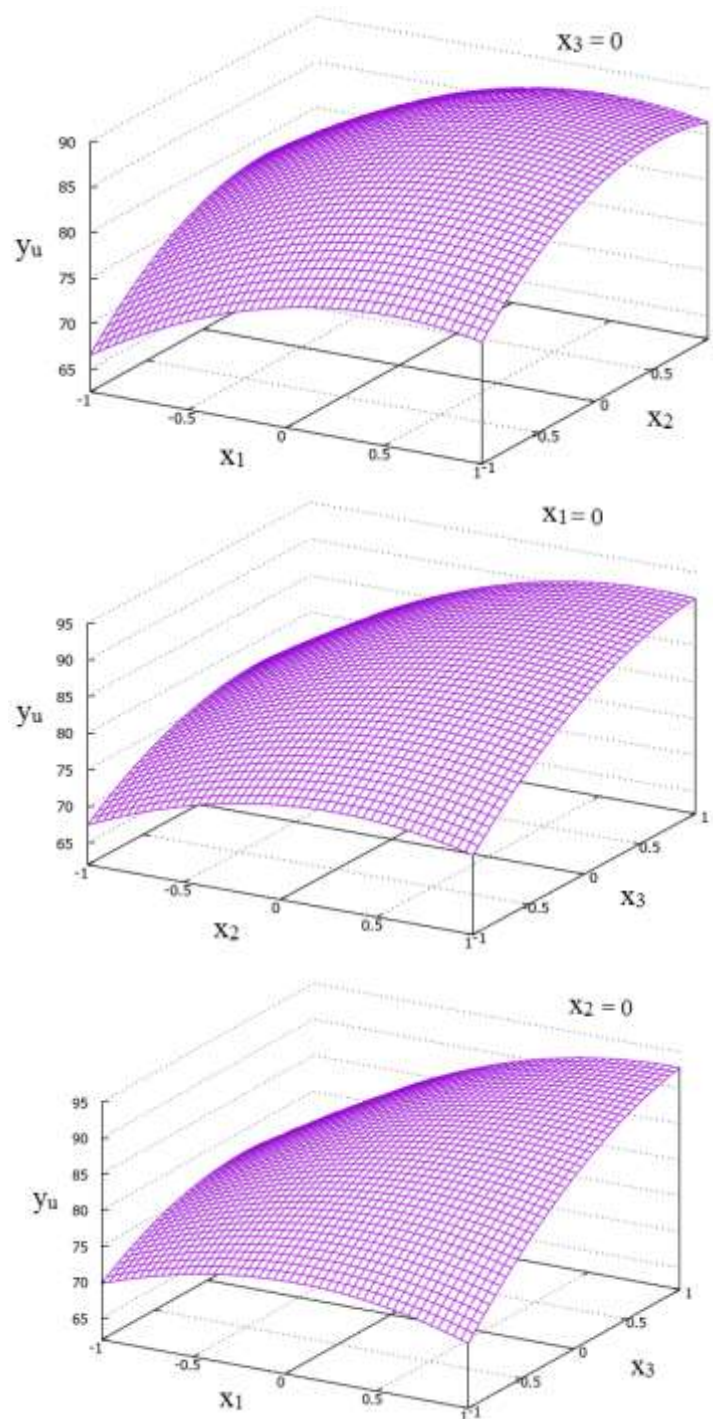


Рис. 3. Поверхні відгуку за отриманим рівнянням регресії

В іменованих значеннях рівняння (3) матиме вигляд:

$$y_u = 5,06 W + 1,45 t + 1,11 \tau - 0,18 W^2 - 1,00 \tau^2 - 0,01 t^2 + 0,40 W\tau + 0,06 t\tau - 52,85 \quad (4)$$

Отриманий вираз (4) – рівняння регресії у вигляді залежності формостійкості від умов оброблення під час формування заготовки верху взуття: відносної вологості матеріалу до формуванням (W), температури теплового впливу при фіксації форми (t), тривалості теплового впливу (τ) свідчить про те, що:

- всі три фактори впливають на формостійкість;
- між факторами існує певний взаємозв'язок;
- високі значення технологічних параметрів не завжди забезпечують оптимальні значення показника формостійкості.

На підставі отриманого рівняння регресії в іменованих значеннях (4) можна констатувати, що покращити показник формостійкості можна за умов високої відносної вологості матеріалу, високої

температури і тривалості теплового впливу. Але з позиції ресурсоощадності такі умови оброблення призведуть до підвищення енерговитрат. Тому для досягнення оптимальної формостійкості достатньо дотримуватися більш раціонального, енергоощадного технологічного режиму, за яким відносна вологість матеріалу заготовки до формування становить 16 %, температура повітря у сушарці знаходиться на рівні 60–65 °С, а тривалість теплового впливу – 4 хв.

Висновки. Таким чином, результати дослідження дозволяють рекомендувати наступні раціональні технологічні параметри формування заготовки верху взуття з натурального шкіряного матеріалу Краст, одержаного зі шкур великої рогатої худоби за уніфікованою технологією:

- відносна вологість матеріалу заготовки – 16 %;
- температура теплового впливу – 60 °С;
- тривалість теплового впливу – 4 хв.

Апробація результатів дослідження підтвердила одержані дані, а впровадження їх у виробництво дозволить на практиці реалізувати принципи ресурсо-, матеріало- та енергозбереження, підвищити конкурентоспроможність виробів вітчизняної легкої промисловості.

Література

1. Михайлов А.Н. Физико-химические основы технологии кожи / Михайлов А.Н. – Москва : Гизлегпром, 1949. – 351 с.
2. Михайлов А.Н. Коллаген кожного покрова и основы его переработки / Михайлов А.Н. – Москва : Легкая индустрия, 1971. – 527 с.
3. Чернов Н.В. Технология кожи / Н.В. Чернов. – Москва : Гизлегпром, 1952. – 679 с.
4. Страхов И.П. Химия и технология кожи и меха / И.П. Страхов. – Москва : Легкая индустрия, 1970. – 632 с.
5. Страхов И.П. Отделка кожи / И.П. Страхов [и др.]. – Москва : Легкая индустрия, 1976. – 375 с.
6. Кутянин Г.И. Исследование физико-механических свойств кожи / Кутянин Г.И. – Москва : Гизлегпром, 1956. – 196 с.
7. Зыбин Ю.П. Технология изделий из кожи : учеб. для вузов / Ю.П. Зыбин, Д.И. Анохин, Ю.М. Гвоздев и др. ; под общ. ред. Ю.П. Зыбина. – Москва : Легкая индустрия, 1975. – 464 с.
8. Зыбин Ю.П. Конструирование изделий из кожи : учебник для вузов / Ю.П. Зыбин, В.М. Ключникова и др. – Москва : Лёгкая и пищевая пром-сть, 1982. – 416 с.
9. Любич М.Г. Свойства обуви / Любич М.Г. – Москва : Легкая индустрия, 1969. – 256 с.
10. Раяцкас В.Л. Технология изделий из кожи : учебник. Ч. 2 / Раяцкас В.Л., Нестеров В.П. – Москва : Легпромбытиздат, 1988. – 320 с.
11. Фукин В.А. Технология изделий из кожи : учебник. Ч. 1 / Фукин В.А., Калита А.Н. – Москва : Легпромбытиздат, 1988. – 272 с.
12. Калита А.Н. О критерии выбора инженерного решения при проектировании формоустойчивой обуви / А.Н. Калита // Кожевенно-обувная промышленность. – 1982. – № 1. – С. 38–40.
13. Цибизова Е.М. Алгоритм прогнозирования формоустойчивости обуви / Е.М. Цибизова, А.Н. Калита, С.И. Рябинкин // Известия вузов. Технология легкой промышленности. – 1983. – № 1. – С. 55–57.
14. Цибизова Е.М. Определение эксплуатационных факторов, влияющих на формоустойчивость верха обуви / Е.М. Цибизова, А.Н. Клякотко, М.А. Калита // Известия вузов. Технология легкой промышленности. – 1985. – № 1. – С. 69–72.
15. Коновал В.П. Технология взуттєвого виробництва : підручник / Коновал В.П., Свістуніова Л.Т., Олійнікова В.В. – Київ : Либідь, 2003. – 366 с.
16. Коновал В.П. Теоретичні і практичні основи створення та фіксації форми взуття : автореф. дис. на здобуття наук. ступ. докт. техн. наук : 05.19.06. / Коновал В.П. – Київ, 1998. – 40 с.
17. Горбачик В.Е. Влияние свойств кожи на качество предварительного формования союзки / В.Е. Горбачик, В.Ф. Дардык, К.А. Загайгора, З. Г. Максина, С. Л. Фурашова // Актуальные проблемы науки, техники и экономики производства изделий из кожи : сб. статей междунар. науч. конф. / Витеб. гос. технол. ун-т. – Витебск, 2004. – С. 202–204.
18. Козарь О.П. Розвиток наукових основ створення формостійкого взуття з використанням мінеральних композицій : автореф. дис. на здобуття наук. ступ. докт. техн. наук : 05.18.18. / Козарь О.П. – Київ, 2015. – 38 с.
19. Тихонова Н.В. Научно-технологические основы регулирования формоустойчивости заготовки верха обуви из натуральной кожи с использованием ВЧ плазмы пониженного давления : автореф. дис. на соискание уч. степени докт. техн. наук : 05.19.05. / Тихонова Н.В. – Казань, 2012. – 36 с.
20. Цветков В.Н. Элементы теории механических креплений низа обуви / Цветков В.Н. – Москва : Гизлегпром, 1958. – 338 с.
21. Нестеров В.П. Метод исследования показателей физико-механических свойств кожаных деталей низа обуви : автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук : 05.19.06. / Нестеров В.П. – Москва, 1963. – 20 с.
22. Nataliia Pervaia, Olga Andreyeva, Lesia Maistrenko, Olena Mokrousova, Svitlana Harkavenko, Anna Nikonova. A unified technology of crust leather production using polymeric compounds development. *Leather and Footwear Journal* 19 (2019) 3 p. 193–202.
23. Первая Н.В. Оцінювання формостійкості шкіряних матеріалів для верху взуття / Н.В. Первая / Вісник

КНУТД. – 2019. – № 3 (134). – С. 62–72.

24. Тихомиров В.Б. Планирование и анализ эксперимента / Тихомиров В.Б. – Москва : Легкая индустрия, 1974. – 262 с.

References

1. Mihajlov A.N. Fiziko-himicheskie osnovy tehnologii kozhi / Mihajlov A.N. – Moskva : Gizlegprom, 1949. – 351 s.
2. Mihajlov A.N. Kollagen kozhnogo pokrova i osnovy ego pererabotki / Mihajlov A.N. – Moskva : Legkaya industriya, 1971. – 527 s.
3. Chernov N.V. Tehnologiya kozhi / N.V. Chernov. – Moskva : Gizlegprom, 1952. – 679 s.
4. Strahov I.P. Himiya i tehnologiya kozhi i meha / I.P. Strahov. – Moskva : Legkaya industriya, 1970. – 632 s.
5. Strahov I.P. Otdelka kozhi / I.P. Strahov [i dr.]. – Moskva : Legkaya industriya, 1976. – 375 s.
6. Kutyanin G.I. Issledovanie fiziko-mehaniicheskikh svoystv kozhi / Kutyanin G.I. – Moskva : Gizlegprom, 1956. – 196 s.
7. Zybin Yu.P. Tehnologiya izdelij iz kozhi : ucheb. dlya vuzov / Yu.P. Zybin, D.I. Anohin, Yu.M. Gvozdev i dr. ; pod obsh. red. Yu.P. Zybina. – Moskva : Legkaya industriya, 1975. – 464 s.
8. Zybin Yu.P. Konstruirovaniye izdelij iz kozhi : uchebnik dlya vuzov / Yu.P. Zybin, V.M. Klyuchnikova i dr. – Moskva : Lyogkaya i pishevaya prom-ct, 1982. – 416 s.
9. Lyubich M.G. Svoystva obuvi / Lyubich M.G. – Moskva : Legkaya industriya, 1969. – 256 s.
10. Rayackas V.L. Tehnologiya izdelij iz kozhi : uchebnik. Ch. 2 / Rayackas V.L., Nesterov V.P. – Moskva : Legprombytizdat, 1988. – 320 s.
11. Fukin V.A. Tehnologiya izdelij iz kozhi : uchebnik. Ch. 1 / Fukin V.A., Kalita A.N. – Moskva : Legprombytizdat, 1988. – 272 s.
12. Kalita A.N. O kriterii vybora inzhenerenogo resheniya pri proektirovani formoustojchivoj obuvi / A.N. Kalita // Kozhevenno-obuvnaya promyshlennost. – 1982. – № 1. – S. 38–40.
13. Cibizova E.M. Algoritm prognozirovaniya formoustojchivosti obuvi / E.M. Cibizova, A.N. Kalita, S.I. Ryabinkin // Izvestiya vuzov. Tehnologiya legkoj promyshlennosti. – 1983. – № 1. – S. 55–57.
14. Cibizova E.M. Opredeleniye ekspluatatsionnykh faktorov, vliyayushih na formoustojchivost verha obuvi / E.M. Cibizova, A.N. Klyakotko, M.A. Kalita // Izvestiya vuzov. Tehnologiya legkoj promyshlennosti. – 1985. – № 1. – S. 69–72.
15. Konoval V.P. Tekhnologiya vztutievogo vyrobnystva : pidruchnyk / Konoval V.P., Svistunova L.T., Oliinykova V.V. – Kyiv : Lybid, 2003. – 366 s.
16. Konoval V.P. Teoretychni i praktychni osnovy stvorennia ta fiksatsii formy vztuttia : avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stup. dokt. tekhn. nauk : 05.19.06. / Konoval V.P. – Kyiv, 1998. – 40 s.
17. Gorbachik V.E. Vliyanie svoystv kozhi na kachestvo predvaritel'nogo formovaniya soyuzki / V.E. Gorbachik, V.F. Dardyk, K.A. Zagajgora, Z. G. Maksina, S. L. Furashova // Aktualnye problemy nauki, tehniki i ekonomiki proizvodstva izdelij iz kozhi : sb. statej mezhdunar. nauch. konf. / Viteb. gos. tehnol. un-t. – Vitebsk, 2004. – S. 202–204.
18. Kozar O.P. Rozvytok naukovykh osnov stvorennia formostiikoho vztuttia z vykorystanniam mineralnykh kompozytsii : avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stup. dokt. tekhn. nauk : 05.18.18. / Kozar O.P. – Kyiv, 2015. – 38 s.
19. Tihonova N.V. Nauchno-tehnologicheskie osnovy regulirovaniya formoustojchivosti zagotovki verha obuvi iz naturalnoj kozhi s ispolzovaniem VCh plazmy ponizhennogo davleniya : avtoref. dis. na soiskanie uch. stepeni dokt. tehn. nauk : 05.19.05. / Tihonova N.V. – Kazan, 2012. – 36 s.
20. Cvetkov V.N. Elementy teorii mehanicheskikh kreplenij niza obuvi / Cvetkov V.N. – Moskva : Gizlegprom, 1958. – 338 s.
21. Nesterov V.P. Metod issledovaniya pokazatelej fiziko-mehaniicheskikh svoystv kozhnykh detalej niza obuvi : avtoref. dis. na soisk. uch. step. kand. tehn. nauk : 05.19.06. / Nesterov V.P. – Moskva, 1963. – 20 s.
22. Nataliia Pervaia, Olga Andreyeva, Lesia Maistrenko, Olena Mokrousova, Svitlana Harkavenko, Anna Nikonova. A unified technology of crust leather production using polymeric compounds development. *Leather and Footwear Journal* 19 (2019) 3 r. 193–202.
23. Pervaia N.V. Otsiniuvannia formostiikosti shkirianykh materialiv dlia verkhu vztuttia / N.V. Pervaia / *Visnyk KNUITD*. – 2019. – № 3 (134). – S. 62–72..
24. Tihomirov V.B. Planirovaniye i analiz eksperimenta / Tihomirov V.B. – Moskva : Legkaya industriya, 1974. – 262 s.

Рецензія/Peer review : 7.1.2020 р. Надрукована/Printed : 24.2.2020 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Панасюк І.В.

МЕТОД КОМПЕНСАЦІЇ ЗМІЩЕННЯ НУЛЯ В П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИХ ВІБРАЦІЙНИХ ГІРОСКОПАХ

Сучасне авіабудування, автомобілебудування, космічна та інші галузі, де є необхідність точного вимірювання параметрів переміщення об'єктів в просторі, широко використовують гіроскопічні прилади. На базі гіроскопів будуються системи керування безпілотних літальних апаратів, ракет, резервні системи топоприв'язки наземного транспорту. Обширність областей використання гіроскопічних приладів, постійне зростання вимог до їх точності, а також спрямованість на мікромініатюризацію без втрати визначаючих параметрів дозволяють говорити про те, що розробка, дослідження і їх удосконалення є важливим і актуальним завданням. Серед різноманітних технічних рішень створення високоточних гіроскопічних приладів окреме місце займають мікромеханічні п'єзоелектричні вібраційні гіроскопи. В даній роботі розглянуто можливість корекції дрейфу нуля чутливого елемента п'єзоелектричного перетворювача вібраційного гіроскопа, який виникає під дією змін температури, шляхом обробки вимірювального сигналу певним методом.

Ключові слова: п'єзоелектричні вібраційні гіроскопи, мікромеханічні, метод компенсації зміщення, сила Коріоліса, п'єзоелемент, вібрація.

A. PEREDERKO

Odessa State Academy of Technical Regulation and Quality

ZERO DISPLACEMENT OFFSET COMPENSATION METHOD IN PIEZOELECTRIC VIBRATION GYROSCOPES

Modern aircraft, automotive, aerospace and other industries where there is a need for accurate measurement of the parameters of moving objects in space are widely used gyroscopic instruments. On the basis of gyroscopes, control systems for unmanned aerial vehicles, rockets, and backup systems of top-positioning of ground vehicles are built. The vastness of the areas of use of gyroscopic devices, the constant growth of requirements for their accuracy, as well as the focus on microminiaturization without losing the determining parameters, suggest that their development, research and improvement is an important and urgent task. Among various technical solutions for creating high-precision gyroscopic instruments, micromechanical piezoelectric vibratory gyroscopes occupy a special place. In this paper, we consider the possibility of correcting the zero drift of the sensitive element of a piezoelectric transducer of a vibrating gyroscope, which occurs under the influence of temperature changes, by processing a measuring signal by a certain method.

Keywords: piezoelectric vibration gyroscopes, micro-mechanical, displacement compensation method, Coriolis force, piezoelectric element, vibration.

Гіроскопи – це прилади, призначені для виявлення і вимірювання обертального руху або ж кутових переміщень об'єктів. Гіроскопи в основному використовуються в системах навігації, системах топоприв'язки, системах забезпечення стійкості і відсутності вібрацій, в автомобільній електроніці: бортові записуючі пристрої, лічильники шляху, протиугінні системи, безпілотні засоби пересування, в системах екстреного оповіщення, в супутникових антенах, в офісній техніці, в пристроях аеровідеозйомки та ін. Існує безліч різних видів гіроскопів, які відрізняються габаритами, точністю і принципом роботи. Особливе місце серед них займають мікромеханічні гіроскопи, яким притаманні такі показники, як малі габарити і відносно низька вартість при виготовленні. Мікромеханічні гіроскопи своєю появою зобов'язані, в першу чергу, успіхам у розвитку мікроелектронних технологій.

Треба відзначити, що останнім часом спостерігається швидкий розвиток мікромініатюризації датчиків в усіх напрямках використання вимірювальної техніки. У розрізі цих тенденцій широке застосування в багатьох областях техніки знайшли вібраційні гіроскопи. Причина цього – в новій технології їх виготовлення, що дозволяє отримати необхідні для вирішення нагальних завдань точності параметрів при різкому зниженні вартості і поліпшенні масогабаритних характеристик.

Зараз роботи в області удосконалення та розробки мікромеханічних гіроскопів ведуться науковими центрами багатьох країн світу. Один з перспективних напрямків розвитку мікромеханічних гіроскопів пов'язаний із застосуванням п'єзокераміки для виготовлення чутливого елемента і елемента збудження – вібратора. Застосування п'єзокерамічних матеріалів в конструкції вібраторів, на відміну від вібраторів мікромеханічних кремнієвих гіроскопів, має ряд переваг: п'єзокерамічний матеріал може служити як для збудження коливальних в режимі зворотного п'єзоефекту, так і для знімання інформації в режимі прямого п'єзоефекту. Крім того, в біморфних п'єзоелектричних гіроскопах цей же матеріал використовується в якості активної маси вібратора. Таке комплексне застосування п'єзокераміки дозволяє значно спростити конструкцію вібратора, знизити його масогабаритні показники. Крім цього, слід зазначити високий коефіцієнт перетворення п'єзокераміки як в режимі прямого, так і зворотного п'єзоефекту.

Розробка методу компенсації зміщення (дрейфу) нульового рівня вимірювального п'єзоелектричного перетворювача вібраційного гіроскопа, який виникає під дією температурних впливів.

При проведенні досліджень застосовувалась теорія обробки сигналів та теорія вимірювань, які використовувалися для аналізу виникнення та зменшення дрейфу нульового рівня вимірювального п'єзоелектричного перетворювача вібраційного гіроскопа.

Гіроскопи, робота яких заснована на використанні п'єзоелектричних вібраторів, називаються п'єзоелектричними вібраційними гіроскопами. Останнім часом спостерігається різке зменшення розмірів п'єзоелектричних гіроскопів, а також їх випуск в конструктивному виконанні, призначеним для поверхневого монтажу. В гіроскопах використовується фізичне явище, відоме як сила Кориоліса. Для пояснення природи цієї сили часто використовується маятник Фуко. Якщо масі, яка вібрує з певною швидкістю, надати обертальний рух з кутовою швидкістю, виникне сила Кориоліса. Сила Кориоліса діє в напрямку, перпендикулярному напрямку руху маятника, і пропорційна його кутовій швидкості. У п'єзоелектричному вібраційному гіроскопі є п'єзоелектричний керамічний вібратор у вигляді бруска, вібрації якого аналогічні коливанням маятника. Якщо зазначеної віброуючою системі надати обертання з деякою кутовою швидкістю, то виникне сила Кориоліса, спрямована перпендикулярно вихідної вібрації. Так як в гіроскопі використовується п'єзоелектричний кераміка, то відповідно до основних властивостей п'єзоелектричної кераміки сила Кориоліса перетворюється в електричні сигнали.

Розглянемо вібраційні гіроскопи – пристрої, що зберігають свої коливання в одній площині при повороті. Даний тип гіроскопів є набагато простішим і дешевшим при порівнянні точності в порівнянні, наприклад, з роторними гіроскопами. Крім того, мікромеханічні вібраційні гіроскопи мають малі енергетично масові характеристики (маса – менше грама, енергоспоживання – менше вата).

Принцип їх дії заснований на ефекті сили Кориоліса. Сила Кориоліса існує в неінерціальній системі відліку і проявляється при русі в напрямку під кутом до осі обертання. Причина появи сили Кориоліса – в поворотному (кориолісовому) прискоренні. Для того, щоб тіло рухалося з кориолісовим прискоренням, необхідно до тіла прикласти силу, яка дорівнює

$$F = ma, \quad (1)$$

де a – кориолісове прискорення.

Відповідно, тіло діє за третім законом Ньютона з силою протилежної спрямованості.

$$F_K = -ma, \quad (2)$$

де F_K – сила, яка діє з боку тіла (сила Кориоліса).

Характерним представником мікромеханічного вібраційного гіроскопу є гіроскоп, розроблений спеціалістами ВАТ "Елпа" та МДТУ ім. Баумана (Росія) [1]. Розроблений ними балочний вібраційний гіроскоп використовує вібратор на базі п'єзоелектричного керамічного елемента (рис. 1). Основним елементом даного вібраційного гіроскопу є балка. На кожній грані балки приклеєні по одному п'єзоелементу. На нижньому боці – силовий п'єзоелемент 4 (для збудження коливань), на бічних гранях – вимірювальні п'єзоелементи 5. Балка 1 розміщується на пружних підвісах 3, припаяних до дисків 2. За допомогою дисків балка 1 монтується в корпус гіроскопа.

Стосовно до конструкції вібраційного гіроскопа зображеного на рис. 1, то вона працює наступним чином. Балка, під дією силового п'єзоелемент 4 вібрує з частотою ω_r . Горизонтальна швидкість балки визначається так: $X_{ip} \omega_r \sin(\omega_r t)$, а положення балки в площині – $X_{ip} \omega_r \cos(\omega_r t)$.

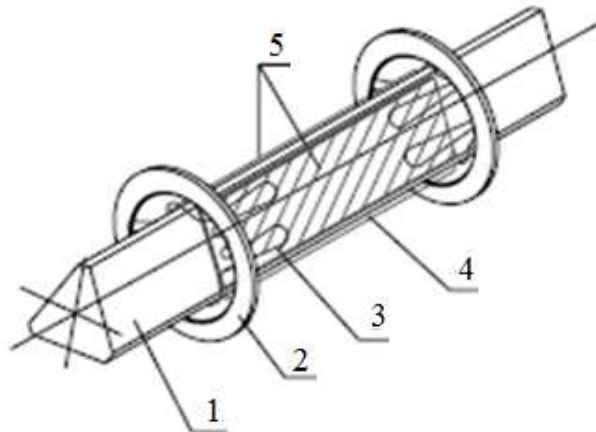


Рис. 1. Вібратор балочного вібраційного гіроскопа

1 – балка; 2 – диск; 3 – пружний підвіс; 4 – силовий п'єзоелемент; 5 – вимірювальні п'єзоелементи

Позаплощинний рух y_{op} балки, що викликається поворотом гіроскопа, буде дорівнювати:

$$y_{op} = \frac{F_K}{k_{op}} = \frac{2m\Omega X_{ip} \omega_r \cos(\omega_r t)}{k_{op}}, \quad (3)$$

де m – маса балки; Ω – величина повороту в площині, перпендикулярній коливальному руху балки; t – час; k_{op} – коефіцієнт жорсткості пружних підвісів в напрямку, перпендикулярному площині.

Недоліком мікромеханічних п'єзоелектричних вібраційних гіроскопів є нестабільність їх параметрів під час перепадів температур в температурному діапазоні їх застосування. Це пов'язано з температурною нестабільністю п'єзокераміки [2]. Вказаний недолік суттєво обмежує галузі їх застосування. Цей недолік можна знизити як компенсаційними способами, так і розробкою нових, більш стабільних матеріалів.

В даній роботі розглянуто метод компенсації впливу флуктуації температури на вимірювальні п'єзоелементи шляхом обробки сигналу вимірювання певним чином. Температурний вплив на вимірювальні п'єзоелементи працюючі на первинному п'єзо ефекті виражається в тому, що зміщується нульовий рівень відтвореного сигналу. Тому, для нівелювання дії температури пропонується застосувати метод виділення постійної складової з комплексного сигналу, який полягає в тому, фазовий фільтр 6 затримує сигнал на 180° , а на суматорі 7 з коефіцієнтом передачі 0,5 (рис. 2) відбувається складання сигналів. У підсумку на виході суматора 7 отримуємо постійну складову з коефіцієнтом передачі рівним одиниці. Таким чином змінні складові комплексного сигналу, що приходять на суматор 7 в протифазі, взаємно віднімаються. Виділений постійний рівень ще раз складається з сигналом основного каналу на суматорі 8. І, таким чином, отримуємо вихідний сигнал $U_{\delta 2}$, який повністю відтворює змінну складову сигналу з вимірювальних п'єзоелементів. Структурна схема реалізації вказаного методу приведена на рис. 2.

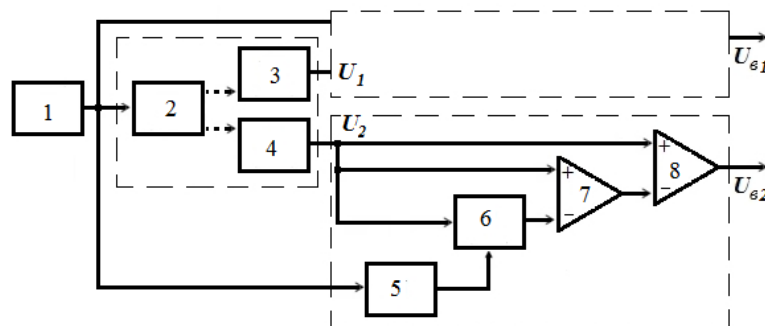


Рис. 2. Схема корекції зміщення нуля вимірювальних п'єзоелементів

1 – задаючий генератор; 2 – силовий п'єзоелемент; 3, 4 – вимірювальні п'єзоелементи; 5 – перетворювач частота–напруга; 6 – фазовий фільтр; 7 – суматор; $U_1, U_2, U_{\delta 1}, U_{\delta 2}$ – вихідні та опрацьовані вимірювальні сигнали з п'єзоелементів 3 і 4 відповідно

В паралельних каналах, для затримки сигналів, застосовано фазові фільтри першого порядку [5]. Кут затримки фазового фільтра α визначається виразом:

$$\alpha = -2 \arctg(\omega_r RC) 180^\circ / \pi, \quad (4)$$

де R і C – елементи часозадаючого ланцюга фазового фільтра.

Умовою безпомилкової передачі сигналів є постійний коефіцієнт передачі. У фазових фільтрах ця умова виконується повністю. Друга умова полягає в тому, щоб груповий час затримки фільтра для всього динамічного діапазону частот первинного перетворювача був постійним. З формули (4) видно, що затримка фази також залежить від частоти сигналу який надходить на вхід фазового фільтра. Для цього в схемі використовується перетворювач частота–напруга 5, який при зміні частоти задаючого генератора 1 проводить налаштування часозадаючого ланцюга фазових фільтрів для забезпечення фазового зсуву в 180° .

Запропонований метод автоматичної корекції (зменшення) дрейфу нуля в сигналі з вимірювальних п'єзоелектричних елементів мікромеханічного вібраційного гіроскопу, який є наслідком генерації паразитного заряду під впливом змін температури являється актуальним. Він дозволяє підвищити точність вимірювань виконуваних за допомогою вказаних гіроскопів і розширити їх сферу застосування. Особливо це стосується авіації і ракетної техніки де перепади температур є суттєвими і швидкоплинними.

Література

1. <https://www.elpapierzo.ru/gyroscopes.pdf>.
2. Антоненко А.М. Влияние доменной структуры на электромеханические свойства сегнетокерамики ЦТС и МНВТ / А.М. Антоненко, А.Ю. Кудзин, М.Г. Гавшин // Физика твердого тела. – 1997. – Том 39, № 5. – М. : ФТИ им. А.Ф. Иоффе.
3. Пьезоэлектрическое приборостроение. Т. 1. Физика сегнетоэлектрической керамики / А.В. Гориш, В.П. Дудкевич, М.Ф. Куприянов и др. – М. : Издат. предпр. ред. жур. «Радиотехника», 1999. – 368 с.
4. Левшина Е.С. Электрические измерения физических величин: (Измерительные преобразователи)

/ Левшина Е.С., Новицкий П.В. – Л. : Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1983. – 320 с.

5. Титце У. Полупроводниковая схемотехника. Том II / Титце У., Шенк К. ; пер. с нем. – 12-е изд. – М. : ДМК Пресс, 2007. – 942 с.

6. Осадчий Е.П. Проектирование датчиков для измерения механических величин / под ред. Е.П. Осадчего. – М. : Машиностроение, 1979. – 480 с., ил.

7. Острём К. Системы управления с ЭВМ / К. Острём, Б. Виттенмарк ; пер. с англ. – М. : Мир, 1987. – 480 с., ил.

8. Дорф Р. Современный системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп ; пер. с англ. – М. : Лаборатрия Базовых Знаний, 2002. – 832 с. : ил.

9. Ким Д. Теория автоматического управления. Т. 1. Линейные системы / Д. Ким. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 220 с.

References

1. <https://www.elpapiezo.ru/giroscopes.pdf> .

2. Antonenko A.M. Vliyaniye domennoy struktury na elektromehaniicheskie svoystva segnetokeramiki CTS i MNVT / A.M. Antonenko, A.Yu. Kudzin, M.G. Gavshin // Fizika tverdogo tela. – 1997. – Tom 39, № 5. – М. : FTI im. A.F. Ioffe.

3. Pezoelektricheskoe priborostroenie. T. 1. Fizika segnetoelektricheskoy keramiki. / A.V. Gorish, V.P. Dudkevich, M.F. Kupriyanov i dr. – М. : Izdat. predpr. red. zhur. «Radiotekhnika», 1999. – 368 s.

4. Levshina E.S. Elektricheskie izmereniya fizicheskikh velichin: (Izmeritelnye preobrazovateli) / Levshina E.S., Novickij P.V. – Л. : Energoatomizdat. Leningr. otd-nie, 1983. – 320 s.

5. Titce U. Poluprovodnikovaya shemotekhnika. Tom II / Titce U., Shenk K. ; per. s nem. – 12-e izd. – М. : ДМК Пресс, 2007. – 942 с.

6. Osadchij E.P. Proektirovaniye datchikov dlya izmereniya mehanicheskikh velichin / pod red. E.P. Osadchego. –М. : Mashinostroenie, 1979. – 480 s., il.

7. Ostryom K. Sistemy upravleniya s EVM / K. Ostryom, B. Vittenmark ; per. s angl. – М. : Mir, 1987. – 480 с., il.

8. Dorf R. Sovremennyyj sistemy upravleniya / R. Dorf, R. Bishop ; per. s angl. – М. : Laboratriya Bazovyh Znanij, 2002. – 832 s.: il.

9. Kim D. Teoriya avtomatieskogo upravleniya. T. 1. Linejnye sistemy / D. Kim. – М. : FIZMATLIT, 2003. – 220 s.

Рецензія/Peer review : 5.1.2020 р. Надрукована/Printed : 14.2.2020 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ СЕГМЕНТОВАНОЇ КАБЕЛЬНОЇ ЛІНІЇ У МЕТОДІ НЕЛІНІЙНОЇ РЕАКЦІЇ

Запропонована модель розрахунку пропускної спроможності сумісного телекомунікаційного каналу у сегментованих кабельних лініях кабельних систем охорони периметрів об'єктів, що використовують метод нелінійної реакції для виявлення місця критичного uszkodження. Модель враховує параметри частотного та енергетичного ресурсу сегментованої лінії із нелінійними елементами під час передавання цифрових сигналів.

Ключові слова: метод нелінійної реакції, пропускна спроможність, сегментована кабельна лінія.

OLEG SERGHIJOVYCH PYVOVAR
Khmelnitskyi National University

TELECOMMUNICATION PROPERTIES OF A SEGMENTED CABLE LINE IN THE NONLINEAR RESPONSE METHOD

The sensor cable line, along with its main function, can be used as a data link between the detectors and the system control center. In terms of simplicity and cost efficiency, it is advisable to use the nonlinear response method, which implies the use of nonlinear devices as damage control elements. A reasonable choice of the geometrical parameters of the line, the construction of the line segments, the level of misalignment of the segments, the model of consideration of the noise properties of the line was made in order to determine the bandwidth of the telecommunication channel. An analytical model was developed to determine the bandwidth of a segmented cable line with nonlinear elements based on the established limitations of the nonlinear method. The bandwidth estimation of the segmented touch line is estimated while varying the parameters of the cables used. The most optimal parameters for real application were highlighted. A noise scheme model is proposed to estimate the total noise level in a segmented cable line with Zener diodes. For typical Zener diodes and optimal transmission line parameters, the upper limits for the total noise level were set. Based on the nature of the nonlinear response method and the determined frequency and noise parameters for the digital telecommunication sensor channel, the lower bandwidth limit was estimated.

Keywords: nonlinear response method, throughput, segmented cable line.

Постановка проблеми

Системи охоронної сигналізації периметрів, що блокують периметри без огорожі, доцільно використовувати для охорони особливо важливих об'єктів: підгруп АП (сховищ з вибуховими матеріалами, грошових сховищ тощо) та АІ (ядерних реакторів, електростанцій тощо) шляхом встановлення їх перед основною огорожею для попередження можливого несанкціонованого проникнення на об'єкт, що охороняється або територію цього об'єкту. Вибір конкретних типів периметральних систем охоронної сигналізації проводиться [1] залежно від наявності різновиду механічного огороження; наявності смуги відчуження та її ширини; довжини периметра охорони; рельєфу місцевості тощо.

Системи контролю лінії також можуть використовуватись в якості систем сигналізації. Сама лінія для забезпечення низької вартості часто виступає і в якості сенсора, і в якості середовища доставки охоронної інформації. На даний час розроблена велика кількість типів сповіщувачів, що працюють на різноманітних фізичних принципах. Вартість сповіщувачів складає основну вартість усієї системи [2].

Сенсорна функція лінії зв'язку передбачає використання лінії одночасно і як оповіщувача. В такому випадку можливі два варіанти: безрозривний оповіщувач та оповіщувач розривного або контактного типу. В першому випадку зовнішній вплив не змінює параметри або характеристики лінії. Найбільш відомі безконтактні оповіщувачі емнісного або індуктивного типу.

Телекомунікаційна функція в рамках методу нелінійної реакції [3] полягає у можливості визначення зони розташування uszkodженого сегменту на основі сегментів, що залишилися неушкодженими. При цьому фактично реалізується нелінійне параметричне рівневе ущільнення – розділення інформації про аварійний стан (розрив або коротке замикання) сегменту лінії. Одночасно із проведенням контролю лінії цією самою лінією можуть передаватись сигнали контролю та керування від деяких автономних сенсорів або сповіщувачів низького енергоспоживання [2], в такому випадку доцільно провести аналіз пропускної спроможності лінії для обміну інформацією в такій системі.

Метою статті є встановлення вимог та проведення оцінювання пропускної спроможності телекомунікаційного каналу охоронних систем на основі використання сенсорної сегментованої кабельної лінії та методу нелінійної реакції для визначення зони критичного uszkodження.

Аналіз останніх джерел

Запропонований метод [3], що використовує суттєво нелінійну вольт-амперну характеристику (ВАХ) стабілітронів забезпечує мінімізацію апаратних та кошторисних витрат для контролю сегментованої лінії передачі з можливістю створення телекомунікаційного каналу. Об'єднання функцій лінії як сенсора, оповіщувача, енергетичного та телекомунікаційного (командно-телеметричного) каналу дозволяє забезпечити мінімізацію витрат на проектування, виготовлення та розгортання системи контролю лінії охоронних систем сигналізації несанкціонованого доступу.

У [4] доведена працездатність методу нелінійної реакції для встановлення місця розташування як для випадку розриву лінії, так і для випадку короткого замикання із застосуванням простих засобів вимірювання та за умови однобічного контролю. Запропоновано ряд аналітичних моделей контролю

ушкодження сегментів лінії за методом нелінійної реакції, що побудовані на основі кусково-лінійної апроксимації ВАХ стабілітронів як нелінійних елементів та власних параметрів сегментів сенсорної лінії передачі. Дослідження моделей [4] дозволило встановити комплексні умови для оптимізації параметрів кабельних ліній та використовуваних стабілітронів.

Також у роботі [4] представлено ряд графічних залежностей методу нелінійної реакції для типових кабельних ліній та стабілітронів широкого застосування. Аналіз моделей методу нелінійної реакції показав, що зі збільшенням значення струму витікання стабілітронів в зоні поєднання сегментів посилюється рівень нелінійного характеру залежності вхідної напруги від номера сегменту із критичним ушкодженням, що призводить до зменшення розрізнявальної спроможності щодо точного контролю ураження віддалених сегментів. Компенсація вказаного недоліку можлива за допомогою застосування обернено експоненційної залежності напруги стабілізації стабілітронів вздовж лінії таким чином, щоб різниця напруги стабілізації на початку лінії була меншою за різницю напруги наприкінці лінії.

Телекомунікаційна функція кабелю в охоронних системах [1], в тому числі і сенсорних кабельних лініях передбачає передавання інформації про сервісні та контрольні стани сповіщувачів, наприклад, факту безконтактного несанкціонованого доступу. В переважній більшості випадків об'єктом несанкціонованого доступу є людина або тварина, хоча таким може бути деякий роботизований механізм під зовнішнім керуванням тощо. Швидкість передавання інформації від кожного сповіщувача визначає час реакції усієї системи на загрозу несанкціонованого доступу. Кількість сповіщувачів та швидкість інформування центрального пульта охоронної системи також визначається пропускнуою спроможністю телекомунікаційного каналу.

Особлива увага в рамках телекомунікаційної функції ліній передачі для побудови надійної (а це найважливіше) системи охорони полягає в ущільненні – розділенні [2] сигналів від сповіщувачів різних типів. Із метою багатокористувацької роботи сповіщувачів на сегментовану лінію передачі використовуються різні методи ущільнення та розділення каналів, але найбільш широко застосовуються цифрові методи ущільнення, що часто стандартизовані та уніфіковані з комп'ютерним устаткуванням [5]. Наявність такої системи передачі цифрової інформації від сповіщувачів із прогнозованою пропускнуою спроможністю телекомунікаційного каналу охоронної системи дозволяє більш точно локалізувати порушника або факт аварії.

Виклад основного матеріалу

Для визначення пропускнуої спроможності використовується теорія інформації Шенона, за якою:

$$C_{ш} = \Delta f_k \log \left(1 + \alpha_c \frac{P_c}{P_{ш}} \right), \quad (1)$$

де $C_{ш}$ – шенонівська ємність каналу, Бод; Δf_k – смуга пропускання каналу зв'язку, Гц; $P_c/P_{ш}$ – відношення потужності сигналу до потужності шуму в каналі відповідно; α_c – коефіцієнт інформаційних втрат.

Отже для оцінювання реальної пропускнуої спроможності необхідно визначитись із шириною смуги та динамічним діапазоном за умови використання бінарних телекомунікаційних сигналів. В першому наближенні, виходячи із аналогічних ситуацій, описаних в [2], ширина смуги не буде перевищувати декількох кілобод, що цілком достатньо для функціонування комплексної охоронної системи.

Ширина смуги (1) обмежена та визначається такими основними факторами: довжина лінії, або кількість сегментів; конструкція двопровідної лінії; неузгодження у точках стику сегментів. Слід також зазначити, що на величину втрат неузгодження впливає також нелінійний характер ВАХ стабілітронів, розташованих між сегментами.

Відношення сигнал – шум в системі сегментованої лінії за методом нелінійної реакції переважно визначається наступними чинниками: максимальне значення сигналу, що обмежене напругою стабілізації стабілітрону останнього сегменту; мінімальне значення сигналу, що обмежене значенням завад у лінії, серед яких домінують частину займає додатковий шум, що створюється стабілітронами, які працюють в режимі лавинного пробою.

Для дрітчастих кабельних ліній активний опір R_A більший за опір постійному струмові в основному через наявність поверхневого ефекту та ефекту близькості [5]. Загалом, згідно з R_A кабельної лінії змінному струму дорівнює сумі наступних складових:

$$R_A = R_{II} + R_{PE} + R_{BL} + R_M, \quad (1)$$

де R_{II} – опір сегменту лінії постійному струму; R_{PE} – опір за рахунок поверхневого ефекту; R_{BL} – опір за рахунок ефекту близькості; R_M – опір, обумовлений втратами в навколишню жилу металевих елементах (оболонка, броня) (опір оточуючих мас).

Товщина мідної жили кабелю (рис. 1) та довжина кабелю (рис. 2) охоронних систем знизу обмежена збільшенням опору та погіршенням чутливості до розриву останніх сегментів кабелю, а з іншого боку – умовами прихованості розташування та прокладання кабелю, а також його вартістю. Відповідно рис. 1 та рис. 2 очевидно, що для використання в методі нелінійної реакції доцільно застосовувати кабель із діаметром дрітчастої жили в 0,15 мм та довжиною охоронної ділянки сегменту до 50 м.

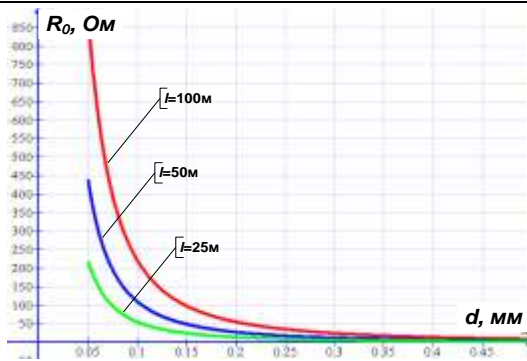


Рис. 1. Залежність опору сегменту охоронного кабелю від діаметру дротяної жили кабелю

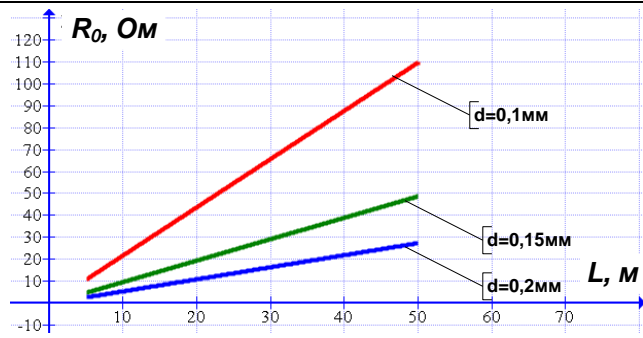


Рис. 2. Залежність опору сегменту охоронного кабелю від довжини сегменту

В охоронних системах використовують сповіщувачі, що устатковані цифровими системами передачі даних [2], тобто в каналі діє цифровий бінарний сигнал, для якого коефіцієнт інформаційних втрат (1) складає 0,03. Застосування цифрових сигналів суттєво зменшує пропускну спроможність лінії, але зменшує вартість системи загалом через відсутність пристроїв оптимального перекодування.

Для спрощення визначення частотного ресурсу сегментованої лінії з достатньо високим ступенем достовірності введемо наступні обмеження досліджуваної моделі лінії: включення між сегментами стабілітронів практично не впливає на режим повного узгодження суміжних сегментів; активний опір сегменту визначається для типової лінії передачі із малими втратами; очікуваний частотний ресурс та довжина сегментів у 25...100 м, дозволяють стверджувати, що така лінія передачі працює в режимі, близькому до RC-типу поширення хвиль [5] та може розглядатись як лінія із малими втратами.

Модуль передавальної функції лінії передачі із малими втратами розраховують так:

$$|K_U(\omega)| \cong e^{-l r_1 / (2Z_0)}; \tag{2}$$

де r_1 – питомий опір лінії передачі; Z_0 – модуль повного (середнього) хвильового опору сегментованої лінії передачі.

Якщо конструкція лінії передачі являє собою два провідника круглого діаметру із деякою відстанню між ними, співрозмірною із діаметром мідного дроту, яка заповнена діелектричним матеріалом та працює в RC режимі, то розрахунок хвильового опору такої передавальної структури проводиться за [5] наступним виразом:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{r_1}{\omega C_1}}, \tag{3}$$

де C_1 – питома ємність кабелю, що для вказаної конструкції кабелю можливо наближено знайти як $C_1 = 27,8 \cdot 10^{-12} \varepsilon / \ln(2b/d)$; $\varepsilon \approx 2,3$; b – відстань між двома дротами у симетричному кабелі; d – діаметр дроту; μ, ε – відносна магнітна та діелектрична проникності відповідно.

Питомий сумарний опір лінії передачі за умови знехтування дією ефекту близькості та впливу оточуючих ліній мас складатиме:

$$r_\Sigma = r_1 = \sqrt{r_2^2 + r_3^2} = \sqrt{\left(\rho \frac{4}{\pi d^2}\right)^2 + \left(2,61 \cdot 10^{-7} \frac{\sqrt{f}}{\pi d}\right)^2}, \tag{4}$$

де r_2 – питомий опір за постійним струмом, r_3 – питомий опір, що викликано поверхневим ефектом.

Звідки повний вираз для АЧХ лінії передачі довжини l , за умов математичної моделі АЧХ (2) складатиме:

$$\begin{aligned} |K_U(\omega)| &\cong e^{-al} = e^{-l r_\Sigma / (2Z_0)} = \exp\left\{-\frac{l r_\Sigma}{2\sqrt{\frac{r_\Sigma}{\omega C_1}}}\right\} = \exp\left\{-\frac{l\sqrt{r_\Sigma}}{2\sqrt{\frac{1}{\omega C_1}}}\right\} = \exp\{-0,5l\sqrt{\omega r_\Sigma C_1}\} = \\ &= \exp\left\{-0,5l\sqrt{27,8 \cdot 10^{-12} \frac{2\pi\varepsilon \cdot f}{\ln\left(\frac{2b}{d}\right)} \sqrt{\left(\rho \frac{4}{\pi d^2}\right)^2 + \left(2,61 \cdot 10^{-7} \frac{\sqrt{f}}{\pi d}\right)^2}}\right\} \end{aligned} \tag{5}$$

Якщо $d=0,15$ мм, то вираз (5) спрощується до:

$$|K_U(f)| \cong \exp \left\{ -0,5l \sqrt{27,8 \cdot 10^{-12} \frac{2\pi\epsilon \cdot f}{\ln\left(\frac{2b}{d}\right)} \sqrt{\left(\rho \frac{4}{\pi d^2}\right)^2 + \left(2,61 \cdot 10^{-7} \frac{\sqrt{f}}{\pi d}\right)^2}} \right\} \cong \exp \left\{ -10^{-5} l \sqrt{\frac{f}{\ln(13,3b)}} \right\} \quad (6)$$

$[b]=\text{мм}$
 $f < 100\text{кГц}$

Таким чином, ширина смуги лінії (рис. 3) передачі можливо оцінити як таку, що обмежена сотнями герц. Подібні невеликі значення пояснюються малим діаметром дроту та зазорами між провідниками в симетричній лінії передачі.

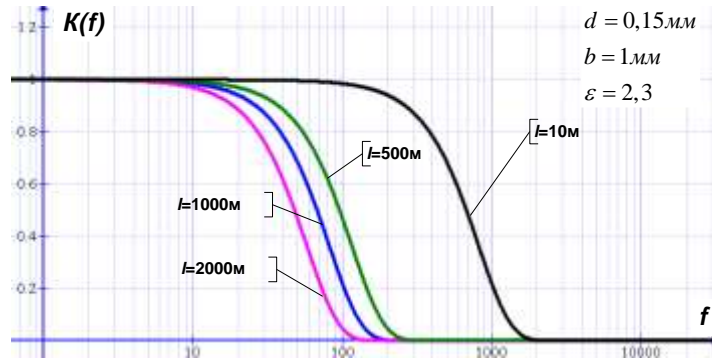


Рис. 3. Залежність передавальної функції сегментованої лінії від довжини лінії

Особливістю використання лінії передачі в методі нелінійної реакції є застосування принципово-нелінійних елементів – стабілітронів. Крім того, що стабілітрон має нелінійну ВАХ, стабілітрон є принципово елементом, що генерує значний шум. В нашому випадку шум є деструктивним фактором, рівень якого обмежує пропускну спроможність телекомунікаційного каналу сегментованої лінії.

Шум стабілітрона виникає в початковій ділянці лавинного пробію напівпровідникового приладу та характеризується діапазоном значень напруги та струмів (рис. 4). Якщо умовно розташувати ВАХ стабілітронів вздовж лінії передачі на одному графіку (рис. 5), то легко побачити, що струми передачі інформаційного сигналу розташовані в ділянках лавинного пробію стабілітронів. В результаті цього, в найгіршому випадку, всі стабілітрони будуть створювати сильний шум для інформаційного сигналу.

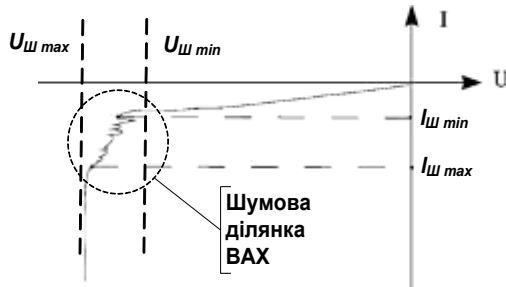


Рис. 4. Шумова ділянка стабілітрона на зворотній гілці ВАХ

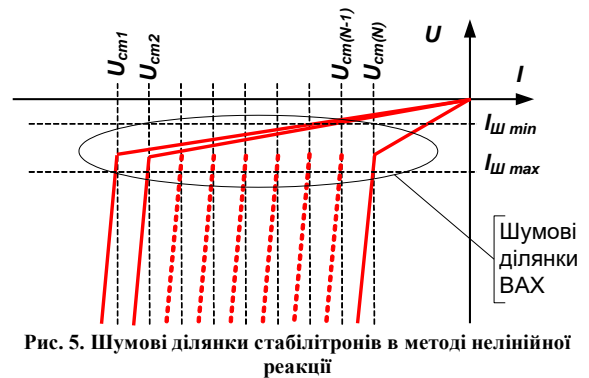


Рис. 5. Шумові ділянки стабілітронів в методі нелінійної реакції

Основним параметром стабілітронів з точки зору генерації шуму в шумовій ділянці є спектральна густина ефективного значення шумової напруги (N_D), що наводиться в паспортних даних [5]. Характер шумового процесу під час лавинного пробію в обмеженому діапазоні частот наближено відповідає білому шуму. Верхня оцінка середнього рівня шуму стабілітрона, за умови знехтуванням рівнем теплових шумів стабілітрона та суміжних ділянок лінії, складатиме:

$$V_{ш1} = N_{D1} \sqrt{\Delta f_K} = 1000 \cdot 10^{-9} \sqrt{1000} \approx 32(\text{мкВ}), \quad (7)$$

де Δf_K – частотний ресурс телекомунікаційного каналу (див. рис. 3).

Шуми можливо вважати незалежними для різних стабілітронів, в результаті чого сумарна напруга шуму із (7) буде оцінюватись так:

$$V_{ш2} = \sqrt{\sum_{i=1}^N V_{ш1}^2} = V_{ш1} \sqrt{N} = 32 \sqrt{20} = 0,15(\text{мВ}), \quad (8)$$

де $V_{ш1}$ – шумова напруга стабілітрона.

Виходячи із (8), динамічний діапазон рівнів цифрового сигналу знизу обмежено шумами стабілітронів $V_{ш2}$, а зверху мінімальним значенням різниці напруг стабілізації [4] (близько 2В), звідки за (1)

пропускна спроможність оцінюється так:

$$C = \Delta f_k \log_2 \left(1 + \alpha_c \frac{P_c}{P_{ш}} \right) = \Delta f_k \log_2 \left(1 + \alpha_c \left(\frac{\Delta V_{CT}}{V_{ш_с}} \right)^2 \right) \approx 1000 (\text{Бод}) \quad (9)$$

Значення, отримане у (9), невелике, але цілком достатнє для передавання інформації від сенсорів та сповіщувачів у цифровому вигляді у реальних ділянках часу.

Під час вибору стабілітронів в методі нелінійної реакції особливу увагу слід приділити різниці напруги стабілізації [4], завдяки тому, що від неї залежить точна локалізація критичного ушкодження лінії та пропускна спроможність лінії передачі у випадку одночасного використання методу контролю та передачі інформаційного сигналу. Оцінка залежності пропускної спроможності від мінімальної різниці напруги стабілізації стабілітронів для лінії загалом (ліворуч) та окремого сегмента (праворуч) наведена на рис. 6.

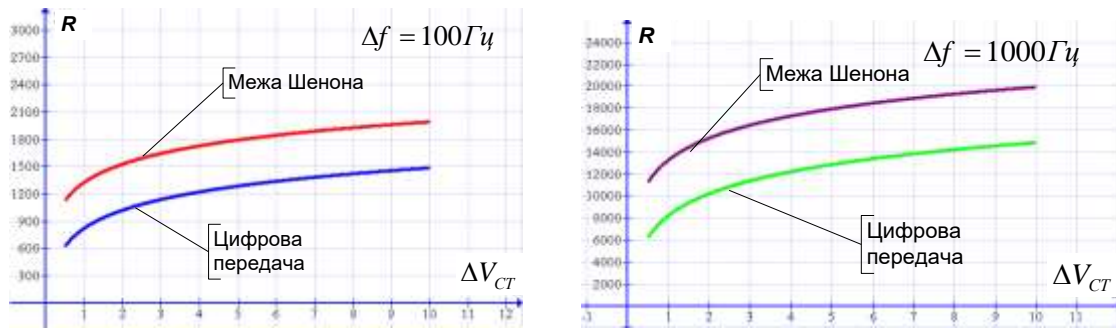


Рис. 6. Залежність пропускної спроможності лінії від мінімальної різниці напруги стабілізації стабілітронів

Слід зазначити, що підвищення мінімальної різниці між рівнями стабілізації стабілітронів суміжних сегментів призводить до необхідності підвищення напруги джерела постійного струму схеми вимірювання або зменшення кількості контрольованих ділянок лінії в межах охоронної сигналізації. Тому значення напруги має обиратись компромісно, виходячи із конкретних функціональних навантажень системи, в тому числі і необхідної пропускної спроможності.

Висновки

1. Запропонована модель для визначення ширини смуги пропускання сумісного телекомунікаційного каналу в методі контролю критичних ушкоджень сегментованої кабельної лінії. Показано, що для реальних умов використання на об'єктах охорони ширина смуги становить близько 100 Гц.
2. Використовуючи модель сегментованої кабельної лінії у методі нелінійної реакції, проведено оцінку нижньої межі телекомунікаційного каналу сегментованої кабельної лінії (одиниці кілобод), та побудовано залежності пропускної спроможності від параметрів суміщеного телекомунікаційного каналу.

Література

1. Груба И.И. Системы охранной сигнализации. Технические средства обнаружения / И.И. Груба. – М. : СОЛОН-ПРЕСС, 2012. – 220 с.
2. Елементи і пристрої фізичної та електронної охорони об'єктів : конспект лекцій / П. В. Мокренко ; Нац. ун-т «Львів. політехніка». – Л. : Фенікс, 2000. – 186 с.
3. Пивовар О.С. Метод нелінійної реакції у сегментованих кабельних лініях діагностичних та охоронних систем / О.С. Пивовар, Я.В. Вержбицький // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2019. – № 4(275). – С. 154–157.
4. Пивовар О.С. Моделювання методу нелінійної реакції у сегментованих кабельних лініях / О.С. Пивовар, В.Д. Бидюк, Я.В. Вержбицький // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2019. – № 5(276). – С. 147–151.
5. Бакланов И.Г. Методы измерений в системах связи / И.Г. Бакланов. – М. : Изд-во «Эко-Трендз», 1999. – 278 с.

References

1. Gruba I.I. Sistemy ohrannoj signalizacii. Tehnicheskie sredstva obnaruzheniya / I.I. Gruba. – M. : SOLON-PRESS, 2012. – 220 s.
2. Elementy i prystroi fizychnoi ta elektronnoi okhorony ob'ektiv : konspekt leksii / P. V. Mokrenko ; Nats. un-t «Lviv. politehnika». – L. : Feniks, 2000. – 186 s.
3. Pyvovar O.S. Metod neliniinoi reaktsii u sehmentovanykh kabelnykh liniyakh diahnostychnykh ta okhoronnykh system / O.S. Pyvovar, Ya.V. Verzhbytskyi // Herald of Khmelnytskyi National university. – 2019. – № 4(275). – С. 154–157.
4. Pyvovar O.S. Modeliuvannya metodu neliniinoi reaktsii u sehmentovanykh kabelnykh liniyakh / O.S. Pyvovar, V.D. Bydiuk, Ya.V. Verzhbytskyi // Herald of Khmelnytskyi National university. – 2019. – № 5(276). – С. 147–151.
5. Baklanov I.G. Metody izmerenij v sistemah svyazi / I.G. Baklanov. – M. : Izd-vo «Eko-Trendz», 1999. – 278 s.

Рецензія/Peer review : 22.1.2020 р.

Надрукована/Printed : 14.2.2020 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕЧНОГО ОБМІНУ ІНФОРМАЦІЇ В МЕРЕЖІ ЕЛЕМЕНТІВ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Пристрої інтернету речей дозволяють передавати інформацію від малих до великих обсягів даних. Однією з типових проблем речей інтернету речей є необхідність захисту інформації від втручання в канал зв'язку. Пристрої IoT часто володіють односторонністю дії, тобто передачею даних лише до приймача. За апаратною складністю, кінцеві вузли IoT, на відміну від потужних серверів мережі, мають обмежені ресурси як в пам'яті пристрою, так і в обчислювальній потужності процесору. Зростання обчислювальної потужності обмежується доступним енергоспоживанням. Тому важливим є забезпечення надійної аутентифікації та захисту даних із застосуванням простих та ефективних алгоритмів.

Ключові слова: інтернет речей, захист інформації.

N.I. PRAVORSKA

Khmelnitskyi National University

PROVIDING SECURITY OF INFORMATION EXCHANGE ON THE ELEMENTS OF THE INTERNET OF THINGS

Internet of Things devices allow you to transfer information from small to large amounts of data. One of the common problems with the Internet of Things is the need to protect information from interference with a communication channel. IoT devices often have a one-sided effect, that is, transferring data only to the receiver. In hardware complexity, IoT endpoints, unlike powerful network servers, have limited resources in both device memory and processor computing power. The increase in computing power is limited by the available power consumption. Therefore, it is important to ensure reliable authentication and data protection using simple and efficient algorithms. The need to protect privacy by circulating on the Internet with greater information is obvious, and with the development of wireless networks and the growing number of smart devices more than ever relevant. Meanwhile, features of IoT systems, such as the large number of interacting devices, their limited resources and the need for continuous real-time work require a special approach in the selection and creation of cryptographic protocols. Attribute-based encryption allows for 63 access controls and addresses one encrypted message to multiple devices that have the same attribute sets, which is useful in IoT systems. On the other hand, ABE schemes need to be refined to meet the resource constraints. Lightweight cryptographic primitives satisfy this condition, but not all of them are sufficiently robust.

Keywords: Internet of Things, information security.

Вступ

Зі швидким розвитком Інтернету речей (IoT) і «розумних» міст світ рухається у напрямі інтелектуалізації, за якого об'єкти здатні взаємодіяти з іншими об'єктами. У епоху IoT автостоянки можуть направляти вас до незайнятих паркувальних місць, заводи можуть автоматично вирішувати проблеми виробничої лінії, а готелі можуть регулювати температуру і освітлення відповідно до переваг гостя. Усе вище викладене забезпечує рішення завдань «розумного» міста.

Ця нова екосистема «речей» нині формує новаторську бізнес-модель для наступного покоління вбудовуваних продуктів/виробів.

Постановка проблеми

Розумні міста застосовують передові інформаційні технології, такі як Інтернет речей, хмарні обчислення і мобільний інтернет до рішень у сфері комунальних послуг, будівлям і системам, які оточують нас. Інтелектуальні рішення дозволяють нам підвищити ефективність роботи і якість життя за рахунок інтеграції інтелекту в технології.

Згідно із звітом Gartner в 2020 році, використовуватиметься більше 30 мільярдів підключених пристроїв. «Cisco» має ще більші прогнозовані показники, обумовлені зниженням ціни на підключення і подальшим швидким ростом числа з'єднань між машинами (M2M). Фірма «Cisco» очікує, що число підключених до мережі пристроїв досягне 50 мільярдів до 2020–2022 року. Крім того, згідно із сміливішим прогнозом компанії Morgan Stanley [2], 75 мільярдів пристроїв по всьому світу будуть підключено до 2023 року. Тобто, виходячи з різних ресурсних джерел, до 2020–2022 року прогнозується 50–100 мільярдів приладів, приєднаних до мережі Інтернет.

Захист персональних даних має бути надійно забезпечений через здатність пристроїв обробляти конфіденційну інформацію.

Основна частина

Впродовж останнього десятиліття Інтернет речей (IoT) плавно увійшов до нашого життя завдяки появі систем безпроводного зв'язку, таких як RFID, Wi-Fi, 4G, IEEE 802.15.x, які найчастіше використовуються в основі додатків моніторингу і контролю. У теперішній же час, концепція Інтернету речей має складну структуру. Вона включає багато різних технологій, служб і стандартів, і це широко сприймається в якості основи ринку ІКТ, принаймні, в найближчі десять років.

Високий рівень неоднорідності, у поєднанні з широкою гаммою систем Інтернету речей, як очікується, підвищить існуючий рівень загроз безпеки в глобальній мережі, яка все частіше використовується для взаємодії людей, машин і роботів. Зокрема, традиційні заходи дотримання конфіденційності і протидії загрозам не можуть бути безпосередньо застосовані до технологій IoT із-за їх

обмеженої обчислювальної потужності. Крім того, велика кількість сполучених пристроїв створює проблему масштабованості. В той же час, для досягнення повного визнання з боку користувачів визначення і досягнення необхідного рівня безпеки, конфіденційності і довіри моделей, відповідних для Інтернету речей, є обов'язковим. Окрім цього мають бути гарантовані безпека і анонімність даних, їх конфіденційність і цілісність, а також надійність механізмів аутентифікації і авторизації. Це необхідно для запобігання несанкціонованому доступу неавторизованих користувачів до системи.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика стандартів безпроводних мереж

Стандарт	ZigBee (IEEE 802.15.4)	Wi-Fi (IEEE 802.11b)	Bluetooth (IEEE 802.15.1)
Частотний діапазон	2,4-2483 ГГц	2,4-2,483 ГГц	2,4-2,483 ГГц
Пропускна спроможність, кбіт/с	250	11000	723,1
Розмір стека протоколу, кбайт	32-64	Більше 1000	більше 250
Час безперервно роботи від батареї, дні	100-1000	0,5-5	1-10
Максимальна кількість вузлів в мережі	65536	10	7
Діапазон дії, м	10–100	20–300	10–100
Сфера застосування	Видалений моніторинг і управління	Передача мультимедійної інформації	Заміщення дротяного з'єднання

Незважаючи на різноманіття стандартів Інтернету речей (таблиця 1) у всіх них є спільні проблеми.

1) Перша загальна проблема – це речі IoT або пристрої – використовуються сенсори, контролери, актуатори, а також фізичні об'єкти, які спочатку не призначені для підключення до мережі. Кожна річ повинна бути однозначно ідентифікована. Пристрої ідентифікуються програмно-апаратними засобами, передбаченими розробниками пристроїв, традиційний ідентифікатор – MAC-адресу мережевого адаптера. Діапазон доступних адрес кінцевий, але більш широкі можливості надає, нова версія протоколу IP – протокол IPv6, з довжиною адреси 128 біт замість 32 в IPv4. А фізичні об'єкти можуть бути ідентифіковані за допомогою RFID-міток, радіо-маяків та ін.

2) Другий спільною проблемою є мережі Інтернету речей. Провідні та безпроводні, в складі яких хаби і шлюзи, з усім зоопарком численних протоколів. Для бездротових мереж важливу роль відіграють такі якості, як ефективність в умовах низьких швидкостей, відмовостійкість, адаптивність, можливість самоорганізації, низьке енергоспоживання.

3) Третя загальна проблема, це центри обробки даних (ЦОД), як правило, в хмарі (cloud computing). У цих центрах здійснюється збір, зберігання, обробка, аналіз і візуалізація даних. А також виробляються прогнози, рекомендації і команди пристроїв для розумного взаємодії між собою і між пристроями і зовнішнім середовищем відповідно до заданих алгоритмів.

З усіма загальними проблемами зростає ризик нестабільної роботи IoT систем. Забезпечити вирішенню можливе шляхом аналізу проекту, розділяючи систему на модулі. Кожен модуль варто досліджувати, скласти базу можливих несправностей, підготувати тести і досліджувати рішення усунення і підвищення стійкості до цих несправностей.

Визначення невирішених питань

Які проблеми є в IoT сьогодні в розрізі забезпечення захисту інформації?

- Аутентифікація датчиків/сенсорів/контролерів/шлюзів
- Аутентифікація запитів для доступу до датчиків/сенсорам/контролерам/шлюзам і їх конфігурації
- Конфіденційність передаваних даних
- Забезпечення цілісності даних і команд
- Анонімність і приватність (для консьюмерського IoT)

Основна частина

IoT є новим кроком в технологічному прогресі. Інтернет речей дозволяє людям і речам "з'єднатися" для спільного використання у будь-який час і у будь-якому місці, використовуючи різні мережі зв'язку. У документах замість терміну "річ" ("things") застосовують такі терміни як – об'єкт ("objects"), вузол ("node"), прилад або пристрій ("device") та ін. Основними компонентами IoT є сенсорні мережі USN (Ubiquitous Sensor Networks) і радіочастотна ідентифікація RFID (Radio Frequency Identification) [1].

Річчю в RFID є RFID-мітка (RFID-ter), а в USN – сенсорний датчик або група датчиків. Мережеві структури мереж USN побудовані на базі варіанту протоколу IPv6 - 6LoWPAN (Low energy IPv6 based Wireless Personal Area Networks protocol) або "протокол безпроводової мережі низького споживання на базі IPv6". В самій назві протоколу вже робляться акценти на:

- 1) мінімізація споживання енергії;
- 2) досягнення максимальної кількості елементів в мережі, що не заважають один одному.

Можливість протоколу 6LoWPAN присвоїти усім сенсорним датчикам і RFID-міткам IP-адреси дозволяє реалізувати саму ідеологію реконфігурованої мережі IoT. Вже сьогодні можна спостерігати як через інтернет між собою пов'язані різні пристрої, працюючи без участі людини, – системи управління освітленням, системи управління, автоматичні системи поливу, датчики пожежної і охороною сигналізації, світлофори та ін. [3]. Однією з головних проблем IoT є забезпечення інформаційної безпеки (ІБ).

Чим відрізняються сенсорні мережі від мереж IoT?

Сенсорні мережі використовуються для конкретних застосувань, а IoT повинен підтримувати різні види додатків і може розглядатися як сенсорна мережа загального призначення. На рис. 1 показані складові операції, що виконуються в мережі речей.

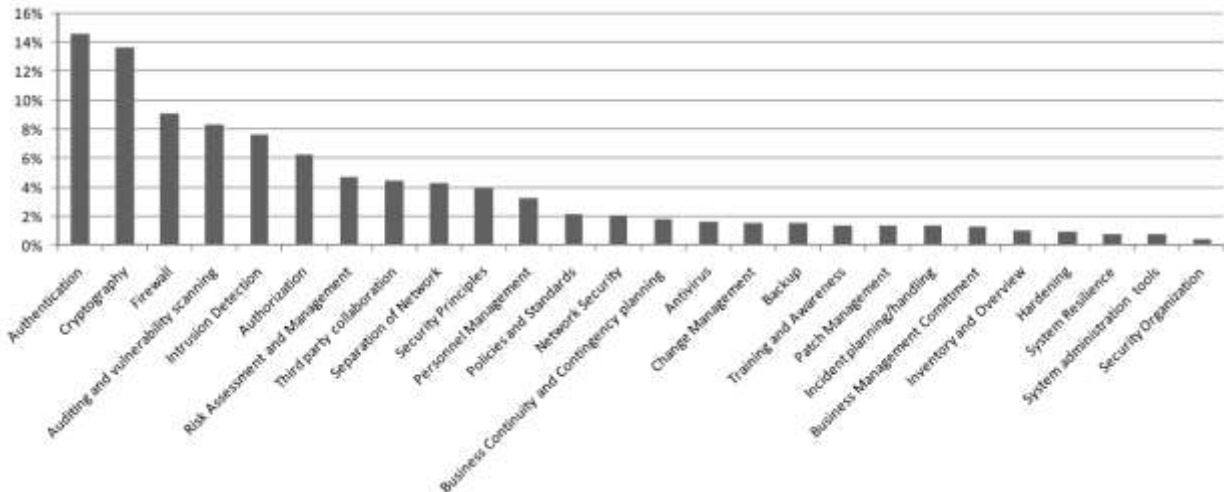


Рис. 1. Елементарні операції інтернету речей.

Джерело: SCADA System Cyber Security - A Comparison of Standards

Отже, за оцінками спеціалістів, найбільш використовуваними операціями в мережі є:

- 1) аутентифікація (14,3%);
- 2) криптографічна обробка даних (13,5%).

Причини, чому аутентифікація та криптографічна обробка даних використовують рівні частини дій є цілком очевидні:

- Підключення від недовіреного середовища до контрольованої зони вимагає захист даних;
- Підтвердження дійсності та прав доступу при передачі інформації;
- Низьке енергоспоживання та довготривала автономність роботи з одночасною передачею малих порцій даних;

Однако, однонапрямлена взаємодія та довготривала відсутність адміністратора пристрою.

Задача забезпечення низького енергоспоживання є сукупністю двох факторів:

- 1) задача швидкого призначення довільного адресу для IoT-пристрою;
- 2) задача швидкого захисту відкритого контенту шляхом інкапсулювання його у захищений контейнер.

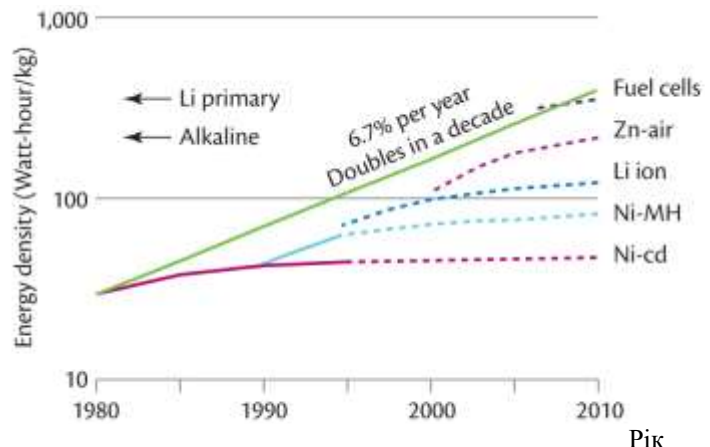


Рис. 2. Тенденції забезпечення автономного живлення пристроїв IoT

Чому не будь-яка криптографія підходить для використання в IoT-пристроях?

- Передача даних в IoT оцінюється не лише і не стільки швидкістю передачі, а обсягом корисної інформації, яка зазвичай вимірюється на великих пакетах (400+ байт).
- У IoT набагато більше значення має розмір інформації і вимога по затримках. Часто захистити потрібно всього декілька біт інформації. У окремих стандартах електроенергетики вимагається забезпечувати передачу даних із затримкою не більше $10^{-3} \dots 10^{-6}$ с.

Можливості ведення додаткових функцій для протоколів пристроїв IoT

Частина протоколу взаємодії	Вбудована в устаткування	Накладена поверх існуючих
<ul style="list-style-type: none"> • ZigBee • Secure DNP3 • DNPSec • Secure Modbus • OPC • 6LoWPAN 	<ul style="list-style-type: none"> • Непридатна для «застарілого» устаткування • Не усі пристрої через нестачу системних ресурсів і вимог до автономної роботи підтримують «зайвий» функціонал • Деякі виробники контролерів стали оснащувати свої рішення вбудованою криптографією 	<ul style="list-style-type: none"> • Найпопулярніший варіант • Підходить для «старих» пристроїв і зарубіжних АСОВІ ТП, в яких необхідно забезпечити додаткові гарантії • Ідеальна для видаленого доступу
<u>Вплинути не можна</u>	<u>Вплинути можна тільки при виборі устаткування</u>	<u>Максимально керована ситуація</u>

На рис. 2 показано зростання потужності джерел живлення для автономних систем, проте одночасно з цим зростає і обсяг даних, що обробляється в пристроях.

Варіанти реалізації криптографії при застосуванні різних протоколів та устаткування показана в таблиці 2.

Атрибутно-засноване шифрування

Атрибутно-засноване шифрування (Attribute-based Encryption, ABE) було уперше описане Амитом Сахаї і Брентом Уотерсом в 2004 році [3]. Основна ідея такого шифрування полягає в тому, щоб використати певні атрибути користувача в якості його ключа. Для генерації і видачі ключів потрібний так званий авторизований центр видачі атрибутів (Attribute Authority, AA).

У деяких схемах передбачається наявність декількох таких центрів, що відповідають за різні види атрибутів. Такі схеми дістали назву Multi-Authority ABE або MA-ABE. Залежно від того, хто визначає політику доступу до зашифрованих повідомлень, розрізняють два можливі підходи до реалізації ABE схеми: Key-Policy ABE (KP-ABE) і Ciphertext-Policy ABE (CP-ABE). У KP-ABE політика доступу включена в закритий ключ одержувача, а набір атрибутів пов'язаний з шифр-текстом. У CP-ABE політика доступу включена в шифр-текст, а набір атрибутів пов'язаний з ключем одержувача. У обох випадках через шифрування також здійснюється контроль доступу, що робить використання ABE привабливим для Інтернету речей.

Оскільки розумні речі можуть бути суттєво обмежені в обчислювальних потужностях і обсягах доступної пам'яті, нерідко постає питання про те, що фактично реалізовується ABE-схеми в мережах інтернету речей. На їх реалізацію також впливають типи і число атрибутів, визначених політикою доступу.

Так, в оригінальній CP-ABE-схемі, описаній в [3], для кожного атрибуту з політики доступу потрібні дві операції піднесення до степеня при шифруванні. Розшифровка в тій же CP-ABE схемі вимагає k піднесень до степеня і $2k$ білінійних відображень, тоді як в KP-ABE схемі – тільки k білінійних відображень, де k – число атрибутів, що задовольняють політиці. Проте в роботі [4] була продемонстрована адаптація ABE схем до використання на таких платформах працездатності, на рівні Intel Atom як Raspberry Pi, Intel Galileo Gen 2 і Intel Edison.

Ще однією особливістю, яка ставить під сумнів можливість застосування існуючих ABE-схем в інтернеті речей, є використання в них 62 білінійних відображень.

Легковагі криптографічні примітиви

Безпека інтернету речей безпосередньо пов'язана з використовуваними в протоколах примітивами: шифрами, хеш-функціями. Здебільшого для таких пристроїв використовують блокове шифрування, оскільки воно вимагає менше ресурсів і пам'яті, у порівнянні з асиметричними криптографічними алгоритмами.

Одні з відомих легковагих шифрів — це Present-80 і MIBS-80. Проте згідно з роботами [7, 8], можуть бути дешифровані з вірогідністю 100 % із складністю 278.98 і 279.34 відповідно. Такі шифри, як Khudra і SKINNY, піддаються криптоаналізу [9, 10], для повного Khudra складність злому — 268.46, а для SKINNY — 64-64 з 18 раундами складність злому — 257.1.

PRINCE [11] — блоковий шифр, оптимізований для роботи в режимі реального часу, з легким впровадженням в апаратне забезпечення, на нього робилися атаки [12], проте вони не привели до повного розкриття ключа за оптимальний час. Таким чином, існує ряд блокових шифрів, які можуть використовуватися для ряду завдань в області інтернету речей.

Також запропонована ABE-схема, заснована на еліптичних кривих, які повинні замінити ваговиті білінійні відображення [5]. Використання як основи алгоритму еліптичних кривих повинно спростити апаратну реалізацію алгоритму, зменшити розмір зашифрованого повідомлення і ключів. Іншим способом зменшити навантаження на кінцеві пристрої може бути побудова моделі, запропонованої в [6]. Ця модель припускає наявність додаткового напівдовіреного центру (semi-trusted-authority, STA), який повинен здійснювати взаємодію з центрами видачі атрибутів від імені користувача, не порушуючи при цьому конфіденційності ключа користувача.

Не варто забувати про те, що у ряді випадків IoT-пристрої фізично доступні зловмисникові, що робить можливим, приміром, атаки по енергоспоживанню (power attacks). Наприклад, описана така атака на криптографічний модуль "розумних ламп", працюючих в режимі аутентифікованого шифрування ССМ [13]. Показано, що для окремих завдань, таких як оновлення прошивки, потрібна асиметрична криптографія, а також потрібний контроль і стандартизація з боку держави [14].

Висновки

Компанія «Gartner» прогнозує, що постачальники продуктів і послуг Інтернету речей в 2020 році отримають додатковий дохід, що перевищує 300 мільярдів доларів США, в основному у сфері послуг. Ще один звіт IDC містить ще більше вражаючий прогноз, що припускає, що витрати на технології і послуги IoT дозволять витягати глобальні доходи у розмірі 4,8 трлн доларів США в 2012 році і 8,9 трлн доларів США до 2020 року, збільшившись при сукупному річному темпі росту (CAGR) в 7,9%.

Необхідність захисту конфіденційності циркулюючою в мережах інтернету віщої інформації очевидна, а з розвитком безпроводних мереж і ростом числа розумних пристроїв як ніколи актуальна. Між тим такі особливості IoT-систем, як велике число взаємодіючих пристроїв, їх обмеженість в ресурсах і необхідність безперервної роботи в реальному часі вимагають особливого підходу у виборі і створенні криптографічних протоколів. Атрибутно-засноване шифрування дозволяє здійснювати 63 контроль доступу і адресувати одне зашифроване повідомлення відразу декільком пристроям, що мають однакові набори атрибутів, що є корисним в IoT-системах. З іншого боку, АВЕ-схеми повинні допрацьовуватися, щоб задовольняти умові обмеженості ресурсів. Легковагі криптографічні примітиви задовольняють цій умові, проте не усі з них є досить стійкими.

Література

1. Kupriyanovskij V.P. Интернет вещей на промышленных предприятиях / В.П. Куприяновский, Д.Е. Намиот, В.И. Дрожжинов, Ю.В.Куприяновская, М.О. Иванов // International Journal of Open Information Technologies.— 2016. — Vol. 4, № 12. — С. 69–78.
2. Отказоустойчивость [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1080344> – 01.10.2019.
3. On the Feasibility of Attribute-Based Encryption on Internet of Things Devices / M. Ambrosin et al. // IEEE Micro Special Issue on Internet of Things. 2016.
4. Li F., Rahulamathavan Y., Rajarajan M., Phan R.C.-W. Low Complexity MultiAuthority Attribute Based Encryption Scheme for Mobile Cloud Computing. 2013 IEEE Seventh International Symposium on Service-Oriented System Engineering. 2012. P. 573–577.
5. Xuanxia Y., Chen Z., Tian Y. A lightweight attribute-based encryption scheme for the Internet of Things. Future Generation Computer Systems, Elsevier B.V. 2014.
6. Abed F., Forler C., List E., Lucks S., Wenzel J. Biclique cryptanalysis of present, led, and klein. Cryptology ePrint Archive: Report 2012/591–2012.
7. Sereshgi F., Dakhilalian M., Shakiba M. Biclique cryptanalysis of MIBS - 80 and PRESENT - 80 block ciphers. Security and Communication Networks. 2016. Т. 9. № 1. P. 27–33.
8. Yang Q., Hu L., Sun S., Song L. Related-key impossible differential analysis of full khudra. International Workshop on Security. Springer International Publishing, 2016. P. 135–146.
9. Tolba M., Abdelkhalek A., Youssef A.M. Impossible Differential Cryptanalysis of Reduced-Round SKINNY. Cryptology ePrint Archive: Report 2016/1115–2016.
10. PRINCE — a low-latency block cipher for pervasive computing applications. Borghoff J. et al. International Conference on the Theory and Application of Cryptology and Information Security. Springer, Berlin, Heidelberg, 2012. P. 208–225.
11. Rasoolzadeh S., Raddum H. Faster key recovery attack on round-reduced PRINCE. International Workshop on Lightweight Cryptography for Security and Privacy. Springer, Cham, 2016. P. 3–17.
12. Ronen E., Shamir A., Weingarten A.O., O'Flynn C. IoT goes nuclear: Creating a ZigBee chain reaction. Security and Privacy (SP), 2017 IEEE Symposium on. IEEE, 2017. P. 195–212.
13. Shamir A., Biryukov A., Perrin L.P. Summary of an Open Discussion on IoT and Lightweight Cryptography. Proceedings of Early Symmetric Crypto workshop, 2017. University of Luxembourg, 2017.

References

1. Kupriyanovskij V.P. Internet veshej na promyshlennyh predpriyatiyah / V.P. Kupriyanovskij, D.E. Namiot, V.I. Drozhzhinov, Yu.V.Kupriyanovskaya, M.O. Ivanov // International Journal of Open Information Technologies.— 2016. — Vol. 4, № 12. — S. 69–78.
2. Otkazoustojchivost [Elektronnyj resurs] – Rezhim dostupa : <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1080344> – 01.10.2019.
3. On the Feasibility of Attribute-Based Encryption on Internet of Things Devices / M. Ambrosin et al. // IEEE Micro Special Issue on Internet of Things — 2016.
4. Li F., Rahulamathavan Y., Rajarajan M., Phan R.C.-W. Low Complexity MultiAuthority Attribute Based Encryption Scheme for Mobile Cloud Computing // 2013 IEEE Seventh International Symposium on Service-Oriented System Engineering. 2012. P. 573–577.
5. Xuanxia Y., Chen Z., Tian Y. A lightweight attribute-based encryption scheme for the Internet of Things // Future Generation Computer Systems, Elsevier B.V.— 2014.
6. Abed F., Forler C., List E., Lucks S., Wenzel J. Biclique cryptanalysis of present, led, and klein // Cryptology ePrint Archive: Report 2012/591–2012.

7. Sereshgi F., Dakhilalian M., Shakiba M. Biclique cryptanalysis of MIBS - 80 and PRESENT - 80 block ciphers // Security and Communication Networks. 2016. T. 9. № 1. P. 27–33.
8. Yang Q., Hu L., Sun S., Song L. Related-key impossible differential analysis of full khudra // International Workshop on Security. Springer International Publishing, 2016. P. 135–146.
9. Tolba M., Abdelkhalek A., Youssef A.M. Impossible Differential Cryptanalysis of Reduced-Round SKINNY // Cryptology ePrint Archive: Report 2016/1115–2016.
10. PRINCE — a low-latency block cipher for pervasive computing applications / Borghoff J. et al. // International Conference on the Theory and Application of Cryptology and Information Security. Springer, Berlin, Heidelberg, 2012. P. 208–225.
11. Rasoolzadeh S., Raddum H. Faster key recovery attack on round-reduced PRINCE // International Workshop on Lightweight Cryptography for Security and Privacy. Springer, Cham, 2016. P. 3–17.
12. Ronen E., Shamir A., Weingarten A.O., O’Flynn C. IoT goes nuclear: Creating a ZigBee chain reaction // Security and Privacy (SP), 2017 IEEE Symposium on.— IEEE, 2017. P. 195–212.
13. Shamir A., Biryukov A., Perrin L.P. Summary of an Open Discussion on IoT and Lightweight Cryptography // Proceedings of Early Symmetric Crypto workshop, 2017. University of Luxembourg, 2017.

Рецензія/Peer review : 14.1.2020 р.

Надрукована/Printed : 22.2.2020 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

МЕТОДИ ПІДСИЛЕННЯ ХЕШ-ФУНКЦІЇ ПАРОЛЮ ПРИ АВТОРИЗАЦІЇ КОРИСТУВАЧІВ

Парольна аутентифікація є одним із способів захисту ідентифікаційних даних користувачів. В статті проведений аналіз основних методів аутентифікації. Доступ до більшості інформаційних систем та web-додатків передбачає використання персональних даних – логіну, паролю. Зазвичай, паролі в базі даних зберігаються в вигляді хеш-функції. В зв'язку з цим, актуальним є завдання розробки методів підсилення хеш-функції паролю при авторизації користувачів. В статті розглянуті методи підсилення хеш-функції паролю на основі n-разового хешування та salt-hashing. Особлива увага в статті зосереджена на розробці методів підсилення хеш-функції паролю із застосуванням операцій матричного криптографічного перетворення. Розроблені методи дозволять підвищити надійність паролю користувача за рахунок збільшення кількості операцій обчислення хеш-функції паролю. В результаті побудовано схему розроблених методів з покроковим алгоритмом їх реалізації.

Ключові слова: ідентифікація користувача, авторизація, аутентифікація, хеш-функція, пароль, матричне криптографічне перетворення.

I.O. ROZLOMIY

Cherkassy Bogdan Khmelnytsky National University

METHODS OF INCREASING THE PASSWORD HASH FUNCTION AT USER AUTHORIZATION

Effective use of web resources is only possible if there are reliable means of protecting the user authentication data. Password authentication is one way to protect user credentials. The simplicity of implementation and logical clarity of operating principles make password authentication systems the most popular. Although there are many threats to this authorization scheme (password picking, traffic analysis, re-authentication request), it is used in most information systems. The basic methods of authentication were analyzed in the article. The access to most information systems and web-applications involves the use of personal data - login, password. Typically, passwords are stored in the database as a hash function. In this regard, it is urgent to develop methods to enhance the password hash function when authorizing users. Methods of password hash enhancement based on n-time hashing and salt-hashing were discussed in the article. Particular attention focuses on the development of methods to enhance the password hash function using matrix cryptographic transformation operations in the article. Two approaches to enhance the password hash function based on the use of matrix cryptographic transformation operations are proposed. The first approach is based that on the entered password calculate the operation of matrix cryptographic transformation, then calculate hash. Another approach is to first calculate the password hash function, followed by the use of matrix cryptographic transformation operations. The developed methods will allow to increase the reliability of the user's password by increasing the number of operations of calculating the password hash function. As a result, the scheme of the developed methods with a step-by-step algorithm of their realization is constructed.

Keywords: user identification, authorization, authentication, hash function, password, matrix cryptographic transformation.

Вступ. Простота реалізації та функціонування систем парольної аутентифікації роблять їх досить популярними. Паролі тривалий час вбудовані в операційні системи та інші сервіси. При правильному використанні паролі можуть забезпечити достатній для більшості організацій рівень безпеки. Існує велика кількість загроз даній схемі авторизації – підбір пароля, аналіз трафіка, повторний запит аутентифікації та інші. Попри загрози, ця схема використовується в більшості інформаційних системах, а завдання захисту від перелічених загроз зазвичай вирішуються за допомогою криптографічного захисту.

Зараз використовуються два основні методи аутентифікації користувачів. Один з них – з однонаправленою передачею інформації від клієнта до сервера, інший – технологія «запит – відповідь». Однонаправлена схема передбачає передачу від клієнта до сервера власного ідентифікатора і пароля, які сервер порівнює з тими, які містяться в його базі даних. За результатом порівняння приймається рішення про те, що користувач є тим, за кого себе видає [1]. Для того, щоб протистояти пасивному перехопленню пароля, при передачі мережею, застосовується хешування пароля.

Розробка алгоритмів, інструментів та методів авторизації користувачів в інформаційних системах та інтернет-додатках з використанням хеш-функцій необхідна як для активного, так і для пасивного захисту ідентифікаційних даних користувачів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Велика кількість публікацій присвячена питанням аутентифікації. Особливої уваги заслуговує серія статей Сабанова А.Г., в яких закладені не лише теоретичні основи аутентифікації, а і описані особливості аутентифікації при доступі до хмарних сервісів, аутентифікація при електронному обміні документами, проведені дослідження надійності віддаленої аутентифікації та інше [2, 3]. Варто також відмітити роботу Власенка А.В., в котрій розглянуто алгоритми, інструменти та методи авторизації користувачів в web-додатках з використанням хеш-функцій [4].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Зважаючи на існуючі наукові здобутки та напрацювання в області аутентифікації користувачів, залишаються питання для подальшого вирішення. Численні дослідження показують ефективність використання операцій матричного криптографічного перетворення в системах електронного цифрового підпису, цифрового водяного знаку, хешуванні та інших механізмах захисту інформації. Проте, дотепер мало уваги приділялося розробці

методів підсилення хеш-функції паролю, на основі операцій матричних криптографічних перетворень зокрема.

Формулювання мети дослідження. Метою дослідження є розробка методів підсилення хеш-функції паролю шляхом здійснення n -разового хешування, використання salt-значення та на основі операцій матричного криптографічного перетворення паролю.

Виклад основного матеріалу дослідження й обґрунтування отриманих результатів. Основна більшість атак в сучасних інформаційних системах та веб-додатках пов'язана з авторизацією користувача. Після введення користувачем даних, система перевіряє його логін та пароль. Дані авторизації не зберігаються в чистому вигляді, пароль, як правило зберігається в захешованому вигляді.

Аутентифікація – це основа безпеки будь-якої системи, що полягає в перевірці достовірності даних про користувача сервером [5]. Вона не є тотожною ідентифікації і авторизації. Ці три терміни є елементами захисту інформації. Перша стадія – ідентифікація. Під час ідентифікації відбувається розпізнання інформації про користувача шляхом присвоєння йому унікальних міток: ідентифікаторів, паролів. Ідентифікація дозволяє суб'єкту – користувачу, процесу чи іншому апаратно-програмному компоненту назвати себе. Друга стадія аутентифікації – процес перевірки достовірності інформації про користувача. І остання стадія авторизації – перевірка прав користувача і визначення можливості доступу [6]. Найпоширенішим видом аутентифікації є паролна аутентифікація. Майже кожна інформаційна система вимагає, щоб на початку сеансу роботи користувач ідентифікував себе. Зазвичай, користувач вводить логін та пароль. Під час аутентифікації відбувається порівняння пароля, який ввів користувач з тим, який зберігається в базі даних. Аутентифікація може проходити за одноразовими та багаторазовими пароллями [7]. Багаторазовий пароль задає користувач, а система зберігає його в базі даних. Він є однаковим для кожної сесії. До такого пароля відносяться PIN-коди, слова, цифри, графічні ключі. Одноразові паролі – різні для кожної сесії, наприклад можуть надходити SMS-повідомлення з кодом. Для перевірки даних авторизації необхідно порівняти значення обчисленого хешу введеного паролю з тим, що зберігається в базі даних інтернет-додатку, як показано на рис. 1.

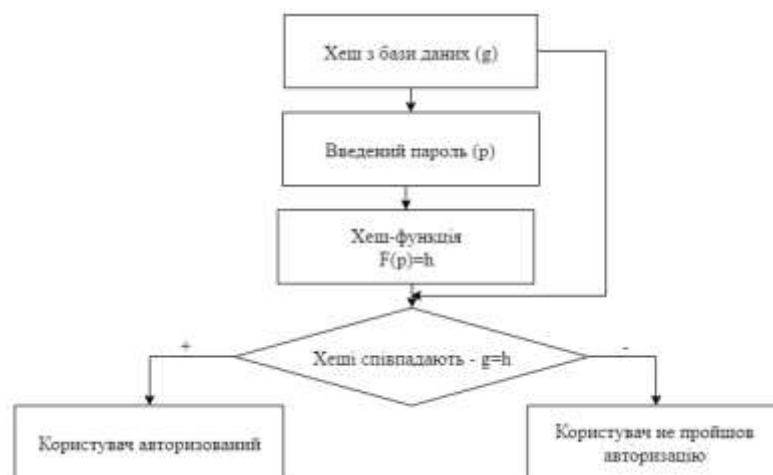


Рис. 1. Простий алгоритм авторизації користувача

Оскільки, паролі в базі даних зберігаються в вигляді хеш-функції, тому зупинимось на базових властивостях хеш-функцій. Хеш-функція може бути як криптографічною, так і не криптографічною. Відмінність криптографічної хеш-функції від інших хеш-функцій полягає в наступному:

- стійкість до колізій першого роду – для будь-якого повідомлення P неможливо в реальному часі підібрати будь-яке інше повідомлення Q , для якого хеш-функція $F(P)=F(Q)$;
- стійкість до колізій другого роду – неможливо в реальному часі підібрати пару повідомлень (P, P') , які мають однаковий хеш;
- необоротність – для установленного значення хеш-функції A неможливо в реальному часі знайти блок даних X , хеш-функція якого $F(X)=A$.

Процес хешування паролю може виконуватись з використанням будь-якого алгоритму. Наприклад, можна використати алгоритм хешування, представлений в статті [8]. При виборі алгоритму хешування важливо звертати увагу на хеш-функції, які стійкі до колізій. Наприклад, алгоритм MD5 не актуальний з 2013 року, а алгоритм bcrypt/scrypt залишається актуальним [9]. Пароль можна підібрати за його хешем, володіючи алгоритмом хешування. Існує багато баз даних, де паролі співставлені з їх хешами. Тому, зловмисникам можна ускладнити завдання підбору пароля за його хешем, використовуючи подвійний хеш або використати salt-hashing. Salt-hashing або «сіль» – спосіб хешування, в якому до пароля додається набір символів одноманітного формату з хешованим паролем, що задається випадковим алгоритмом, який можна змінювати раз в заданий період для підвищення криптографічної стійкості [10].

В криптографії «сіль» – це набір випадкових даних, який використовується в якості додаткового вихідного сигналу в односторонній функції. Вона використовується для захисту паролів в базі даних. Раніше

пароль зберігався в незашифрованому вигляді в системі, але з часом були розроблені додаткові заходи безпеки для захисту пароля. «Сіль» є одним з таких методів. «Сіль» генерується випадковим чином для кожного пароля. Як вже було зазначено, з метою підвищення криптографічної стійкості потрібно з певною періодичністю змінювати алгоритм генерації salt-значення. Зазвичай, пароль і «сіль» об'єднуються і оброблюються криптографічною хеш-функцією, а отриманий результат зберігається в базі даних. Хешування допускає подальшу аутентифікацію без збереження, а отже і без ризику незашифрованого пароля в разі проникнення до сховища даних аутентифікації. На рис. 2 показаний алгоритм з врахуванням запропонованих додаткових інструментів підсилення хешу.

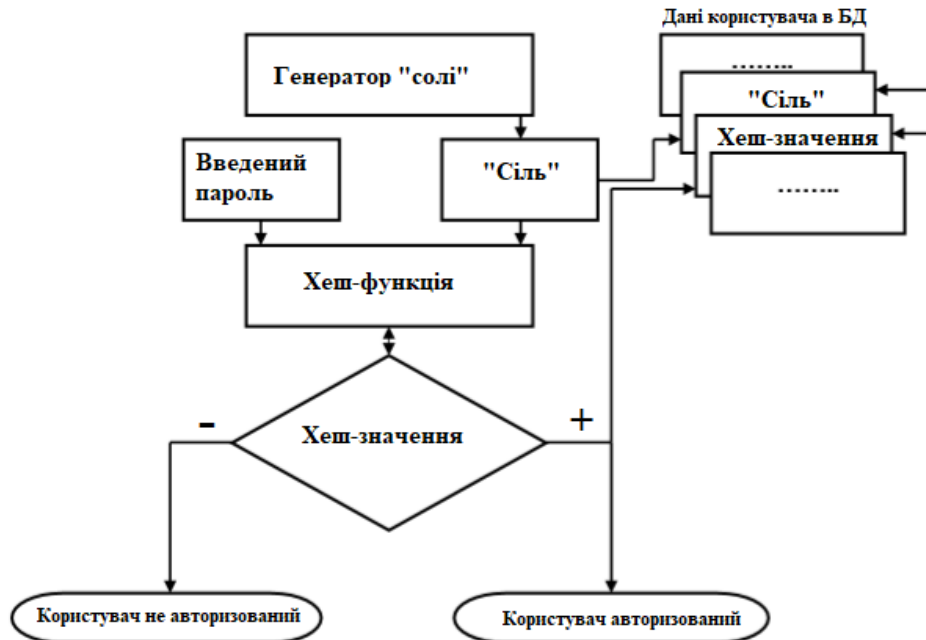


Рис. 2. Ускладнений алгоритм підсилення хеш-функції паролю

Значення «солі» генерується випадковим чином і може мати будь-яку довжину. Salt-значення додається до незашифрованого пароля, а потім результат хешується. Значення «солі» і результат хешування зберігаються.

Також, крім salt-hashing і багаторазового хешування паролю можна використовувати і інші додаткові інструменти: залежний хеш – залежить від унікальної змінної, наприклад, логіну; змішувати значення хешу; інтелектуальний хеш – хеш змінює алгоритм залежно від довжини і значень.

Ще одним зі способів підсилення хеш-функції паролю є використання операцій матричного криптографічного перетворення, рис. 3. Як видно з рис. 3, над паролем користувача спочатку виконується матричне криптографічне перетворення, а вже потім обчислюється значення хеш-функції. Матричні алгоритми придатні для обернених перетворень, якщо при цьому виконується умова невиводженості матриці, тобто:

- 1) відсутні нульові рядки і стовпці в матриці;
- 2) додавання рядків і стовпців матриці не дорівнюватиме нулю.

В загальному вигляді операції криптографічного перетворення, побудовані на основі додавання за модулем два, описуються такою моделлю (1) [11]:

$$\bar{F} = \begin{pmatrix} a_{11}x_1 \oplus a_{12}x_2 \oplus \dots \oplus a_{1n}x_n \oplus b_1 \\ a_{21}x_1 \oplus a_{22}x_2 \oplus \dots \oplus a_{2n}x_n \oplus b_2 \\ \dots \\ a_{n1}x_1 \oplus a_{n2}x_2 \oplus \dots \oplus a_{nn}x_n \oplus b_n \end{pmatrix}, \tag{1}$$

де $a_{ij} \in [0,1]$; $b_i \in [0,1]$; $x_1 \dots x_n$ – операнди-розряди відповідно; \oplus – операція «сума за mod 2».

Для виконання операції матричного криптографічного перетворення необхідно задати двійкову матрицю, наприклад, скориставшись генератором матриць і задавши умову $\det(A) \neq 0$.



Рис. 3. Ускладнений алгоритм авторизації користувача за рахунок здійснення матричного криптографічного перетворення паролю

На рис. 4 показаний ще один спосіб підсилення хеш-функції пароля. Як видно з рис. 4, хеш пароля підсилений тим, що після обчислення хеш-функції над результатом виконується матричне криптографічне перетворення хешу.



Рис. 4. Ускладнений алгоритм авторизації користувача за рахунок здійснення матричного криптографічного перетворення хешу

Висновки. Політика безпеки сучасних веб-додатків передбачає забезпечення надійної авторизації користувачів інформаційної системи. В зв'язку з цим дослідження методів аутентифікації користувачів не втрачають своєї актуальності. Найпоширенішим способом аутентифікації є парольна аутентифікація, тому доречною є розробка методів підсилення хеш-функції паролю. Таким чином, розроблено методи підсилення хеш-функції паролю шляхом здійснення n-разового хешування та з додаванням ентропії, використовуючи

інструмент salt-значення. Також в статті запропоновані алгоритми авторизації користувача, які включають операцію матричного криптографічного перетворення пароля та його хеш-значення, що ускладнює процес обчислення хеш-функції паролю і відповідно підвищує його надійність.

Література

1. Паутов П.А. Проблема аутентификации в многоуровневых приложениях. Прикладная дискретная математика. 2008. № 2. С. 87–90.
2. Сабанов А.Г. Методы исследования надежности удаленной аутентификации. Электросвязь. 2013. № 4. С. 263–267.
3. Сабанов А.Г. Аутентификация при электронном обмене документами. Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники 2011. № 2. С. 263–266.
4. Власенко А.В., Дзьобан П.И., Тимченко М.В. Разработка алгоритмов, инструментов и методов авторизации пользователей в web-приложениях с использованием хеш-функций. Вестник АГУ. 2015. № 4(171). С. 144–150.
5. Рацеев С.М. Об оптимальных кодах аутентификации. Системы и средства информатики. 2013. № 1(23). С. 53–57.
6. Алешников С.И., Демин С.А., Федоров С.Б. Проблемы информационной безопасности организации (предприятия) и пути их решения. Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2013. № 1. С. 147–154.
7. Євсєєв С.П., Томашевський Б. П. Дослідження загроз методів двофакторної аутентифікації. Прогресивні інформаційні технології. Радіоелектроніка, інформатика, управління. 2015. № 1. С. 52–59.
8. Розломий І.О. Методи обчислення хеш-функції електронного документу на основі матричних криптографічних перетворень. Вісник ЧДТУ. Технічні науки. 2016. № 4. С. 88–94.
9. Xiaoyun Wang, Dengguo Feng, Xuejia Lai, Hongbo Yu Collisions for Hash Functions MD4, MD5, HAVAL-128 and RIPEMD. Universitet Shan'don. Kitajskaja Akademija Nauk. Universitet Shanhaj Dzjaoton. 2004.
10. Веденьев Л.Т., Афанасьев А.А., Афанасьев А.Н. Аутентификация. Теория и практика обеспечения безопасного доступа к информационным ресурсам : учебное пособие для вузов. Гриф УМО МО РФ. 2-е изд. 2012. 552 с.
11. Рудницький В.М., Бабенко В.Г., Рудницький С.В. Метод синтезу матричних моделей операцій криптографічного кодування та декодування інформації. Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. 2012. № 4(33). С. 198–200.

References

1. Pautov, P.A. (2008) The problem of authentication in multilevel applications. Applied Discrete Mathematics, 2, pp. 87–90.
2. Sabanov, A.G. (2013) Remote authentication reliability research methods. Telecommunication, 4, pp. 263–267.
3. Sabanov, A.G. (2011) Authentication in electronic document exchange. Reports of the Tomsk State University of Control Systems and Radio Electronics, 2, pp. 263–266.
4. Vlasenko, A.V., Dziuban, P.I. and Timchenko, M.V. (2015) Development of algorithms, tools and methods for user authorization in web applications using hash functions. ASU Newsletter, №4 (171), pp. 144–150.
5. Ratseev, S. M. (2013) On optimal authentication codes, Systems and Means of Informatics, 1 (23), pp. 53–57.
6. Aleshnikov, S.I., Demin, S.A. and Fedorov, S.B. (2013) Problems of information security of the organization (enterprise) and ways of their solution. Bulletin of the Kant Baltic Federal University, 1, pp. 147–154.
7. Evseev, S. P. and Tomashevskyy, B. P. (2015) Two-factor authentication methods threats analysis. Progressiv informatics technologies. Radio Electronics, Computer Science, Control, 1, pp. 52–59.
8. Rozlomii, I.O. (2016) Methods for calculating the hash function of an electronic document based on matrix cryptographic transformations. Bulletin of CSTU. Engineering sciences, №4, pp. 88–94.
9. Xiaoyun Wang, Dengguo Feng, Xuejia Lai and Hongbo Yu (2004) Collisions for Hash Functions MD4, MD5, HAVAL-128 and RIPEMD. Universitet Shan'don. Kitajskaja Akademija Nauk. Universitet Shanhaj Dzjaoton.
10. Vedenyev, L.T., Afanasyev, A.A. and Afanasyev, A.N. (2012) Authentication. Theory and practice of provision of secure access to information resources: a manual for higher schools. The 2nd ed. 552 pp.
11. Rudnitsky, V.M., Babenko, V.G. and Rudnitsky, S.V. (2012) Method of synthesis of matrix models of operations of cryptographic coding and decoding of information. Proceedings of Kharkiv University of the Air Force, №4 (33), pp. 198–200.

Рецензія/Peer review : 2.1.2020 р. Надрукована/Printed : 14.2.2020 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Рудницький В.М.

А.С. СВЕРСТЮК

Тернопільський національний медичний університет імені І. Я. Горбачевського

В.М. АРХИПОВА, К.В. СТЕПУРСЬКА

Інститут молекулярної біології та генетики НАН України

В.П. МАРЦЕНЮК

Університет в Бельсько-Бялій, Польща

І.В. БОЙКО

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

С.В. ДЗЯДЕВИЧ

Інститут молекулярної біології та генетики НАН України

РОЗРОБКА ТА ВЕРИФІКАЦІЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПОТЕНЦІОМЕТРИЧНОГО БІОСЕНСОРУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ α -ЧАКОНІНУ

Стаття присвячена проблемі розробки нових математичних і обчислювальних засобів для отримання та аналізу результатів чисельного моделювання під час проектування біосенсорів. У роботі розроблено математичну модель потенціометричного біосенсору на основі зворотного інгібування бутирихолінестерази для визначення α -чаконіну. Математична модель досліджуваного біосенсору представлена системою семи лінійних диференціальних рівнянь, які описують динаміку біохімічних реакцій під час повного циклу вимірювання концентрації α -чаконіну. При цьому кожне із диференціальних рівнянь описує концентрації ферменту, субстрату, інгібітору, продукту, фермент-субстратного, фермент-інгібіторного, фермент-субстрат-інгібіторного комплексів залежно від часу. Математична модель біосенсору для визначення α -чаконіну розв'язана чисельно за допомогою програмного забезпечення Wolfram Mathematica. Вхідними параметрами системи є початкові концентрації ферменту, субстрату та інгібітору ($5,8 \times 10^{-4}$ М бутирихолінестерази, 1×10^{-3} М бутирихолін хлориду та 1×10^{-6} ; 2×10^{-6} ; 5×10^{-6} ; 10×10^{-6} М α -чаконіну відповідно), які є експериментально розрахованими. Для верифікації моделі та порівняння з експериментальним відгуком використано існуючий потенціометричний біосенсор на основі іммобілізованої бутирихолінестерази. Прямі та зворотні константи швидкостей ферментативних реакцій підібрані таким чином, щоб результат чисельного моделювання максимально відповідав експериментальному відгуку досліджуваного біосенсору. За результатами порівняльного аналізу встановлено залежність відхилення змодельованого та експериментального відгуків біосенсору для визначення α -чаконіну. Встановлено, що абсолютна похибка не перевищує 0,045 ум. од. На основі отриманих результатів чисельного моделювання зроблено висновок, що розроблена кінетична модель потенціометричного біосенсору дає змогу адекватно визначати усі основні складові компартментних компонентів біохімічних реакцій при вимірюванні концентрації α -чаконіну.

Ключові слова: математична модель, біосенсор, α -чаконін, чисельне моделювання

A.S. Sverstiuk

I. Horbachevsky Ternopil National Medical University

V.M. ARKHYPOVA, K.V. STEPURSKA

Institute of Molecular Biology and Genetics, NAS of Ukraine

V.P. Martseniuk

University of Bielsko-Biala, Poland

I.V. Boyko

Ternopil Ivan Puluj National Technical University

S.V. Dzyadevych

Institute of Molecular Biology and Genetics, NAS of Ukraine

DEVELOPMENT AND VERIFICATION OF THE MATHEMATICAL MODEL OF THE POTENTIOMETRIC BIOSENSOR FOR DETERMINATION OF α -CHACONINE

The article is devoted to the problem of developing new mathematical and computational tools for obtaining and analyzing the results of numerical simulation in the design of biosensors. A mathematical model of a potentiometric biosensor based on the reverse inhibition of butyrylcholinesterase to determine α -chaconine is developed. The mathematical model of the biosensor under study is represented by a system of seven linear differential equations that describe the dynamics of biochemical reactions during a complete cycle of measurement of α -chaconine concentration. In this case, each of the differential equations describes the concentration of enzyme, substrate, inhibitor, product, enzyme-substrate, enzyme-inhibitory, enzyme-substrate-inhibitory complexes depending on time. A mathematical model of the biosensor for the determination of α -chaconine is numerically solved using Wolfram Mathematic software. The initial parameters of the system are the initial concentrations of the enzyme, substrate and inhibitor (5.8×10^{-4} M butyrylcholinesterase, 1×10^{-3} M butyrylcholine chloride and 1×10^{-6} ; 2×10^{-6} ; 5×10^{-6} ; 10×10^{-6} M α -chaconine, respectively), which are experimentally calculated. An existing potentiometric biosensor based on immobilized butyrylcholinesterase was used to verify the model and compare it with the experimental response. The forward and reverse rate constants of the enzymatic reactions are chosen so that the result of the numerical simulation is as consistent as possible with the experimental response of the biosensor under study. According to the results of the comparative analysis, the dependence of the deviation of the simulated and experimental responses of the biosensor to determine α -chaconine is established. It is found that the absolute error does not exceed 0.045 rel. units. Based on the results of numerical simulation, it is concluded that the developed kinetic model of the potentiometric biosensor allows to adequately determine all the main components of the compartment components of biochemical reactions when measuring the concentration of α -chaconine.

Key words: mathematical model, biosensor, α -chaconine, numerical modelling.

Вступ. Невпинний науковий прогрес в найбільш важливих напрямках розвитку та збереження земної цивілізації сприяє вирішенню багатьох завдань, що постають перед суспільством в третьому тисячолітті. Людство повсякчас відкриває для себе нові можливості, але також зустрічається і з новими викликами, серед яких вирізняються проблеми в боротьбі з новими видами захворювань, в збереженні довкілля та в протистоянні терористичним загрозам. В цьому розумінні значний науковий та практичний інтерес становлять дослідження в біосенсоріці. Серед сучасних наукових методик особливе місце займають біосенсори, що пропонують величезний потенціал для виявлення широкого спектру аналітів у медичній галузі, харчовій промисловості, моніторинзі навколишнього середовища, безпеці та обороні.

Біосенсор – це компактний аналітичний пристрій, що містить біологічно чутливий елемент, інтегрований у фізико-хімічний перетворювач, завданням якого є отримання оптичних або електронних сигналів, що відповідають концентрації аналізованої проби. Вплив на суспільство внаслідок наявності таких систем є величезним, тому вивчення будь-якої стратегії, яка могла б скоротити час розробки й витрат, та розкрити альтернативні конструкції, є надзвичайно важливим. Зокрема, математичне моделювання є потужним інструментом для наукового аналізу і прогнозування.

Основні компоненти біосенсорів базуються на добре зрозумілих фізичних процесах (таких як дифузія, конвективний потік, енергія та масообмін), а також на основі хімічних та біологічних реакцій, які піддаються математичному моделюванню з використанням звичайних диференціальних рівнянь та диференціальних рівнянь в частинних похідних.

Метою даної роботи є розробка, дослідження стійкості та проведення верифікації математичної моделі потенціометричного біосенсора на основі зворотного інгібування бутирихолінестерази для визначення α -чаконіну.

Аналіз останніх досліджень. Останнім часом велика увага дослідників привернута питанням розробки та використання біосенсорів [1–10]. У [5–10] сформульовано основні задачі, які пов'язані з дослідженням стійкості в біосенсорах. Починаючи з сімдесятих років та до сьогодні, різні математичні моделі були розроблені та успішно застосовані для оптимізації роботи біосенсорів [11–13]. Протягом останніх десяти років використовуються математичні моделі для амперометричного електрода з іммобілізованим ферментом на основі нелінійних диференціальних рівнянь, які описують кінетику Міхаеліса-Ментена та дифузії [14, 15], а також математичну модель амперометричного та потенціометричного біосенсорів [16]. В цих моделях використовують метод гомотопічних збурень для вирішення системи рівнянь в умовах стаціонарності. У роботах [17, 18] описано математичні моделі амперометричних біосенсорів, в яких змінюючи вхідні параметри (такі як концентрація реагентів, кінетичні константи та товщина мембрани), покращена чутливість розроблених біосенсорів. В цих моделях для вирішення системи рівнянь використовували метод кінцевих різниць при стаціонарних та нестаціонарних умовах. Переважна більшість розроблених математичних моделей описують ферментні біосенсори для прямого визначення субстрату. На ряду з цим, останні роки спостерігається тенденція збільшення розробок біосенсорів на основі інгібіторного аналізу [19, 20]. Більшою мірою такі біосенсори використовуються в екологічному моніторингу для детектування токсичних речовин, таких як пестициди, іони важких металів, афлатоксини тощо [21, 22]. На сьогодні розроблено зовсім незначну кількість математичних моделей роботи біосенсорів такого типу. З них можна виділити математичну модель роботи глюкозооксидазного біосенсора для визначення іонів ртуті [23]. В цій моделі система рівнянь, що описує дифузію та ферментативні нелінійні реакції зв'язані з кінетикою Міхаеліса-Ментена, модифікована з урахуванням незворотного інгібування.

Дана робота присвячена розробці математичної моделі розробленого раніше бутирилхолінестеразного біосенсора на основі іон-селективних польових транзисторах (ІСПТ) для інгібіторного визначення α -чаконіну – глікоалкалоїду картоплі [24]. Питання є вкрай актуальним, з огляду на те що α -чаконін разом з іншим глікоалкалоїдом α -соланіном є дуже цікавими об'єктами з біологічної точки зору завдяки їхньої токсичності та знаходженні у картоплі, як продукті харчування, через що картопля набуває гіркої присмаку. Вимірювання вмісту α -чаконіну та α -соланіну в картоплі проводять при виведенні нових сортів картоплі. Протягом останніх років проводяться наукові дослідження, за результатами яких можна зробити висновок, що від рівня глікоалкалоїдів залежать механізми опірності картоплі до хвороб та дії комах. Серед інших чинників, які впливають на рівень глікоалкалоїдів та можуть спричинити суттєве підвищення первинної його концентрації, слід зазначити кліматичні зміни, дію світла, механічні пошкодження під час збирання та зберігання картоплі [25]. Розроблені на сьогодні методи для визначення загального вмісту глікоалкалоїдів базуються на використанні колориметрії, високоефективної рідинної хроматографії, тонкошарової та газової хроматографії, радіоімунологічного аналізу. Перерахованим методам притаманні висока вартість, довготривалість та складність методик підготовки проб. З метою оптимізації та модифікації існуючих методів аналізу шкідливих речовин в картоплі, є доцільним створення простих, дешевих, високочутливих методів визначення глікоалкалоїдів на основі біосенсорів. При цьому, з метою економії часових та сировинних ресурсів (ферментів, субстратів та інгібіторів) доцільним та економічно вигідним є створення і дослідження адекватних математичних моделей біосенсорів для визначення глікоалкалоїдів (α -чаконіну, наприклад) з можливістю верифікації змодельованого відгуку, а також оцінювання величини похибки, відносно експериментальних даних.

Застосування математичного моделювання для оптимізації аналітичних характеристик біосенсору для визначення α -чаконіну в подальшому дасть змогу звести до мінімуму проведення лабораторних

експериментів із токсичними та дороговартісними речовинами для підбору оптимальних концентрацій компонентів.

Матеріали і методи. Потенціометричний біосенсор на основі бутирилхолінестерази.

Для виготовлення біоселективної мембрани використовували фермент бутирилхолінестераза (БуХЕ) сироватки крові коня з активністю 13 од. акт/мг фірми Sigma-Aldrich Chemie (Німеччина), сироватковий альбумін бика (БСА, фракція V) (Sigma-Aldrich Chemie, Німеччина), 50% водний розчин глутарового альдегіду (ГА) («ч.д.а.»Sigma-Aldrich Chemie, Німеччина), гліцерол (чистота 99%, Sigma-Aldrich Chemie, Німеччина).

Як субстрат використовували бутирилхолін хлорид (БуХ, чистота 99%) фірми Sigma-Aldrich Chemie (Німеччина). В якості інгібітора використовувався кристалічний глікоалкалоїд α -чаконін (95 % чистоти), виробництва фірми "Sigma-Aldrich Chemie GmbH" (Steinheim, Germany).

Фосфатний буфер був виготовлений з дідіортофосфату калію (K_2HPO_4) (чистота 98.5%, Helicon) та гідроксиду натрію (NaOH) (чистота 99%, Helicon).

Потенціометричні перетворювачі були вироблені в Інституті фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України. Датчик складається з двох ідентичних пар транзисторів р-канального типу ($\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ -ISFETs), розташованих на монокристалічній кремнієвій підкладці загальною площею 8×8 мм. Один транзистор є робочим електродом, а другий використовується як електрод порівняння. Сенсорні елементи, що використовувались в роботі, демонстрували рН-чутливість приблизно 40 мВ/рН, забезпечуючи тим самим рН-чутливість струму в каналі транзистора приблизно 15–20 мкА/рН. Гранична напруга рН-ІПТ складала близько 2,5 В. Виміри проводилися з початкової величини струму в каналі близько 500 мкА, напруга витік-стік складала приблизно 2 В.

Виміри проводилися за допомогою портативного пристрою, розробленого та виготовленого в Інституті фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН. Пристрій працює шляхом вимірювання поверхневого потенціалу на затворі транзистора з використанням вимірювальної схеми з негативним зворотнім зв'язком, що підтримує постійну величину струму в каналі польового транзистора 0,3 мА при постійній напрузі витік-стік близько 2 В. Вихідний сигнал відповідає потенціалу затвора. Інформація від датчиків імпортується в комп'ютер та обробляється за допомогою програмного забезпечення MSW_32 (Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України).

Потенціометричні вимірювання проводилися після розміщення перетворювачів у вимірювальній комірці, заповненої 5мМ фосфатним буфером, рН 7,0. Розчин постійно перемішувався. Всі експерименти проводилися в двох або трьох серіях повторів. Неспецифічні зміни в вихідному сигналі, пов'язані з коливаннями температури, рН середовища та іншими факторами були усунені за рахунок використання диференціального режиму вимірювання.

Після стабілізації диференціального вихідного сигналу в вимірювальну комірку додавали певну аліквоту концентрованого розчину субстрату, а після стабілізації відгуку на субстрат, вводили необхідні обсяги концентрованих розчинів α -чаконіну та вимірювали рівень інгібування.

В якості потенціометричних перетворювачів використовували пару ідентичних іон-селективних польових транзисторів р-типу з чутливістю 35–40 мкА / рН, розміщених на одному кристалі.

2.2. Математичне моделювання біосенсора для визначення α -чаконіну.

Система диференціальних рівнянь, яка описує математичну модель функціонування розробленого біосенсора для визначення α -чаконіну, розв'язувалась чисельно за допомогою програмного забезпечення Wolfram Mathematica 10. Також у цій програмі були побудовані модельні відгуки біосенсора, які порівняно із експериментальними даними.

При інгібіторному визначенні α -чаконіну за допомогою БуХЕ-біосенсора на основі іон-селективних польових транзисторів функціонування біосенсора умовно можна поділити на наступні етапи (рис. 1): отримання базової лінії (0), відгук на робочу концентрацію БуХ як субстрату (I), та відгук на α -чаконін, як інгібітор (II).

Функціонування БуХЕ-біосенсора ґрунтується на ферментативній реакції, яка відбувається у біоселективній мембрані.

Під час біохімічної реакції генеруються протони, що призводить до зміни рН всередині мембрани, тому доцільним є використання потенціометричного біосенсора на основі рН-чутливих польових транзисторів.

На нульовому етапі, коли біоселективна мембрана знаходиться в контакті тільки з робочим буфером, в мембрані не відбувається ніяких реакцій, а сигнал біосенсора відображає «базову лінію» (рис. 1, етап 0). На першому етапі відбувається ферментативна реакція за участю субстрату, який додають у робочу комірку. В результаті цієї реакції утворюється продукт (протон), в результаті чого змінюється локальна концентрація іонів в приелектродній області, що реєструється потенціометричним перетворювачем. Ця зміна візуалізується у вигляді відгуку на субстрат (рис.1, етап I). На другому етапі роботи біосенсора, при додаванні у вимірювальну комірку α -чаконіну, який є зворотнім інгібітором БуХЕ, відбувається реакція

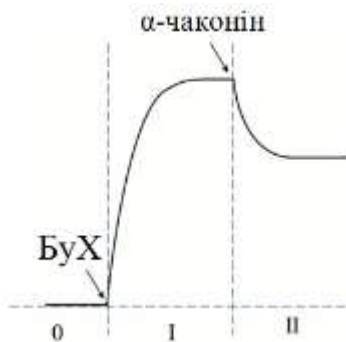


Рис. 1. Схематичне зображення роботи БуХЕ-біосенсору на основі ІСПТ при інгібіторному визначенні α -чаконіну

інгібування ферменту. За літературними даними [25] механізм інгібування БуХЕ α -чаконіном відносять до змішаного типу інгібування, який можна схематично зобразити на рис. 2:

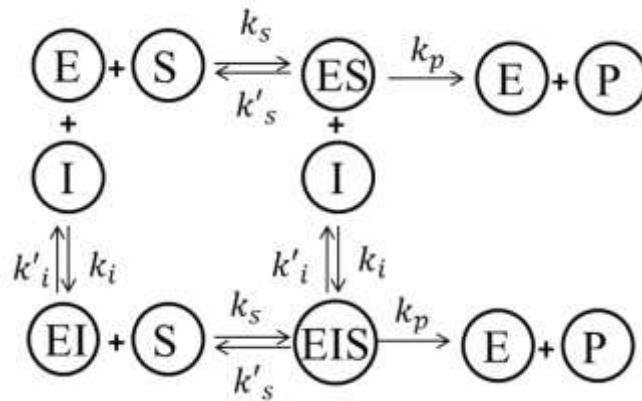


Рис. 2. Схематичне зображення ферментативної реакції у потенціометричному біосенсорі на основі БуХЕ-ІСПТ при інгібіторному визначенні α -чаконіну (E – фермент, S – субстрат, I – інгібітор)

На рис. 2 k_s та k'_s – константи швидкостей прямої та зворотної реакції утворення комплексу (ES), k_p – константа швидкості утворення продукту (P), а k_i та k'_i – константи швидкостей прямої та зворотної реакції утворення комплексу (EI).

Математичну модель ферментативної реакції у потенціометричному біосенсорі на основі БуХЕ-ІСПТ при інгібіторному визначенні α -чаконіну можна описати наступною системою диференціальних рівнянь:

$$\frac{dn_e(t)}{dt} = -k_s n_e(t) n_s(t) - k_i n_e(t) n_i(t) + k'_s n_{es}(t) + k'_i n_{ei}(t) + k_p n_{es}(t) \quad (1)$$

$$\frac{dn_s(t)}{dt} = -k_s n_e(t) n_s(t) - \alpha k_s n_{ei}(t) n_s(t) + k'_s n_{es}(t) + \alpha k'_s n_{esi}(t) \quad (2)$$

$$\frac{dn_{es}(t)}{dt} = k_s n_e(t) n_s(t) - k'_s n_{es}(t) - \alpha k_i n_{es}(t) n_i(t) + \alpha k'_i n_{esi}(t) - k_p n_{es}(t) \quad (3)$$

$$\frac{dn_i(t)}{dt} = -k_i n_e(t) n_i(t) - \alpha k_i n_{es}(t) n_i(t) + k'_i n_{ei}(t) + \alpha k'_i n_{esi}(t) \quad (4)$$

$$\frac{dn_{ei}(t)}{dt} = k_i n_e(t) n_i(t) - k'_i n_{ei}(t) - \alpha k_s n_{ei}(t) n_s(t) + \alpha k'_s n_{esi}(t) \quad (5)$$

$$\frac{dn_{esi}(t)}{dt} = \alpha k_i n_{es}(t) n_i(t) - \alpha k'_i n_{esi}(t) + \alpha k_s n_{ei}(t) n_s(t) - \alpha k'_s n_{esi}(t) \quad (6)$$

$$\frac{dn_p(t)}{dt} = k_p n_{es}(t) - k_w n_p(t) \quad (7)$$

де k_s , k'_s , k_i , k'_i , k_p – відповідні константи швидкості реакцій утворення комплексів; k_w – константа вимивання; α – константа, чисельне значення якої визначає інгібування або активування ензиму; $n_e(t)$, $n_s(t)$, $n_i(t)$, $n_p(t)$, $n_{es}(t)$, $n_{ei}(t)$, $n_{esi}(t)$ – концентрації ензиму, субстрату, інгібітору, продукту, а також ензим-субстратного, ензим-інгібіторного та ензим-субстрат-інгібіторного комплексів відповідно, які змінюються з часом. Зміна в часі концентрації продукту

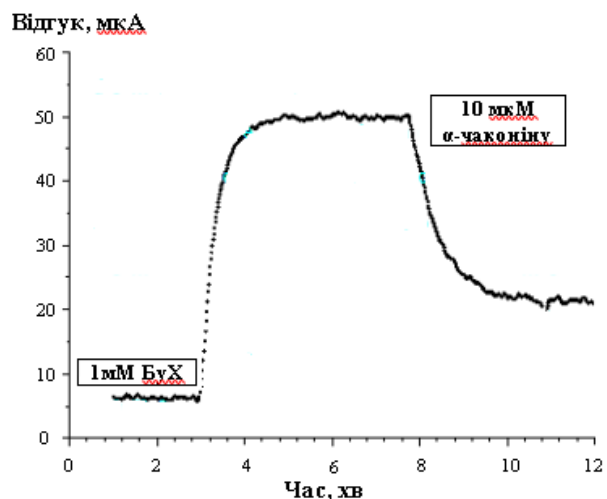


Рис. 3. Експериментальний відгук потенціометричного біосенсора на додавання в експериментальну комірку бутирилхолін хлориду та подальше додавання α -чаконіну

$n_p(t)$ прямо пропорційна відгуку біосенсора.

Враховується також, що в системі зберігається постійна загальна концентрація ферменту E_0 , таким чином в будь-який момент часу сума концентрацій вільного (E) та зв'язаного (ES), (EI), (ESI) ферменту дорівнює $(E) + (ES) + (EI) + (ESI) = E_0$.

Результати та обговорення. Спочатку за результатами експерименту було отримано відгук бутирилхолінестеразного біосенсора на додавання в комірку субстрату бутирилхолін хлориду та подальше додавання α -чаконіну, який наведений на рис. 3. Даний експериментальний відгук отриманий при концентраціях ензиму $5,8 \times 10^{-4}$ моль/л, субстрату 1×10^{-3} моль/л, інгібітору 10×10^{-6} моль/л.

Для моделювання роботи біосенсора, система (1–7) була розв'язана за допомогою програмного забезпечення Wolfram Mathematica та вбудованого NDSolve алгоритму.

На нульовому етапі моделювання задаються наступні початкові умови $n_s(0) = n_i(0) = n_{es}(0) = n_{ei}(0) = n_{esi}(0) = n_p(0) = 0$, тобто коли в системі немає субстрату та інгібітору, а лише вводиться початкова концентрація ензиму у робочій мембрані біосенсора. При заданих початкових умовах та заданих параметрах знаходяться розв'язки системи.

На першому етапі система розв'язується при початкових умовах, які задаються розв'язками системи нульового етапу, а також задається початкова концентрація субстрату, що додається у робочу комірку.

У таблиці 1 наведено параметри математичної моделі біосенсора для визначення α -чаконіну, які були використані при чисельному моделюванні, використовуючи систему диференціальних рівнянь (1–7).

Таблиця 1

Параметри математичної моделі біосенсора для визначення α -чаконіну, які були використані для її чисельного моделювання

Позначення	Числові значення	Одиниці вимірювання
n_e n_e	$5,8 \times 10^{-4}$	моль/л
n_s n_s	1×10^{-3}	моль/л
n_{i_1}	1×10^{-6}	моль/л
n_{i_2}	2×10^{-6}	моль/л
n_{i_3}	5×10^{-6}	моль/л
n_{i_4}	10×10^{-6}	моль/л
k_s k_s	600	л/(моль*с)
k_i	1.3×10^2	л/(моль*с)
k'_s k'_s	20.23	1/с
k'_i k'_i	0.0167	1/с
k_p	0.05	1/с
k_w	0.168	1/с
α	0.3	-

Для дослідження стійкості системи (1–7) потрібно визначити стани рівноваги моделі біосенсора для визначення α -чаконіну у вигляді розв'язку наступної системи алгебраїчних рівнянь.

$$-k_s n_e^* n_s^* - k_i n_e^* n_i^* + k'_s n_{es}^* + k'_i n_{ei}^* + k_p n_{es}^* = 0 \tag{8}$$

$$-k_s n_e^* n_s^* - \alpha k_s n_{ei}^* n_s^* + k'_s n_{es}^* + \alpha k'_s n_{esi}^* = 0 \tag{9}$$

$$k_s n_e^* n_s^* - k'_s n_{es}^* - \alpha k_i n_{es}^* n_i^* + \alpha k'_i n_{esi}^* - k_p n_{es}^* = 0 \tag{10}$$

$$-k_i n_e^* n_i^* - \alpha k_i n_{es}^* n_i^* + k'_i n_{ei}^* + \alpha k'_i n_{esi}^* = 0 \tag{11}$$

$$k_i n_e^* n_i^* - k'_i n_{ei}^* - \alpha k_s n_{ei}^* n_s^* + \alpha k'_s n_{esi}^* = 0 \tag{12}$$

$$\alpha k_i n_{es}^* n_i^* - \alpha k'_i n_{esi}^* + \alpha k_s n_{ei}^* n_s^* - \alpha k'_s n_{esi}^* = 0 \tag{13}$$

$$k_p n_{es}^* - k_w n_p^* = 0 \tag{14}$$

Зрозуміло, що система (8–14) має тривіальний розв’язок. Нетривіальні розв’язки можна обчислити чисельно. Для значень параметрів таблиці 1 отримуємо стаціонарний стан моделі (1–7), яка представлена у вигляді таблиці 2.

Таблиця 2

Значення параметрів стаціонарного стану моделі біосенсора для визначення α -чаконіну

Позначення	Числові значення	Одиниці вимірювання
n_e^*	$1,415 \cdot 10^{-7}$	моль/л
n_s^*	$4 \cdot 10^{-3}$	моль/л
n_{es}^*	$1,129 \cdot 10^{-6}$	моль/л
n_i^*	$1,27 \cdot 10^{-6}$	моль/л
n_{ei}^*	$2,146 \cdot 10^{-7}$	моль/л
n_{esi}^*	$1,715 \cdot 10^{-6}$	моль/л
n_p^*	$3,977 \cdot 10^{-8}$	моль/л

Дослідження стійкості виконується на основі лінійної моделі

$$\frac{dx(t)}{dt} = J(x(t))|_{x(t)=n^*} x(t), \quad x(t) \in R^7, \quad t \geq 0,$$

де $J(x(t))$ є Якобіаном системи (1)–(7), який можна записати у вигляді:

$$J(n(t)) = \begin{bmatrix} -k_s n_s(t) - k_i n_i(t) & -k_s n_e(t) & k'_s + k_p & -k_i n_e(t) & k'_i & 0 & 0 \\ -k_s n_s(t) & -k_s n_e(t) - a k_s n_{ei}(t) & k'_s & 0 & -a k_s n_s(t) & a k'_s & 0 \\ k_s n_s(t) & k_s n_e(t) & -k'_s - a k_i n_i(t) - k_p & a k_i n_{es}(t) & 0 & a k'_i & 0 \\ -k_i n_i(t) & 0 & -a k_i n_i(t) & -k_i n_e(t) - a k_i n_{es}(t) & k'_i & a k'_i & 0 \\ k_i n_i(t) & -a k_s n_{ei}(t) & 0 & k_i n_e(t) & -k'_i - a k_s n_s(t) & a k'_s & 0 \\ 0 & a k_s n_{ei}(t) & a k_i n_i(t) & a k_i n_{es}(t) & a k_s n_s(t) & -a k'_i - a k'_s & 0 \\ 0 & 0 & k_p & 0 & 0 & 0 & -k_w \end{bmatrix}$$

Для значень параметрів таблиці 1 проведено наступні обчислення

$$J(n(t))|_{n(t)=n^*} = \begin{bmatrix} -1.507978e + 02 & -0.12077307 4 & 2.505000e + 01 & -0.04830923 & 0.01670 & 0.00000 & 0.000 \\ -1.507948e + 02 & -0.12510957 0 & 2.500000e + 01 & 0.00000000 & -30.15896 & 5.00000 & 0.000 \\ 1.507948e + 02 & 0.12077307 4 & -2.505060e + 01 & 0.05816714 & 0.00000 & 0.00334 & 0.000 \\ -3.001462e - 03 & 0.00000000 0 & -6.002924e - 04 & -0.10647636 & 0.01670 & 0.00334 & 0.000 \\ 3.001462e - 03 & -0.00433649 6 & 0.000000e + 00 & 0.04830923 & -30.17566 & 5.00000 & 0.000 \\ 0.000000e + 00 & 0.00433649 6 & 6.002924e - 04 & 0.05816714 & 30.15896 & -5.00334 & 0.000 \\ 0.000000e + 00 & 0.00000000 0 & 5.000000e - 02 & 0.00000000 & 0.00000 & 0.00000 & -0.142 \end{bmatrix}$$

Отримано всі власні значення $J(n(t))|_{n(t)=n^*}$ з від’ємною дійсною частиною, а саме: $\lambda_1 = -1.759682e + 02$, $\lambda_2 = -3.517811e + 01$, $\lambda_3 = -1.420000e - 01$, $\lambda_4 = -1.116629e - 01$, $\lambda_5 = -9.815916e - 04$, $\lambda_6 = -3.437626e - 05$, $\lambda_7 = -3.865944e - 15$.

Отже, використовуючи теорему Гробмана-Хартмана [26], можна зробити висновок, що стаціонарний стан n^* системи (8)–(14) при значеннях параметрів з таблиці 1 є локально асимптотично стійкий.

На другому етапі моделюється відгук на інгібітор, при підстановці попередніх розв’язків та початкових концентрацій інгібітору $1 \cdot 10^{-6}$ моль/л, $2 \cdot 10^{-6}$ моль/л, $5 \cdot 10^{-6}$ моль/л, $10 \cdot 10^{-6}$ моль/л, які відомі за умовами експерименту на основі параметрів таблиці 1 при різних концентрацій інгібітору, які зображені на рис. 4.

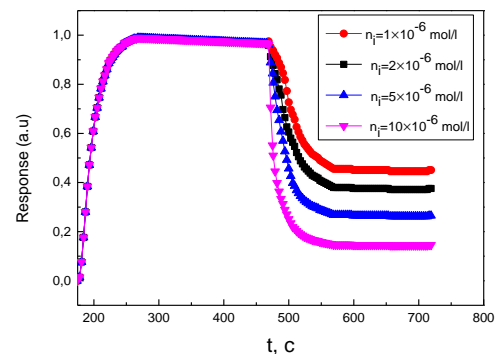


Рис. 4. Результати чисельного моделювання відгуку біосенсора для визначення α -чаконіну

Аналізуючи результати чисельного моделювання,

отримані на рис. 4, можна зробити висновок, що чим вище концентрація інгібітора, тим менша амплітуда відгуку моделі досліджуваного біосенсора. Модельовані реакції біосенсора при різних концентраціях інгібітора повністю відповідають принципу інгібування.

Верифікація математичної моделі біосенсора для визначення α -чаконіну. Біохімічні константи швидкості реакції k важко отримати прямо з експерименту. В даному дослідженні ці константи були підібрані таким чином, щоб змодельований відгук співпадав із експериментальними відгуками. Встановлено, що стабільна робота біосенсора (при заданих концентрація ензиму, субстрату та інгібітору, згідно таблиці 1) досягається при обмеженому балансі між параметрами k . В нашому випадку взаємодія інгібітору з ензимом сильніша, ніж взаємодія субстрату з ензимом приблизно в 100 раз ($k_i = 100k_s$). Швидкість дисоціації комплексів (EI) і (ES) набагато менша, ніж швидкість їх формування ($k'_i = 10^{-4}k_i, k'_s = 0.1k_s$).

За результатами детального дослідження вхідних параметрів системи, було проведено їх підбір таким чином, щоб змодельований відгук досліджуваного біосенсора максимально співпадав із експериментальним. Числові значення такого моделювання наведено в таблиці 1, а результат верифікації математичної моделі біосенсора для визначення α -чаконіну та похибки моделювання наведено на рис. 5.

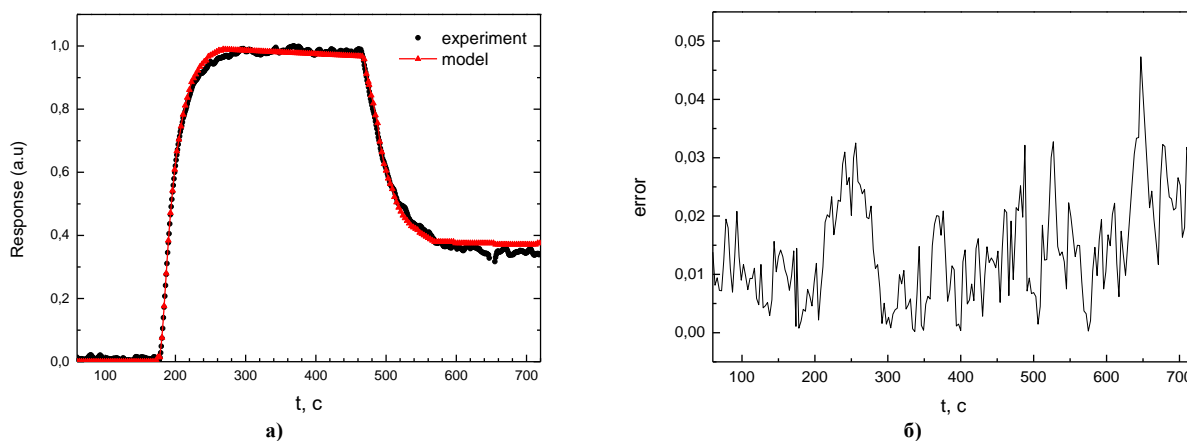


Рис. 5. Результат порівняння змодельованого та експериментального відгуків біосенсора для визначення α -чаконіну (а) та абсолютної похибки моделювання (б)

За результатом верифікації результатів змодельованого та експериментального відгуків (рис. 5) отримано залежність зміни абсолютної похибки на етапах наявності ензиму ($t=0\dots180$ с), субстрату ($t=180\dots460$ с) та інгібітору ($t=460\dots700$ с). Максимальна похибка при наявності ензиму та субстрату становить 0,03 ум. од., що відповідає 3%. Максимальна похибка верифікації проявляється на ділянці стабілізації відгуку біосенсора на дію інгібітору та не перевищує 0,045 ум. од., що відповідає 4,5%. Формування максимальної похибки моделі в порівнянні з експериментальною кривою у вказаній області пояснюється особливостями роботи біосенсора при стабілізації його відгуку на дію інгібітору.

Висновки. Розроблено математичну модель роботи потенціометричного біосенсора на основі бутирилхолінестераза для інгібіторного визначення α -чаконіну. Встановлено аналітичні аспекти інгібування іммобілізованої бутирилхолінестерази α -чаконіном. Використовуючи новий підхід «метод ступеню інгібування», експериментально було встановлено тип інгібування іммобілізованого ензиму при аналізі α -чаконіну. Створена модель описує біохімічні реакції, що відбуваються в мембрані біосенсора під час вимірювання α -чаконіну у вигляді системи диференціальних рівнянь, яка чисельно розв'язана, використовуючи програмне забезпечення Wolfram Mathematica. Чисельне моделювання проводилося при початкових концентраціях ензиму, субстрату та інгібітору, які використовувалися при експериментальних дослідженнях. Фізичний зміст констант швидкостей формування комплексів був вивчений, ґрунтуючись на цьому були підібрані відповідні константи таким чином, щоб змодельований відгук максимально співпадав із експериментальним відгуком біосенсора. Підібрані константи були використанні для моделювання відгуків біосенсора на додавання субстратів та інгібіторів. Отримані результати чисельного моделювання є особливо актуальними при розробці нових біосенсорів та при роботі із токсичними речовинами.

Література

1. Mosinska L., Fabisiak K., Paprocki K., Kowalska M., Popielarski P., Szybowicz M., Stasiak A. Diamond as a transducer material for the production of biosensors. *Przemysl Chemiczny*. 2013. Vol. 92. No. 6. P. 919–923.
2. Adley C. Past, present and future of sensors in food production. *Foods*. 2014. Vol. 3. No. 3. P. 491–510, Aug. doi: 10.3390/foods3030491. URL: <https://doi.org/10.3390/foods3030491>.
3. Martsenyuk V.P., Klos-Witkowska A., Sverstiuk A.S. Study of classification of immunosensors from

viewpoint of medical tasks. *Medical informatics and engineering*. 2018. № 1(41). P. 13–19.

4. Martsenyuk V.P., Klos-Witkowska A., Sverstiuk A.S., Bihunyak T.V. On principles, methods and areas of medical and biological application of optical immunosensors. *Medical informatics and engineering*. 2018. № 2 (42). P. 28–36.

5. Martsenyuk V., Klos-Witkowska A., Sverstiuk A. Stability, bifurcation and transition to chaos in a model of immunosensor based on lattice differential equations with delay. *Electronic Journal of Qualitative Theory of Differential Equations*: No. 2018(27). P. 1–31.

6. Martsenyuk V.P., Andrushchak I.Ye., Zinko P.M., Sverstiuk A.S. On Application of Latticed Differential Equations with a Delay for Immunosensor Modeling. *Journal of Automation and Information Sciences*. 2018. Vol. 50(6). P. 55–65.

7. Martsenyuk V.P., Sverstiuk A.S., Andrushchak I.Ye. Approach to the Study of Global Asymptotic Stability of Lattice Differential Equations with Delay for Modeling of Immunosensors. *Journal of Automation and Information Sciences*. 2019. Vol. 48(8). P. 58–71.

8. Martsenyuk V., Sverstiuk A., Gvozdetska I. Using Differential Equations with Time Delay on a Hexagonal Lattice for Modeling Immunosensors. *Cybernetics and Systems Analysis*. 2019. Vol. 55 (4). P. 625–636.

9. Martsenyuk V.P., Klos-Witkowska A., Sverstiuk A.S. Stability, bifurcation and transition to chaos in a model of immunosensor based on lattice differential equations with delay. *Electronic Journal of Qualitative Theory of Differential Equations*. No. 2018(27). P. 1–31.

10. Martsenyuk V.P., Andrushchak I.Ye., Zinko P.M., Sverstiuk A.S. On Application of Latticed Differential Equations with a Delay for Immunosensor Modeling. *Journal of Automation and Information Sciences*. Vol. 50(6). 2018. P. 55–65.

11. Mell L.D., Maloy J.T. A model for the amperometric enzyme electrode obtained through digital simulation and applied to the immobilized glucose oxidase system. *Anal. Chem.* 1975. Vol. 47. No. 2. P. 299–307.

12. Gajovic N., Warsinke A., Huang T., Schulmeister T., Scheller F.W. Characterization and Mathematical Modeling of a Bionzyme Electrode for L-Malate with Cofactor Recycling. *Analytical Chemistry*. 1999. Vol. 71. No. 20. P. 4657–4662.

13. Romero M.R., Baruzzi A.M., Garay F. Mathematical modeling and experimental results of a sandwich-type amperometric biosensor. *Sensors Actuators, B Chemistry*. 2012. Vol. 162. No. 1. P. 284–291.

14. Loghambal S., Rajendran L. Mathematical modeling of diffusion and kinetics in amperometric immobilized enzyme electrodes. *Electrochimica Acta*. Vol. 55. No. 18. 2010. P. 5230–5238.

15. Loghambal S., Rajendran L. Mathematical modeling in amperometric oxidase enzyme-membrane electrodes. *Journal of Membrane Science*. 2011. Vol. 373. No. 1–2. P. 20–28.

16. Meena A., Rajendran L. Mathematical modeling of amperometric and potentiometric biosensors and system of non-linear equations. Homotopy perturbation approach. *Journal of Electroanalytical Chemistry*. Vol. 644. No. 1. 2010. P. 50–59.

17. Ašeris V., Gaidamauskaitė E., Kulys J., Baronas R. Modelling glucose dehydrogenase-based amperometric biosensor utilizing synergistic substrates conversion. *Electrochimica Acta*. 2014. Vol. 146, P. 752–758.

18. Ašeris V., Baronas R., Kulys J. Modelling the biosensor utilizing parallel substrates conversion. *Journal of Electroanalytical Chemistry*. 2012. Vol. 685. P. 63–71.

19. Arduini F., Amine A. Biosensors Based on Enzyme Inhibition. *Advances in Biochemical Engineering*. 2014. Vol. 140. P. 299–326.

20. Upadhyay L.S., Verma N. Enzyme Inhibition Based Biosensors: A Review. *Analytical Letters*. Vol. 46. 2012. P. 225–241.

21. Stepurska K. V., Soldatkin O.O., Kucherenko I.S., Arkhypova V.M., Dzyadevych S.V., Soldatkin A.P. Feasibility of application of conductometric biosensor based on acetylcholinesterase for the inhibitory analysis of toxic compounds of different nature. *Analytica Chimica Acta*. 2015. Vol. 854. P. 161–168.

22. Dhull V., Gahlaut A., Dilbaghi N., Hooda V. Acetylcholinesterase biosensors for electrochemical detection of organophosphorus compounds: A review. *Biochemistry Research International*. Vol. 2013. P. 1–18.

23. Achi F., Bourouina-Bacha S., Bourouina M., Amine A. Mathematical model and numerical simulation of inhibition based biosensor for the detection of Hg(II). *Sensors & Actuators, B: Chemical*. 2015. Vol. 207. P. 413–423.

24. Arkhypova V.N., Dzyadevych S.V., Soldatkin A.P., El'skaya A.V., Martelet C., Jaffrezic-Renault N. Development and optimisation of biosensors based on pH-sensitive field effect transistor and cholinesterase for sensitive detection of solanaceous glycoalkaloids. *Biosensors & Bioelectronics*. 2003. 18. P. 1047–1053.

25. Arkhypova V.N., Dzyadevych S.V., Soldatkin A.P., Korpan Y.I., El'skaya A.V., Gravoueuille J.-M., Martelet C., Jaffrezic-Renault N. Application of enzyme field effect transistors for fast detection of total glycoalkaloids content in potatoes. *Sensors and Actuators B*. 2004. Vol. 103. P. 416–422.

26. Arrowsmith D.K., Place C.M. The Linearization Theorem. *Dynamical Systems: Differential Equations, Maps, and Chaotic Behaviour*. London: Chapman & Hall. 1992. P. 77–81.

ВИЗНАЧЕННЯ РОЗПОДІЛЕННЯ ЧАСТИНОК СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ ПІД ЧАС ПЕРЕМІШУВАННЯ У РОТОРІ ВІДЦЕНТРОВОГО ЗМІШУВАЧА БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ

У роботі представлено результати дослідження руху частинок сипких матеріалів всередині конічного ротора відцентрового змішувача безперервної дії. Наведено математичні моделі руху частинок у різних зонах ротора. Показано траєкторії руху частинок. Досліджено вплив початкового положення частинок у роторі на їх розподілення при виході з ротора. Проаналізовано фактори, що впливають на положення вхідних компонентів суміші всередині ротора. Визначено вплив параметрів потоків вхідних компонентів на однорідність суміші.

Ключові слова: ротор, відцентровий змішувач, однорідність суміші, сипкий матеріал, математичне моделювання.

V.V. STATSENKO, O.P. BURMISTENKOV, T.Y. BILA

Kyiv National University of Technologies and Design

DETERMINATION OF THE BULK MATERIALS PARTICLES DISTRIBUTION DURING MIXING IN THE CONTINUOUS ACTION CENTRIFUGAL MIXERS ROTOR

The article presents the results of the bulk materials particles movement study in continuous centrifugal mixers with conical rotors. Mathematical models of particle motion in the rotor are developed. The systems of differential equations that describe the particles motion on the rotor bottom and side surface are given. Particle trajectories are shown. The effect of the particle flow initial position in the rotor on the particles distribution at the rotor exit is studied. A relationship is established between the particles distribution at the rotor exit and the mixture homogeneity, which was estimated using the coefficient of variation. The mathematical modelling results of a two-component mixture particles distribution under various initial motion conditions of these components are presented. Four variants of the mixture components movement inside the rotor are considered. The initial conditions for the particles motion differed in the initial components flows position at the rotor bottom, as well as in these flows number. For all cases, histograms of the particles distribution along the rotor outer edge with a 150 step were plotted. In all zones, the particles number of each mixture component was calculated and its percentage composition was determined. Based on the data obtained, the mixture homogeneity was determined. It was found that the mixture homogeneity increases with a decrease in the difference between the particles flows initial motion conditions in the rotor. It was also found that dividing the flows into parts increases the mixture uniformity.

Key words: rotor, centrifugal mixer, mixture homogeneity, bulk material, mathematical modelling.

Вступ

Технологічні процеси змішування сипких матеріалів застосовуються у різних галузях промисловості, зокрема, в легкій, хімічній, харчовій та будівельній [1, 2]. На сьогодні розроблено сотні конструкцій змішувальних пристроїв, які за принципом руху матеріалу можна умовно поділити на обладнання періодичної та безперервної дії. Найбільш перспективним вважається обладнання безперервної дії, оскільки воно має менші масогабаритні та енергетичні показники, дозволяє знизити вплив робочих органів на частинки матеріалу та забезпечує високу продуктивність [3]. Водночас, процес безперервного змішування ставить підвищені вимоги як до дозування вхідних компонентів, так і до якості їх перемішування. Це пов'язано із тим, що у випадку появи відхилень однорідності або відсоткового складу суміші від заданих значень, матеріал неможливо повернути у змішувач для повторного перемішування. Окрім того, рух сипкого матеріалу носить дискретний характер і положення та швидкості окремих частинок є випадковими величинами, що суттєво ускладнює аналіз роботи та параметрів змішувачів.

Зазначені проблеми зумовлюють актуальність досліджень для виявлення залежностей між конструктивними та технологічними параметрами змішувачів та параметрами, що визначають якість суміші.

Постановка завдання

Завданням дослідження є визначення впливу початкових умов руху частинок сипких матеріалів у конічних роторах відцентрових змішувачів безперервної дії на однорідність суміші. В ході досліджень використані методи математичного моделювання, чисельного розв'язку диференціальних рівнянь.

Результати та їх обговорення

Відцентрові змішувачі сипких матеріалів безперервної дії із конічними роторами є одними з найбільш розповсюджених. Це пов'язано із відносною простотою та технологічністю конструкції та, водночас, високими експлуатаційними якостями. Змішувачі цього типу переважно використовуються у складі змішувальних комплексів, що включають бункери, живильники вхідних компонентів та змішувач [3]. На рис. 1 показано структурну схему такого комплексу, що дозволяє виготовляти суміші двох компонентів: основного та ключового.

Перед початком роботи вхідні компоненти завантажуються у бункери (1, 10), що містять датчики рівня (2, 11). Із бункерів матеріал надходить до живильників тарілчастого типу (3, 12), які забезпечують формування потоків сипкого матеріалу, що надходить у змішувач. Обидва живильники забезпечують можливість керування потоком частинок за рахунок зміни положення ножів (5, 9), що знімають сипкий

матеріал з поверхні тарелів, які обертаються із постійними швидкостями ω_1 та ω_2 . Керування положенням ножа здійснюється сервоприводами M2 та M4. Контроль параметрів потоків забезпечується за допомогою датчиків маси (4 та 8), що встановлені під поверхнею формувачів потоків (6, 7).

В результаті компоненти сипкого матеріалу із заданою інтенсивністю надходять всередину відцентрового змішувача безперервної дії [6], який складається із корпусу (13), конічного ротора (14), який обертається навколо вертикальної осі, привода (15, 17) та вихідного патрубку (16). Переміщення частинок всередині ротора відбувається за рахунок дії на них відцентрових сил інерції.

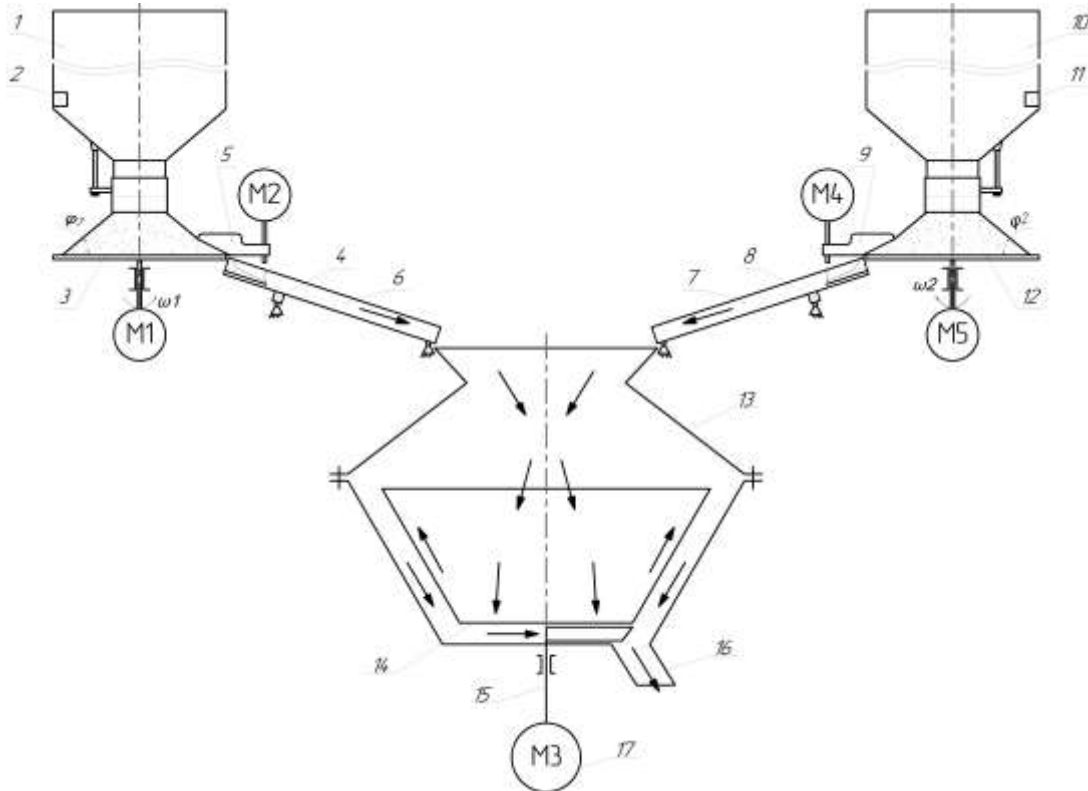


Рис. 1. Структурна схема змішувального комплексу

Рух частинок починається на дні ротора. Далі вони піднімаються вздовж бічної стінки ротора, вилітають з нього та потрапляють у нижню частину корпусу, де збираються ножем та надходять до вихідного патрубку. Початкові положення частинок та їх швидкості є випадковими величинами, які визначаються розташуванням формувача потоку та його параметрами. У крайній точці формувача частинки мають не нульову горизонтальну складову швидкості, яка призводить до зміщення потоків компонентів відносно центру ротора. Також на фактичне положення частинок впливають вібрації та флуктуації швидкості обертання ротора, які виникають під час роботи змішувача. На рис. 1 стрілками показано рух частинок ключового та основного компонентів.

Будемо вважати, що координати частинок на дні ротора є випадковими величинами, які мають нормальний розподіл та відомі середнє значення та дисперсію.

$$A(x_A, y_A) = \text{rand}(O(x_0, y_0), \sigma), \tag{1}$$

де x_A, y_A – координати частинки A; x_0, y_0 – координати центральної точки потоку; σ – дисперсія розподілу.

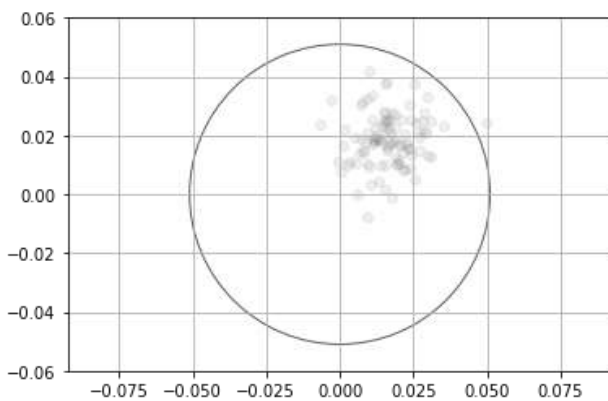


Рис. 2. Розташування частинок на дні ротора

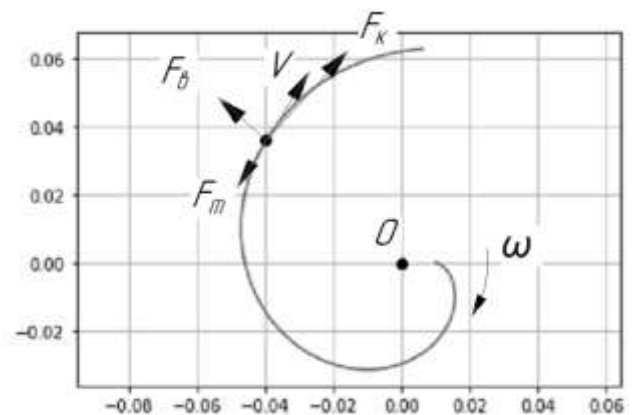


Рис. 3. Схема сил, що діють на частинку під час руху у роторі

Випадкове розташування 100 частинок на дні ротора із центральною точкою з координатами (0,017; 0,017) та дисперсією 0,0085 показано на рис. 2. Суцільною лінією показана границя дна ротора, що має радіус $R = 0,051$ м.

Під час руху частинок по поверхні ротора, що обертається, на них діють сили тяжіння, тертя та коріолісова сили [5] (рис. 3).

Траєкторію руху частинок по поверхні дна ротора можна описати за допомогою наступної системи рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = V_x \\ \frac{dV_x}{dt} = x \cdot \omega^2 + 2V_y \omega - \frac{Ktr \cdot g}{\sqrt{V_x^2 + V_y^2}} V_x \\ \frac{dy}{dt} = V_y \\ \frac{dV_y}{dt} = y \cdot \omega^2 - 2V_x \omega - \frac{Ktr \cdot g}{\sqrt{V_x^2 + V_y^2}} V_y \end{cases} \quad (2)$$

де ω – частота обертання ротора; Ktr – коефіцієнт тертя між частинками та поверхнею ротора; x, y – координати частинки; V_x, V_y – складові швидкості руху частинок по осях X та Y .

Рух частинки по бічній поверхні конуса відбувається під дією тих самих сил, але система рівнянь змінюється з урахуванням нахилу бічної поверхні та переміщення частинки вздовж вісі Z :

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = V_x \\ \frac{dV_x}{dt} = x \cdot \omega^2 + 2V_y \omega - \frac{Ktr \cdot g}{\sqrt{V_x^2 + V_y^2}} V_x a_{Nx} + a_{Nx} \\ \frac{dy}{dt} = V_y \\ \frac{dV_y}{dt} = y \cdot \omega^2 - 2V_x \omega - \frac{Ktr \cdot g}{\sqrt{V_x^2 + V_y^2}} V_y a_{Ny} + a_{Ny} \\ \frac{dz}{dt} = V_z \\ \frac{dV_z}{dt} = -g + \left(\sqrt{x\omega^2 + y\omega^2} \cos \alpha + g \sin \alpha \right) \sin \alpha - \left(\sqrt{x\omega^2 + y\omega^2} \cos \alpha + g \sin \alpha \right) \frac{Ktr \cdot g}{\sqrt{V_x^2 + V_y^2}} \cos \alpha \end{cases} \quad (3)$$

де g – прискорення вільного падіння; α – половина кута розтрубу ротора; a_{Nx}, a_{Ny} – складові прискорення, що створюються силою реакції поверхні ротора, вздовж осей X та Y , відповідно.

На рис.4 показані результати моделювання траєкторій руху частинок за системами рівнянь (2, 3) у роторі, що має наступні параметри: радіус дна $R_0 = 0,051$ м, висота $H = 0,17$ м; половина кута розтрубу $\alpha = 35^\circ$; частота обертання $\omega = 20$ об/с. Коефіцієнт тертя між частинками та матеріалом ротора прийнятий рівним 0,3.

На рис. 5 та 6 показано положення частинок перед початком їх руху вздовж бічної стінки ротора та у момент виходу з ротора.

Розподілення частинок вздовж зовнішньої кромки ротора можна представити у вигляді гістограми (рис. 7). Для цього розділимо коло на зони із кроком 15° та визначимо кількість частинок, що знаходяться у кожній із зон.

Отримані результати свідчать, що частинки згруповані у секторі з кутовим розміром приблизно 100° (від -50° до -150°). Це означає, що після виходу з ротора частинки потрапляють на дно корпусу також у цьому секторі, оскільки перемішування після виходу з ротора практично не відбувається.

Якщо потік частинок ключового компоненту виходитиме через інший сектор, який не перетинається із сектором основного компоненту, то перемішування компонентів буде мінімальним.

В ідеальному випадку частинки всіх компонентів мають бути розподілені рівномірно вздовж зовнішньої кромки ротора. В цьому випадку відсотковий склад у кожному з секторів відповідатиме заданому, а однорідність суміші буде максимальною. Кількість частинок у кожному з секторів буде однаковою та визначатиметься за формулою:

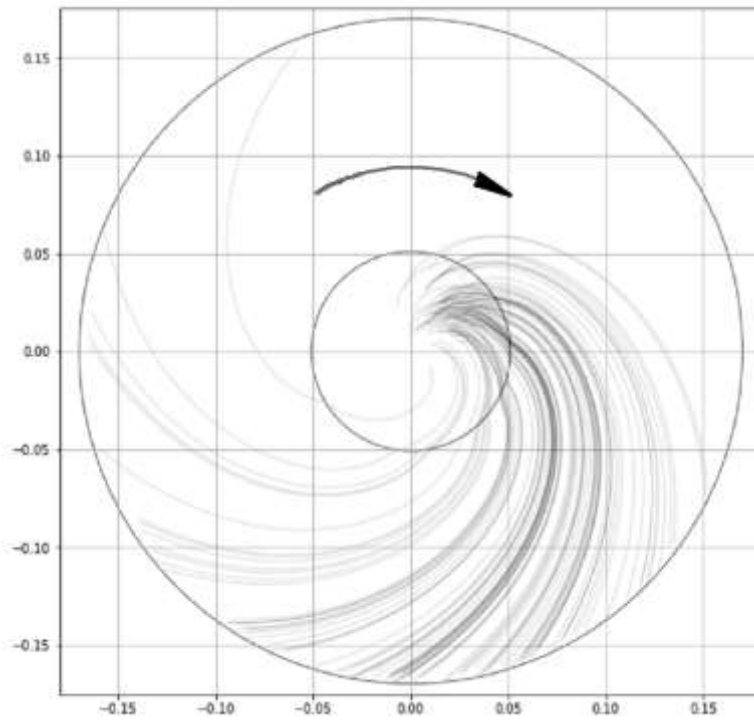


Рис. 4. Траскторії руху частинок у кінцічному роторі (вигляд згори)

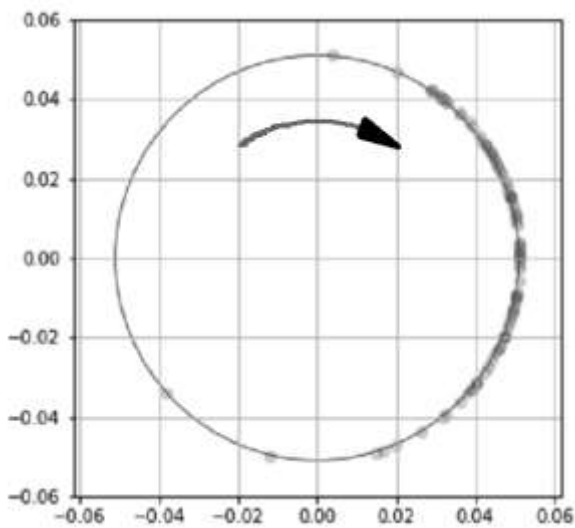


Рис. 5. Положення частинок перед початком руху вздовж бічної стінки ротора

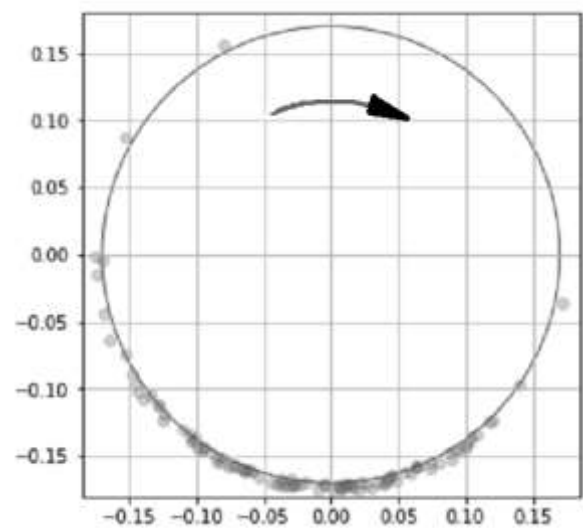


Рис. 6. Положення частинок у момент їх виходу із ротора

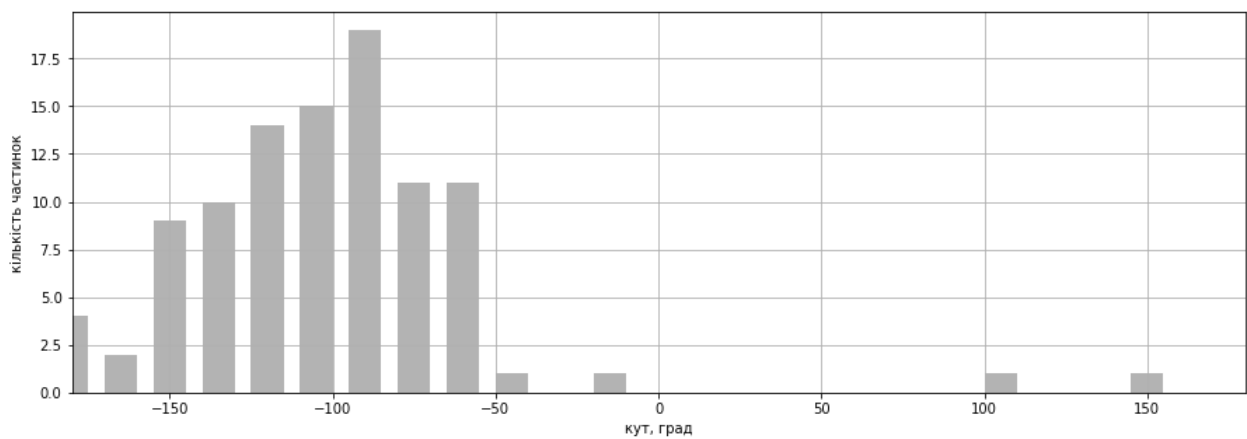


Рис. 7. Гістограма розподілення частинок на виході з ротора

$$N_c = \frac{N}{n}, \tag{4}$$

де N – загальна кількість частинок; N_c – кількість частинок у секторі; n – кількість секторів.

Оцінити різницю між фактичним розподіленням частинок та ідеальним можна за допомогою середньоквадратичного відхилення фактичної кількості частинок у кожному з секторів від середнього значення:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (N_i - N_c)^2}, \tag{5}$$

де N_i – кількість частинок у i -му секторі.

Також важливо визначити взаємне розташування частинок компонентів суміші на виході з ротора. Найбільш розповсюдженим методом визначення однорідності є порівняння відсоткового складу окремих об'ємів (проб) готової суміші. Кількісну оцінку однорідності суміші здійснюють за допомогою коефіцієнту варіації V_c , %:

$$V_c = \frac{100}{\bar{c}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2}, \tag{6}$$

де \bar{c} – середнє арифметичне значення концентрації ключового компонента в усіх n пробах суміші, %; c_i – концентрація ключового компонента i -ї пробі суміші, %.

Під час дослідження руху частинок у роторі, окремими пробами вважатимемо частинки, що знаходяться у певному секторі. Співвідношення кількості частинок ключового та основного компонентів у цьому секторі визначатиме концентрацію ключового компонента даної пробі:

$$c = \frac{N_{KK}}{N_{KK} + N_{OK}} 100\%, \tag{7}$$

де N_{KK}, N_{OK} – кількості частинок ключового та основного компонентів, відповідно.

Оскільки під час проектування змішувального комплексу ми можемо впливати на траєкторію руху частинок, наприклад, за рахунок зміни положення формувачів, проведемо моделювання декількох можливих розташувань потоків вхідних компонентів, а саме:

- 1) потік основного компонента (400 частинок) надходить у перший квадрант, потік ключового компонента (100 частинок) – у другий квадрант;
- 2) потік основного компонента (400 частинок) надходить у перший квадрант, потік ключового компонента (100 частинок) – у третій квадрант;
- 3) основний компонент надходить двома потоками, що складаються з 200 частинок кожний та надходять у перший та другий квадранти, ключовий компонент надходить двома потоками по 50 частинок, що надходять у третій та четвертий квадранти;
- 4) основний компонент надходить двома потоками, що складаються з 200 частинок кожний та надходять у перший та третій квадранти, ключовий компонент надходить двома потоками по 50 частинок, що надходять у другий та четвертий квадранти.

Після проведення дослідів 3 та 4 вважаємо, що на вході у змішувач встановлено додатковий пристрій (турбулізатор), що дозволяє розділити потік частинок на дві складові, які матимуть різні напрямки руху.

Результати моделювання руху частинок представлені у вигляді гістограм на рис. 8–11.

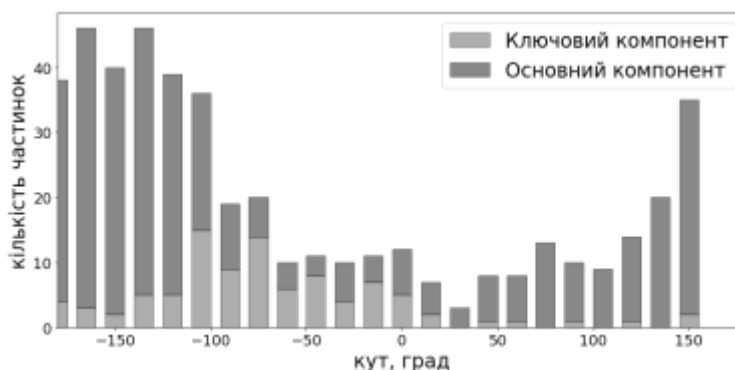


Рис. 8. Гістограма розподілу частинок на виході ротора (дослід 1)

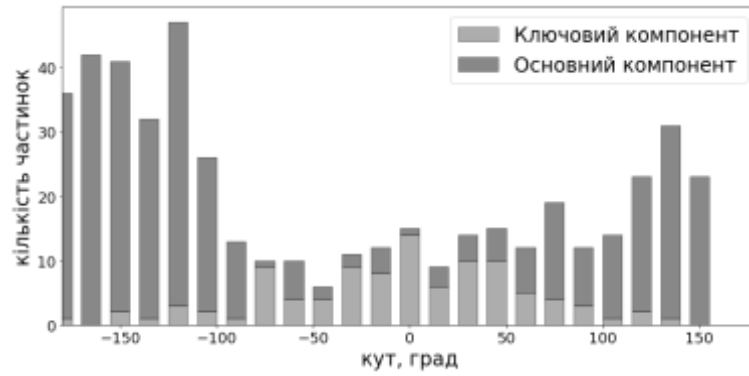


Рис. 9. Гістограма розподілу частинок на виході ротора (дослід 2)

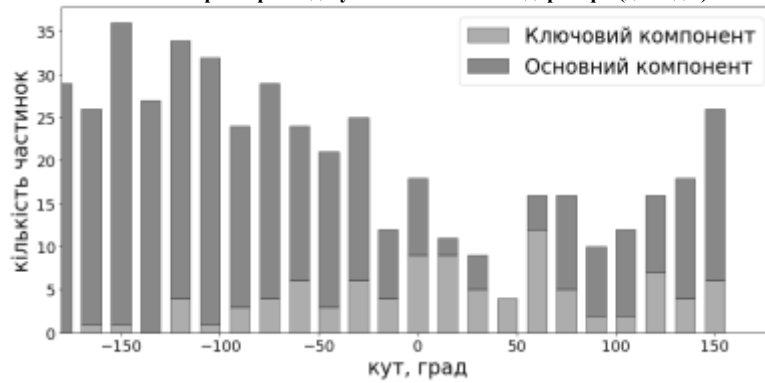


Рис.10. Гістограма розподілу частинок на виході ротора (дослід 3)

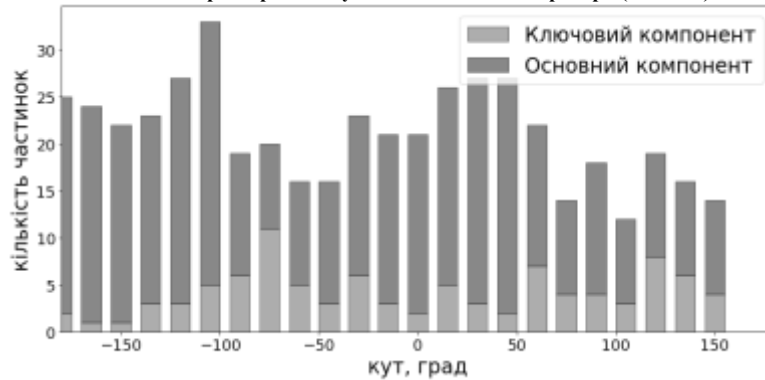


Рис. 11. Гістограма розподілу частинок на виході ротора (дослід 4)

У табл. 1 наведено результати розрахунків коефіцієнту варіації за формулою (6).

Таблиця 1

Залежність коефіцієнта варіації від кількості потоків частинок та їх розташування

№ досліду	Умови дослідження	V _c
1	Потік основного компонента (400 частинок) надходить у перший квадрант, потік ключового компонента (100 частинок) – у другий квадрант.	140,7%
2	Потік основного компонента (400 частинок) надходить у перший квадрант, потік ключового компонента (100 частинок) – у третій квадрант.	152,1%
3	Основний компонент надходить двома потоками, що складаються з 200 частинок кожний та надходять у перший та другий квадранти, ключовий компонент надходить двома потоками по 50 частинок, що надходять у третій та четвертий квадранти.	118,7%
4	Основний компонент надходить двома потоками, що складаються з 200 частинок кожний та надходять у перший та третій квадранти, ключовий компонент надходить двома потоками по 50 частинок, що надходять у другий та четвертий квадранти.	80,4%

Висновки:

- 1) Запропоновані математичні моделі дозволяють оцінити розподілення частинок на виході з ротора та прогнозувати однорідність суміші.
- 2) Встановлено, що однорідність суміші збільшується із зменшенням відстані між центральними

точками потоків вхідних компонентів на дні ротора.

3) Розділення потоків на декілька складових підвищує однорідність суміші.

4) Аналіз отриманих гістограм свідчить, що найкраще розподілення ключового компонента в основному відбувається у випадку розділення потоків на складові частини та максимального їх розподілення у роторі.

5) Взаємне розташування вхідного патрубку змішувача та формувачів потоків компонентів суміші дозволяє корегувати початкове положення частинок на дні ротора, що дає можливість підвищити однорідність суміші.

Література

1. Процеси та обладнання підготовчих виробництв лёгкої промисловості / О. П. Бурмістенков, О.А. Стародуб, В. П. Місяць, Т. Я. Біла, В. В. Стаценко. – К. : КНУТД, 2011. – 137 с.
2. Бурмістенков О. П. Виробництво литих деталей та виробів з полімерних матеріалів у взуттєвій та шкіргалантерейній промисловості / О. П. Бурмістенков, Б. М. Злотенко, В. П. Коновал, І. В. Панасюк, М.Є. Скиба, О. М. Синюк. – Хмельницький : ХНУ, 2007. – 255 с.
3. Стаценко В.В. Автоматизовані комплекси безперервного приготування композицій сипких матеріалів : монографія / В.В. Стаценко, О.П. Бурмістенков, Т.Я. Біла. – Київ : КНУТД, 2017. – 220 с.
4. Попов В. Л. Механика контактного взаимодействия и физика трения / Попов В. Л. – М. : Физматлит, 2012.– 348 с.
5. Біла Т. Я. Аналітичне дослідження руху часток суміші у двороторному змішувачі безперервної дії / Т. Я. Біла, В. В. Стаценко // Вісник КНУТД. – 2006. – № 5. – С. 30–34.
6. А. с. СССР № 1165446, 1985. Смеситель непрерывного действия / Бурмистенков А. П., Белая Т. Я., Корзун В. В., Слижевский В. А.

References

1. Protsesy ta obladnannia pidhotovchykh vyrobnytstv lëhkoï promyslovosti / O. P. Burmistenkov, O. A. Starodub, V. P. Misiats, T. Ya. Bila, V. V. Statsenko. – K. : KNUTD, 2011. – 137 s.
2. Burmistenkov O. P. Vyrobnytstvo lytykh detalei ta vyrobiv z polimernykh materialiv u vzuttievii ta shkirhalantereinii promyslovosti / O. P. Burmistenkov, B. M. Zlotenko, V. P. Konoval, I. V. Panasiuk, M. Ye. Skyba, O. M. Syniuk. – Khmelnytskyyi : KhNU, 2007. – 255 s.
3. Statsenko V.V. Avtomatyzovani komplekxy bezperernoho pryhotuvannia kompozytsii sypkykh materialiv : monohrafiia / V.V. Statsenko, O.P. Burmistenkov, T.Ia. Bila. – Kyiv : KNUTD, 2017. – 220 s.
4. Popov V. L. Mekhanyka kontaktnoho vzaymodeistviya y fyzyka treniya / Popov V. L. – M. : Fyzmatlyt, 2012.– 348 s.
5. Bila T. Ya. Analitychne doslidzhennia rukhu chastok sumishi u dvorotornomu zmishuvachi bezperervnoi dii / T. Ya. Bila, V.V. Statsenko // Visnyk KNUTD. – 2006. – № 5. – С. 30–34.
6. A. s. SSSR № 1165446, 1985. Smesitel nepreryvnogo deistviia / Burmistenkov A. P., Belaia T. Ya., Korzun V. V., Slizhevskii V.A.

Рецензія/Peer review : 14.1.2020 р.

Надрукована/Printed : 14.2.2020 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НАПРАЦЮВАННЯ ТА АСИМЕТРІЇ ЦИКЛУ НА ТРІЩИНОСТІЙКІСТЬ СТАЛЕЙ ПОРТАЛЬНИХ КРАНІВ

Об'єктом дослідження є металоконструкції порталних кранів, термін експлуатації яких перевищує нормативний і які продовжують експлуатуватися в річкових портах. Проблема зниження працездатності металоконструкції загострюється понаднормовою та тривалою їх експлуатацією в режимі інтенсивного циклічного навантаження в сукупності зі зміною фізико-механічних властивостей внаслідок корозійної деградації металу. Враховуючи те, що на сьогодні за відсутності достатнього фінансування встановлення ресурсу кранів є актуальною задачею, оскільки останній визначається опірністю втомного руйнування порталних кранів. Метою роботи є встановлення впливу напрацювання та асиметрії циклу навантаження в умовах агресивного середовища на характеристики тріщиностійкості зразків металоконструкцій порталних кранів. Для досліджень були використані плоскі зразки, виготовлені з сталі St38b2, які вирізані з нижньої та задньої полиць хобота, а також стріли порталних кранів типу «Альбатрос», що напрацювали 45 років в Херсонському порту. Експериментальні зразки навантажували плоским згином на випробувальній машині з жорстким типом навантаження, частотою 3 Гц та асиметрією циклу R 0,1, 0,4, 0,6 і 0,8. З отриманих експериментальних кінетичних діаграм втомного руйнування матеріалу встановлено, що збільшення асиметрії циклу навантаження призводить до інтенсифікації росту тріщини, зокрема в діапазоні значень $K=7\text{...}18$ МПа·м^{1/2} швидкість збільшується у 1,3-2 рази. За $R=0,8$ вже спостерігається відсутність ефекту закриття тріщини, зниження порогу втоми, інтенсифікація росту тріщини у всьому діапазоні K , що узгоджується з даними, наведеними в [4].

Ключові слова: порталний кран, сталь St38b2, асиметрія циклу, швидкість росту втомної тріщини.

V.V. STRELBITSKIY, O.O. NEMCHUK

Odessa National Maritime University

AN EXPERIMENTAL STUDY OF THE IMPACT OF AGE AND LOADING CYCLE ASYMMETRIES ON THE CRACK RESISTANCE OF THE PORTAL CRANES

Gantry cranes are the most common reloading machines of river ports, which perform the bulk of transshipment work. It should be noted that port performance depends on their reliable and continuous operation. Excessive and long-term operation of metal structures under intensive cyclic loading and in combination with a change in physical and mechanical properties as a result of corrosion degradation of the metal leads to a decrease in their performance. An increase in the duration of operation leads to the accumulation of defects and damage to metal structures, to the intensification of the latest results of operational hydrogen pickling of steels. They can serve as concentrators of fatigue cracks; their development is random. Design of metal structures. However, the latent and educated defects that are available during manufacturing and operation lead to a reduction in their useful life. In the absence of sufficient funding, the urgent task is to establish the resource of the cranes, which is determined by the resistance to fatigue failure of the portal cranes. An analysis of the studies showed that the influence of cycle asymmetry on the kinetics of critical growth of fatigue cracks in the metal structures of gantry cranes that have been in operation for more than 40 years is currently insufficiently reviewed in the scientific literature. The aim of the work is to establish the influence of work and asymmetry of the load cycle in an aggressive environment on the fracture toughness characteristics of gantry crane metal structures. For studies, flat beam specimens with one-side notch were used. They are made of low-carbon sheet ferrite-pearlite class St38b2 steel, and cut from the lower and rear shelves of the crane boom, as well as the right boom of Albatros-type gantry cranes, which have been used for 45 years in the river port of Kherson. 10 samples were cut from each element. Samples are loaded by cantilever bending on a testing machine with a rigid type of load, frequency 3 Hz, according to the asymmetry of the cycle R 0.1, 0.3, 0.6 and 0.8 at an outdoor temperature of 20 °C. The obtained values were averaged. From the obtained experimental kinetic diagrams of the fatigue fracture of the material, it was found that an increase in the asymmetry of the cycle leads to an intensification of crack growth, in particular, in the range of values $K = 7 \dots 18$ MPa · m^{1/2}, the speed increases by 1.3-2 times. At $R = 0.6$ and 0.8, there is no crack closure effect, a decrease in the fatigue threshold, and crack growth is intensified over the entire ΔK range. Which is consistent with the kinetics of tedious crack growth in the Paris section [4].

Keywords: gantry crane, corrosion, St38b2 steel, fatigue crack growth rate.

Постановка проблеми

Портальні крани є найбільш розповсюдженими перевантажувальними машинами річкових портів, які виконують основний об'єм перевантажувальних робіт. Слід відзначити, що продуктивність порту залежить від їх надійної та безперервної роботи.

Понаднормова та тривала експлуатація металоконструкцій в режимі інтенсивного циклічного навантаження та в сукупності зі зміною фізико-механічних властивостей внаслідок корозійної деградації металу призводить до зниження їх працездатності [1–4]. Збільшення тривалості експлуатації призводить до накопичення дефектів і пошкодження металоконструкцій, інтенсифікації останніх та експлуатаційного наводнення сталей [5–7]. Небезпека корозійних пошкоджень полягає в тому, що вони можуть слугувати концентраторами втомних тріщин, їх розвиток носить випадковий характер.

Як відомо, під час проектування металоконструкцій конструктори встановлюють запаси міцності з урахуванням дії можливих експлуатаційних навантажень [3, 4]. Проте наявні скриті та утворені в процесі виготовлення та експлуатації дефекти призводять до зниження терміну їх експлуатації.

Терміни експлуатації кранів з понаднормовим терміном експлуатації залежать від періоду напрацювання, стану на момент спостереження, можливості часткового відновлення ресурсу шляхом ремонту, розкиду технічного стану елементів, якості та технології їх виготовлення, якості матеріалу,

особливостей технічного обслуговування, фактичних умов експлуатації, режимів навантаження, наявності агресивних середовищ, якості та стану захисних покриттів [4].

На повітрі частота навантаження здебільшого не впливає на кінетику руйнування сталей, проте корозійні середовища суттєво її змінюють.

За умов відсутності достатнього фінансування актуальною задачею є встановлення ресурсу кранів, що визначається опірністю втомного руйнування порталних кранів.

Аналіз публікацій

Аналіз проведених досліджень показав наступне:

1) міцність та пластичність сталі конструкції кранів, котрі напрацювали більше 30 років, істотно не змінилися, проте погіршилася ударна в'язкість металу, тобто його опірність крихкому руйнуванню [1–7]; тому можна припустити, що погіршиться й опір втомному руйнуванню;

2) корозійні ушкодження металевих конструкцій порталних кранів носять випадковий характер, спостерігаються у вигляді язв чи поверхневих ушкоджень, та істотно впливають на залишкову довговічність [4, 5];

3) збільшення терміну служби (напрацювання) призводить до зниження механічних характеристики матеріалів [2];

4) напрацювання впливають неоднозначно на механічні характеристики матеріалів [1, 3].

Слід відзначити, що руйнування металокопункцій в процесі експлуатації пов'язано з циклічними навантаженнями металу, котрі чутливі до концентраторів напружень і сприяють утворенню мікротріщин біля корозійних виразок. Останні переростають в подальшому в макротріщину, що поширюється в тіло металокопункції. Однак, вплив асиметрії циклу навантажень на кінетику до критичного росту втомних тріщин металокопункцій порталних кранів, які пропрацювали більше 40 років, на теперішній час в науковій літературі розглянуто ще недостатньо

Метою роботи є встановлення впливу напрацювання та асиметрії циклу навантаження в умовах агресивного середовища на характеристики тріщиностійкості зразків металокопункцій порталних кранів.

Викладення основного матеріалу

Для досліджень були використані плоскі балочні зразки з одностороннім надрізом (рис. 1). Зразки були виготовлені з листової низьковуглецевого ферито-перлітного класу сталі St38b2, та вирізані з нижньої та задньої полиць хобота, а також правої стріли порталних кранів типу «Альбатрос», що експлуатувалися протягом 45 років в річковому порту Херсон. З кожного елемента вирізали по 10 зразків.

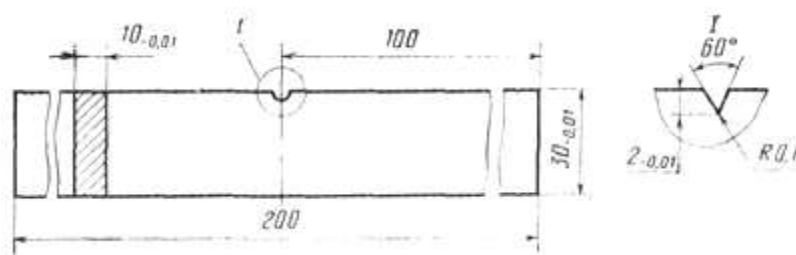


Рис. 1. Експериментальні зразки

Місця вирізання зразків обирались з врахуванням схеми діючих напружень в конструкціях елементів крана. Для забезпечення необхідних розмірів після вирізання зразки остаточно шліфували (відхилення розмірів не перевищували $\pm 0,02$ мм).

Для покращення спостереження за рухом тріщини бокові поверхні робочої частини полірували, що дозволило за допомогою мікроскопа з точністю до 0,01 мм візуально реєструвати довжину тріщини.

У процесі досліджень на заданих режимах випробувань за обома полірованими бічними поверхнями зразків періодично вимірювали довжину тріщини. При цьому фіксувалося відповідне число циклів.

Зразки (рис. 1) навантажували консольним згином на випробувальній машині з жорстким типом навантаження, частотою 3 Гц, за асиметрії циклу R 0,1, 0,4, 0,6 і 0,8 за температури зовнішнього повітря 20°C.

Отримані значення усереднювали для кожної групи зразків.

За отриманим експериментальними даними будували кінетичні діаграми втомного руйнування «розмах коефіцієнта інтенсивності напружень (КІН) ΔK – швидкість росту тріщини da/dN » (рис. 2) за методикою [5].

Оскільки товщини зразків для випробувань і металевих конструкцій однакові, то можна припустити з певною ймовірністю, що і швидкості росту тріщини для значень ΔK мають бути наближені. Це дозволяє використовувати отримані кінетичні діаграми втомного руйнування для проведення інженерних розрахунків на стадії проектування.

За отриманими експериментальними даними розраховували коефіцієнти C і n , характеристики циклічної тріщиностійкості матеріалу на ділянці Періса, за залежністю (1), результати наведені в табл. 1:

$$\frac{da}{dN} = C \Delta K^n. \quad (1)$$

Слід відзначити, що в ході досліджень три зразки передчасно вийшли з ладу внаслідок прихованих дефектів в металі, крім того на восьми зразках спостерігалось сповільнення швидкості розповсюдження тріщини за $R=0,1$.

Аналіз обстежених металевих зразків показав, що більшість їх поверхонь уражені корозійними ушкодженнями у вигляді язв та поверхневих дефектів, які є неглибокими. Металографічний аналіз зламів проводили на оптичному мікроскопі Neophot-21, а мікрофрактографічний – на сканувальному електронному мікроскопі Carl Zeiss EVO-40XVP (рис. 3).

Візуальний огляд зламів зразків показав відсутність відкладення оксидів на ділянках припорогових швидкостях розповсюдження тріщини, що цілком узгоджується з дослідженнями [4].

Асиметрія циклу суттєво впливає на швидкість росту втомної тріщини.

За малих значень асиметрії циклу навантажень експлуатація не суттєво впливає на швидкість росту втомної тріщини, що узгоджується з дослідженнями [2–6], і це можна пояснити ефектом закриття втомної тріщини, спричиненим зростанням шорсткості поверхні, що нівелює її потенціальне прискорення і результати зниження опірності деградованого металу втомному руйнуванню.

Таблиця 1

Характеристики циклічної тріщиностійкості зразків з сталі St38b2

Елемент крана	Асиметрія циклу навантаження R	Характеристики циклічної тріщиностійкості		Коефіцієнт кореляції	K_{max} , МПа·м ^{1/2}
		C	n		
Хобот	0,1	$2,642 \cdot 10^{-14}$	4,771	0,972	25
	0,4	$2,191 \cdot 10^{-12}$	2,74	0,96	22
	0,6	$2,265 \cdot 10^{-11}$	2,67	0,98	19
	0,8	$4,247 \cdot 10^{-11}$	2,705	0,97	16
Стріла	0,1	$3,254 \cdot 10^{-13}$	3,884	0,98	26
	0,4	$3,057 \cdot 10^{-12}$	3,287	0,99	23
	0,6	$1,981 \cdot 10^{-11}$	2,793	0,98	19,5
	0,8	$4,247 \cdot 10^{-11}$	2,705	0,99	16,6

Експлуатація в умовах корозійного (водневого) середовища призвела до утворення корозійних дефектів на поверхнях металу і зумовила негативний вплив.

Збільшення значень асиметрії циклу навантажень призводить до інтенсифікації росту тріщини, що відповідає загальним закономірностям [4] і пояснюється відсутністю механізму закриття тріщини, певним зниженням порогу втоми і збільшенням розмаху деформацій в околиці вершини втомної тріщини.

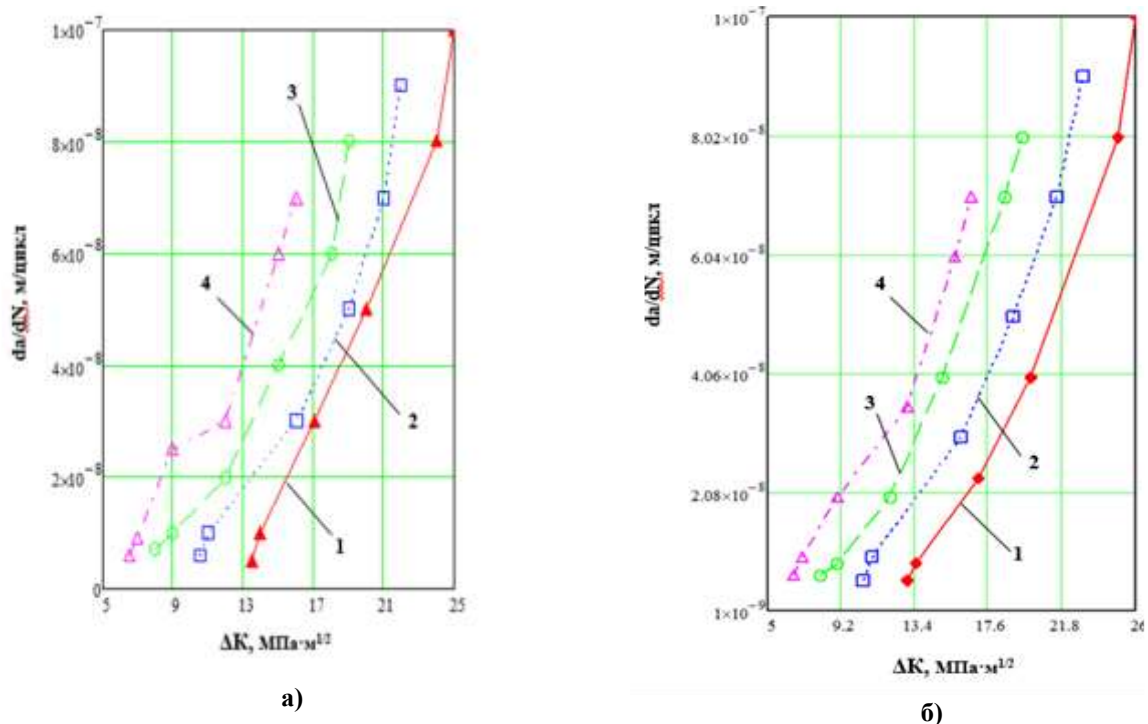


Рис. 2. Кінетичні діаграми втомного руйнування зразків зі сталі St38b2, вирізаних з хоботу (а) та стріли (б) для $R=0,1$ (1), $0,4$ (2), $0,6$ (3) та $0,8$ (4)

З отриманих експериментальних кінетичних діаграм втомного руйнування матеріалу встановлено, що збільшення асиметрії циклу навантаження призводить до інтенсифікації росту тріщини, зокрема в діапазоні

значень $K=7...18$ МПа·м^{1/2} швидкість збільшується у 1,3–2 рази. За $R=0,6$ і $0,8$ вже спостерігається відсутність ефекту закриття тріщини, зниження порогу втоми, інтенсифікація росту тріщини у всьому діапазоні ΔK . Це узгоджується з даними кінетики втомного росту тріщини на ділянці Періса [4].

Висновки

За отриманими результатами експериментальних досліджень встановлено наступне:

1) на характеристики тріщиностійкості зразків металокопункцій зі сталі St38b2 впливає напрацювання і асиметрія циклу навантаження металу порталних кранів;

2) збільшення асиметрії циклу навантаження призводить до інтенсифікації росту тріщини, зокрема в діапазоні значень $K=7...18$ МПа·м^{1/2}

швидкість збільшується у 1,3–2 рази. За $R=0,8$ вже спостерігається відсутність ефекту закриття тріщини, зниження порогу втоми, інтенсифікація росту тріщини у всьому діапазоні ΔK ;

3) металографічний аналіз зразків показав відсутність міжкристалічної корозії.

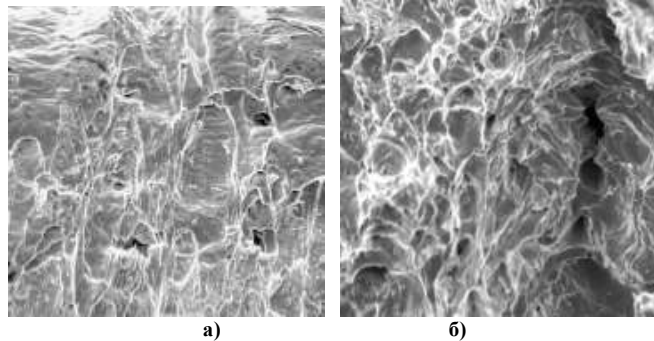


Рис. 3. Мікрофрактограми зразків із сталі St38b2 на ділянках припорогових швидкостей у хоботі (а) та стрілі (б) при $R=0,8$

Література

1. Немчук О. О. Особливості діагностування технічного стану сталей портового перевантажувального обладнання / О. О. Немчук // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2017. – 53, № 6. – С. 116–118.
2. Немчук О.О. Експериментальне дослідження впливу напрацювання на тріщиностійкість сталей порталних кранів / О.О. Немчук, В.В. Стрельбіцький // Вісник Хмельницького національного університету, серія: Технічні науки. – 2019. – № 1. – С. 17–20.
3. Ботвина Л.Р. Высокоцикловое усталостное разрушение малоуглеродистой стали после её длительного старения / Л.Р. Ботвина, И.М. Петрова, И.В. Гадолина, В.П. Левин, Ю.А. Демина, А.П. Солдатенков, М.Р. Тютин // Заводская лаборатория «Диагностика материалов». – 2009. – № 6. Том 75. – С. 44–51.
4. Пустовой В.Н. Металлоконструкции грузоподъемных машин. Разрушение и прогнозирование остаточного ресурса / В. Н. Пустовой. – М. : Транспорт, 1992. – 256 с.
5. Omura T., Kudo T., and Fujimoto S. Environmental factors affecting hydrogen entry into high strength steel due to atmospheric corrosion. Mat. Transactions. 2006. 47, № 12. P. 2956–2962.
6. Харченко Л. Є. Діагностика водневого макророзшарування в стінці гину труби системи магістральних газопроводів / Л. Є. Харченко, О. Є. Кунта, О. І. Звірко, Р. С. Савула, З. А. Дурягіна // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2015. – № 4. – С. 84–90.
7. Никифорчин Г. М. Деградація властивостей сталей магістральних газопроводів упродовж їх сорокарічної експлуатації / Г. М. Никифорчин, О. Т. Цирульник, Д. Ю. Петрина, М. І. Греділь // Проблемы прочности. – 2009. – 41, № 5 (401). – С. 66–72.

References

1. Nemchuk O. O. Osoblyvosti diahnostuvannya tekhnichnoho stanu stalei portovoho perevantazhuvalnoho obladdnannya / O. O. Nemchuk // Fiz.-khim. mekhanika materialiv. – 2017. – 53, № 6. – S. 116–118.
2. Nemchuk O.O. Eksperymentalne doslidzhennia vplyvu napratsiuвання na trishchynostiikist stalei portalnykh kraniv / O.O. Nemchuk, V.V. Strelbitskiy // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2019. – № 1. – S. 17–20.
3. Botvina L.R. Vysokociklovoe ustalostnoe razrushenie malouglerodistoy stali posle eyo dlitel'nogo stareniya / L.R. Botvina, I.M. Petrova, I.V. Gadolina, V.P. Levin, Yu.A. Demina, A.P. Soldatenkov, M.R. Tyutin // Zavodskaya laboratoriya «Diagnostika materialov». – 2009. – № 6. Tom 75. – S. 44–51.
4. Pustovoj V.N. Metallokonstrukcii gruzopodemnykh mashin. Razrushenie i prognozirovanie ostatochnoho resursa / V. N. Pustovoj. – M. : Transport, 1992. – 256 s.
5. Omura T., Kudo T., and Fujimoto S. Environmental factors affecting hydrogen entry into high strength steel due to atmospheric corrosion. Mat. Transactions. 2006. 47, № 12. R. 2956–2962.
6. Kharchenko L. Ye. Diahnostyka vodnevoho makrorozsharuvannya v stintsii hynu truby systemy mahistralnykh hazoprovodiv / L. Ye. Kharchenko, O. Ye. Kunta, O. I. Zvirko, R. S. Savula, Z. A. Duriagina // Fiz.-khim. mekhanika materialiv. – 2015. – № 4. – S. 84–90.
7. Nykyforchyn H. M. Dehradatsia vlastyvoetei stalei mahistralnykh hazoprovodiv uprodovzh yikh sorokarichnoi ekspluatatsii / H. M. Nykyforchyn, O. T. Tsyrylnyk, D. Yu. Petryna, M. I. Hredil // Problemy prochnosti. – 2009. – 41, № 5 (401). – S. 66–72.

Рецензія/Peer review : 10.1.2020 р.

Надрукована/Printed : 14.2.2020 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

**М.Є. СКИБА, М.С. СТЕЧИШИН, В.В. ЛЮХОВЕЦЬ,
Н.М. СТЕЧИШИНА, М.В. ЛУК'ЯНЮК**

Хмельницький національний університет

КАВІТАЦІЙНО-ЕРОЗІЙНА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ АЗОТОВАНИХ В ТЛЮЧОМУ РОЗРЯДІ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ

У роботі на основі втомно-електрохімічної теорії корозійно-механічного зношування та структурно-енергетичної теорії кавітаційного руйнування металів досліджено вплив безводного азотування в тліючому розряді (БАТР) на кавітаційно-ерозійну зносостійкість конструкційних сталей 20, 45, 40X та 38ХМЮА в корозійно-активних середовищах-електролітах.

Ключові слова: кавітаційно-ерозійна зносостійкість, безводне азотування, тліючий розряд.

M. SKYBA, M. STECHYSHYN, V. LIUKHOVETS, N. STECHYSHYNA, M. LUKIANIUK

Khmelnitskyi National University

CAVITATION-EROSION WEAR RESISTANCE OF STRUCTURAL STEELS NITRIDED IN A GLOW DISCHARGE

Cavitation and erosion resistance of structural steels in corrosion-active environments is determined by the physicochemical characteristics of their surfaces. Therefore, surface hardening methods are widely used to increase the cavitation resistance of steels. One of the methods of increasing the cavitation-erosion resistance is the method of anhydrous nitriding in glow discharge (BATR), which in addition to the effective protection of surfaces is environmentally friendly and due to the lack of hydrogen in the saturated gas mixture significantly improves the safety of operation of the plants for the closure of nitrogen. A scientifically sound approach to solving the problem of increasing the reliability and durability of equipment parts subject to cavitation-erosion wear is only possible taking into account the specificity of the destruction of surface layers in corrosive environments. On the basis of the fatigue-electrochemical theory of corrosion-mechanical wear and the structural-energy theory of cavitation fracture of metals, the effect of anhydrous nitriding in a glow discharge (BATR) on the cavitation-erosion wear resistance of structural steels 20, 45, 40X and 38KhMYuA in corrosive media is studied electrolytes.

Keywords: cavitation-erosion wear resistance, anhydrous nitriding, glow discharge.

Вступ

Кавітаційно-ерозійна зносостійкість конструкційних сталей в корозійно-активних середовищах визначається фізико-хімічними характеристиками їх поверхонь. Тому методи поверхневого зміцнення отримали широке поширення для підвищення кавітаційної стійкості сталей. Одним із методів підвищення кавітаційно-ерозійної зносостійкості є метод безводного азотування в тліючому розряді (БАТР), який крім ефективного захисту поверхонь є екологічно чистим і внаслідок відсутності водню в насичувальній газовій суміші значно поліпшує безпеку експлуатації установок для азотування та виключає можливість водневого окрихчування поверхонь азотування.

Науково обґрунтований підхід до вирішення проблеми підвищення надійності і довговічності деталей обладнання, що підлягають кавітаційно-ерозійному зношуванню, можливий лише з врахуванням специфіки руйнування поверхневих шарів у корозійно-активних середовищах.

До сьогоднішнього дня немає єдиної думки про можливий механізм кавітаційно-ерозійного руйнування поверхонь матеріалів. Сучасні теорії кавітаційного руйнування можна розділити на 4 групи:

1) засновані на теорії гідродинамічної дії рідин [1, 2]; 2) електрохімічної дії кавітаційної ерозії [3]; 3) теорії миттєвих хімічних реакцій [4]; 4) термодинамічної теорії кавітаційної ерозії [5].

Аналіз робіт, в яких розглядаються механізми кавітаційного руйнування поверхонь, показує, що більшість авторів [2, 3, 6, 7] підтримують розроблену Релеєм гідродинамічну теорію і рахують, що основним фактором кавітаційного руйнування є механічна дія бульбашки, яка руйнується на поверхні матеріалу. Разом з тим, важливе значення має і корозійний фактор [3, 8], який у ряді випадків може відігравати головну роль у кавітаційному руйнуванні. Найбільш загально прийнятою точкою зору в даний час є та, що кавітаційне руйнування металевих поверхонь являє собою корозійно-механічний процес, у якому взаємодіють механічний і корозійний фактори руйнування [3, 5, 8, 9, 10].

При цьому корозійно-механічне зношування не може розглядатися як просте сумування механічного та корозійного факторів руйнування. Корозійно-механічне зношування є складним процесом, у якому корозія служить каталізатором втомного руйнування. Тертя і кавітація, в свою чергу, активізують протікання корозії. Слід також відзначити, що автори розглядають і аналізують процеси корозійно-механічного зношування (КМЗ) не лише в системі «метал 1 + метал 2 + середовище» ($M1 + M2 + C$), але і КМЗ в системі «метал + середовище» ($M + C$).

Більшість дослідників [3, 10, 11] вважає, що кавітаційно-ерозійне зношування є наслідком мікроударного навантаження рідиною. При цьому зносостійкість матеріалів визначається не звичайними їх механічними характеристиками, а властивостями окремих мікрооб'єктів [12, 13]. Тому спроби встановлення залежності кавітаційно-ерозійної зносостійкості матеріалів від їх механічних властивостей виявились безуспішними [6].

Структурно-енергетична теорія кавітаційного руйнування металів [12, 13] у найбільшій мірі дозволяє дослідити кінетику і закономірності кавітаційного і гідроабразивного зношування матеріалів.

Мета роботи – на основі втомно-електрохімічної теорії КМЗ та структурно-енергетичної теорії кавітаційного руйнування металів дослідити вплив БАТР на кавітаційно-ерозійну зносостійкість металів в корозійно-активних середовищах-електролітах.

Методика проведення досліджень

Матеріали та середовища. Для дослідження впливу БАТР обрані конструкційні сталі 20, 45, 40Х та 38ХМЮА, які найбільш часто використовуються для азотування.

Досліди проводилися в модельних середовищах-електролітах: кислому – 2-відсотковий розчин лимонної кислоти $C_6H_8O_7 \times H_2O$; нейтральному – 3-відсотковий розчин NaCl; жорстка вода – $MgSO_4 \times 7H_2O$ – 0,343 г і $CaCl_2 \times 6H_2O$ – 0,61 г на 1 л дистильованої води; лужному – 25-відсотковий розчин оксиду кальцію CaO і 15% цукрози ($C_{12}H_{22}O_{11}$).

Установка для дослідження кавітаційно-ерозійної зносостійкості та електрохімічних вимірювань. Кавітаційно-ерозійна зносостійкість металів, азотованих зразків досліджувалися на установці з магнітострикційним вібратором (МСВ). Установка (рис. 1) складається з ультразвукового генератора УЗДН-А потужністю 150 Вт, частотою коливань 22 кГц і амплітудою коливань концентратора 5...85 мкм. Дана установка аналогічна установці, описаній в роботі [14]. Установка містить два охолоджувальних контури з протилежною навивкою трубок змійовиків і пристосування для контролю приповерхневої температури зразка в процесі кавітації.

Встановлення двоконтурної системи охолодження дозволило, як показали проведені випробування [14], уникнути впливу температурного чинника на інтенсивність зношування поверхонь зразків.

Під час застосування двоконтурної системи охолодження робочого середовища втрати маси зразків сталі 45 в 3-відсотковому розчині NaCl зменшуються в 3,2 разу порівняно з одноконтурною і в 13,3 разу порівняно з результатами випробувань без системи охолодження середовища. Розроблена методика проведення кавітаційно-ерозійних випробувань з двоконтурною системою охолодження робочих середовищ дозволяє отримувати в лабораторних умовах результати більш наближені до характеристик зносостійкості в умовах експлуатації.

Кінетику електрохімічних процесів у статичі вивчали за допомогою потенціостату П-5827М і трьохелектродної комірки ЯСЭ-2. Розчини в цих дослідах перемішували магнітною мішалкою. Перед зняттям ПК зразки витримували в середовищі протягом часу, достатнього для встановлення перед початком вимірювання швидкості зміни потенціалу зразка не більше 10 мВ за 30 хв. ПК знімали в потенціостатичному режимі. Швидкість розгортки потенціалу (зміна потенціалу робочого електроду в часі) у всіх дослідах була постійною (при множенні швидкості потенціалу, рівному одиниці). У якості стандартного служив хлор-срібний електрод типу ЭВЛ-1М1, занурений в електроліт на 10...20 мм. Допоміжний – платиновий – електрод розміщували до повного занурення його контакту в робочому розчині. Струм між робочим і допоміжним електродами вимірювали мілівольтміліамперметром М20.

Установка УАТР – 1 для проведення безводневого азотування в тліючому розряді (БАТР). Азотування досліджуваних зразків проводилися на установці УАТР-1, призначеній для поверхневої модифікації деталей, інструменту та оснащення методом БАТР.

Особливістю цієї установки є використання в якості насичуючого середовища в процесі азотування безводневих газових сумішей (суміші азоту з аргоном), що виключає водневе окрихчування поверхні металу. Відсутність водню в насичуючому середовищі, який є добрим відновником металу і нейтралізує кисень, вимагає застосування особливо чистих насичуючих газів (99,99%) і великої герметичності системи газопостачання та вакуумної камери. Навіть невелика кількість кисню (0,1%) викликає утворення окисів на поверхні металу і різко знижує дифузію азоту в метал. Тому на відміну від установок, що працюють з водневомісними насичуючими середовищами (аміак, суміш азоту з воднем), ця установка має в системі газозабезпечення кисневий уловлювач, який нейтралізує залишки кисню в насичуючому середовищі перед його попаданням у вакуумну камеру.

Для забезпечення незалежності енергетичних параметрів режиму БАТР установка була модернізована. У нашому випадку було запропоновано конструктивне рішення, представлено на рис. 2.

Корпус камери 1 слугує анодом, всередині якого розміщена підвіска катода 2, до неї під'єднаний стакан 3, у якому встановлюються зразки 8. З внутрішньої сторони стакан нагрівається спіральним нагрівачем 4 на керамічній трубці з виводом одного з кінців ніхромової обмотки через центральну керамічну трубку 5. Ступінь нагріву регулюється за допомогою автотрансформатора 6. Баластний реостат 7 застосовується для зміни співвідношень між струмом і напругою.

Контроль температури проводився за допомогою пірометра моделі АПРС-М. Вимірювальна система пірометра тарована в умовах, аналогічних реальному тліючому розряду.

Металографічний, рентгеноструктурний і мікрорентгеноспектральний аналіз. Металографічні дослідження після БАТР проводилися на циліндричних зразках, які розрізалися за діаметральною площиною (отримували два напівциліндра). Отримані площини шліфували і полірували під час промивання дистильованою водою та піддавали травленню в 3-відсотковому спиртовому розчині азотної кислоти (HNO_3).

Вимірювання товщини нітридної зони проводили на мікроскопі МИМ-10, що дозволяє проводити кількісний аналіз фазового та структурного складу азотованих поверхонь.

Мікротвердість визначали на мікротвердомірі ПМТ-3 з навантаженням 0,98 Н з фіксацією значень мікротвердості як на поверхні, так і на відстані від неї 0; 25; 50; 100; 200; 300; 500 мкм.

Залишкові напруження знаходили за методом М. М. Давиденкова шляхом вимірювання величини прогину плоского зразка в процесі стравлювання азотованого шару [15].

Рентгенофазовий аналіз азотованих зразків проводили на дифрактометрі ДРОН-3 у фільтрованому випромінюванні залізного анода в діапазоні кутів q від 20° до 100° з кроком сканування $0,1^\circ$ і часом експозиції 10 с. Рентгенозйомка проводилася від поверхні вглибину азотованого шару.

Фазовий склад покриттів до і після термічної обробки аналізували на рентгенівській установці ДРОН-1 в Со-Ка-випромінюванні.

Хімічний склад поверхневих шарів поелементно аналізувався на енергодисперсійному спектрометрі «Link 860/500» з використанням програмного забезпечення DIGIMAP, що базується на дискретному скануванні електронним променем поверхні зразка або шліфа з фіксацією інтенсивності випромінювання в кожній точці сканування.

Оже-спектроскопія проводилася оже-мікрозондом «JEOL» JAMP-10S. Установка дозволяє проводити дослідження методами растрової електронної мікроскопії, електро-ожеспектроскопії.

Для дослідження розподілу елементів за товщиною покриття проводилося розпилення іонів аргону зі швидкістю 3 Нм/хв. Локальність зон дослідження при цьому становила біля 1 мкм. Мікротвердість покриття, розподіл мікротвердості за товщиною покриття визначали на мікротвердомірі ПМТ-3 з навантаженням 0,98 Н.

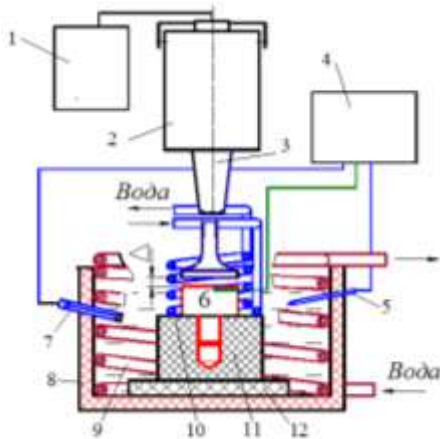


Рис. 1. Схема установки для кавітаційно-ерозійних випробувань і потенціостатичних досліджень матеріалів:

- 1 – генератор ультразвукових коливань УЗДН-А;
- 2 – магнітострикційний вібратор (МСВ); 3 – концентратор; 4 – потенціостат П-5827М; 5 – електрод порівняння (хлор-срібний); 6 – зразок (робочий електрод); 7 – платиновий (допоміжний) електрод; 8 – ванна з фторопласту Ф4;
- 9 – зовнішній контур охолодження; 10 – контур охолодження в зоні кавітації; 11 – вузол кріплення зразка; 12 – пластина опорна

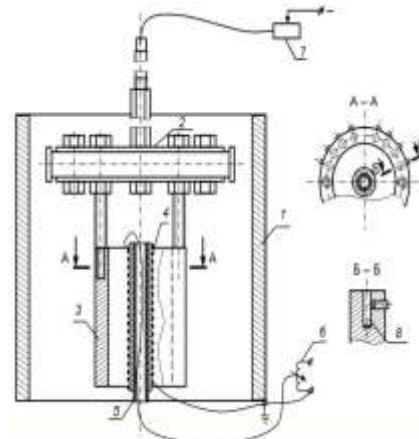


Рис. 2. Схема модернізації установки для реалізації процесу азотування у тліючому розряді з автономними параметрами насичення: 1 – корпус камери; 2 – підвіска; 3 – стакан; 4 – нагрівач; 5 – центральна керамічна трубка; 6 – автотрансформатор; 7 – баластний реостат; 8 – зразки

Виклад основного матеріалу

В ході проведення досліджень впливу режимних параметрів на фізико-хімічні властивості азотованих шарів металів експериментально знайдені режими, що забезпечують прийнятні характеристики міцності, пластичності, опір втомному руйнуванню і т. ін. Однак знайдені режими азотування і відповідні експлуатаційні характеристики поверхонь часто не розглядаються у взаємозв'язку з структурним і фазовим складом поверхневих шарів і не аналізуються на базі загальних закономірностей фізики міцності і пластичності кристалічних тіл.

Враховуючи, що зміна мікротвердості за товщиною дифузійного шару характеризує співвідношення і розподіл структурних і фазових складових покриття, а також може служити мірою енергоємності поверхневих шарів [15], досліджено вплив параметрів іонного азотування на зміну мікротвердості (рис. 3, а, б).

Аналіз отриманих результатів досліджень дозволив сформулювати загальні закономірності зміни мікротвердості нітридної зони залежно від зміни параметрів режиму азотування:

1) максимальна твердість підвищується з підвищенням вмісту вуглецю, кількості та виду легуючих елементів основи (криві 1...4 на рис. 3, а); наявність легуючих, особливо нітридоутворювальних елементів має набагато більший вплив на величину мікротвердості ніж вуглець (криві 1, 2, 3 на рис. 3 а);

2) з підвищенням температури азотування мікротвердість нітридної зони знижується і швидкість зниження підвищується зі збільшенням ступеня легування та вмісту вуглецю основи;

3) зі збільшенням вмісту азоту і тиску газового середовища мікротвердість зростає, але швидкість зростання набагато менша за швидкість її зниження при підвищенні температури;

4) збільшення часу азотування при незмінних температурі, тиску і складу газової суміші не змінюючи величину мікротвердості сприяє більш плавному її переходу до твердості основи з одночасним розширенням зони дії підвищених значень мікротвердості (рис. 3 б).

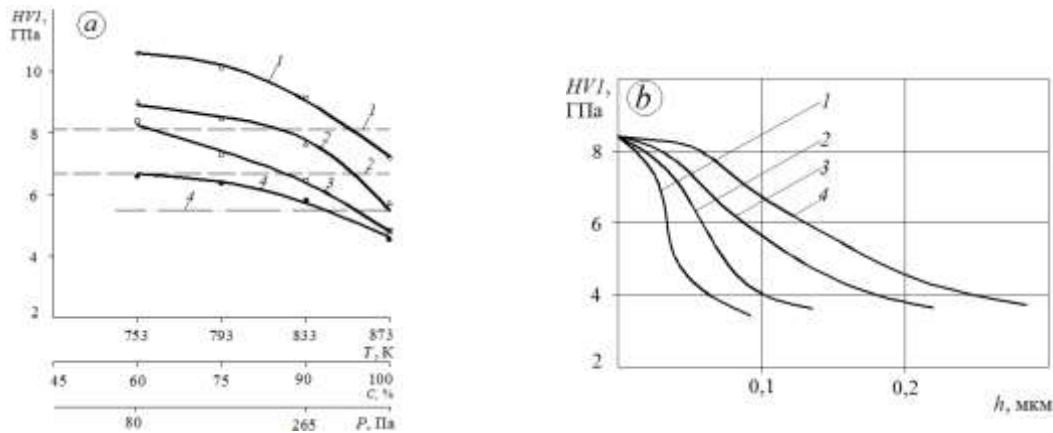


Рис. 3. а) Залежність мікротвердості нітридної зони від температури T , К (суцільні лінії); вмісту азоту C , % (штрихові лінії); тиску газової суміші p , Па (штрих-пунктирні лінії) для сталей: 1 – 38ХМЮА, 2 – сталь 40Х, 3 – сталь 45, 4 – сталь 20; б) Розподіл мікротвердості HV1 за товщиною дифузійного азотованого шару зразків сталі 40Х протягом 1 год – 1, 2 год – 2, 3 год – 3 і 4 год – 4

Максимальна мікротвердість нітридної зони отримана на сталі 38ХМЮА внаслідок того, що нітриди легуючих елементів мають вищу твердість, дисперсність, термічну стійкість порівняно з нітридами заліза, а зниження мікротвердості з підвищенням температури азотування пояснюється зниженням ступеню дискретності нітридів. Внаслідок того, що нітриди заліза відрізняються невеликою термічною стійкістю і великою швидкістю коагуляції [15, 16] твердість вуглецевих сталей мало залежить від температури азотування (крива 4 на рис. 3, а).

Згідно з даними [16] дисперсність включень нітридів легуючих елементів чинить вирішальний вплив на величину і розподіл мікротвердості за товщиною азотованого шару. Так, дослідження тонкої структури азотованої сталі 40Х за допомогою растрового електронного мікроскопу РЕМ-200 показали, що з підвищенням температури азотування з 833 до 873 К площа поверхні нітридів збільшується в середньому у 38 разів і, відповідно, знижується мікротвердість.

Отримані результати підтверджуються даними рентгеноструктурного аналізу. Відомо, що максимальна мікротвердість азотованого шару відповідає утворенню когерентних зародків нітридної фази, що викликають найбільші спотворення кристалічної ґратки матриці, усереднене значення яких характеризується шириною й інтенсивністю дифракційних максимумів γ' -фази. Зі збільшенням температури азотування і ростом нітридних часток когерентність порушується, спотворення ґратки матриці і твердість шару зменшуються (рис. 3, а).

Легуючі елементи, підвищуючи розчинність азоту в легованій γ' -фазі, призводять до зменшення коефіцієнта його дифузії і до зменшення товщини дифузійного шару. Товщина зменшується також по мірі збільшення вуглецю матриці. При цьому концентрація азоту в поверхневому шарі ϵ -фази змінюється незначно. Так, кількість ϵ -фази на сталі 20 становила 19%, а на сталі 45 – 21%.

Аналіз впливу параметрів іонного азотування на зміну товщини нітридної зони h_N і дифузійного шару h та мікротвердості HV1 показав можливість ефективного регулювання цих характеристик, насамперед, шляхом зміни температури азотування. Отже, температура азотування є найбільш універсальним і значним енергетичним параметром процесу (рис. 4). При цьому найбільш інтенсивний ріст дифузійного шару спостерігався для вуглецевої сталі 45 (крива 2 залежності $h=f(T)$ на рис. 4), а найменший для легованої сталі 38ХМЮА (крива 3 на рис. 4). Останнє пояснюється низькою рухомістю азоту в нітридах легуючих елементів, які блокують дифузію в твердому розчині [16]. Глибина та інтенсивність росту нітридної зони h_N , навпаки, збільшується при збільшенні ступеня легування нітридоутворювальними елементами, якими є більшість легуючих елементів за виключенням алюмінію і кремнію, які дещо знижують розчинність азоту [16]. У подальшому нітриди заліза і легуючих елементів заважають дифузії азоту в товщину металу і прискорюють розвиток зони внутрішнього азотування.

З підвищенням концентрації азоту в газовій суміші до 75% збільшується товщина нітридної зони h_N , але подальше збільшення азоту призводить до зменшення h_N , що можливо викликано погіршенням очистки поверхні металу внаслідок меншої кінетичної енергії іонів азоту порівняно з іонами аргону [15] (рис. 4, залежності $h_N=f(C\%, N_2)$).

Збільшення тиску азото-аргонної суміші практично не змінює товщину дифузійного шару h , але дещо збільшує товщину нітридної зони h_N (залежності $h=f(p)$ і $h_N=f(p)$ – штрих-пунктирні лінії на рис. 4).

Застосування методу активного планування експерименту дозволило отримати статистичні моделі впливу іонного азотування на товщину і мікротвердість зміцненого шару. У результаті статистичної обробки експериментальних даних при 5-відсотковому рівні значимості отримані наступні рівняння регресії:

$$\left. \begin{aligned} y_1 &= 256,12 + 18,27x_1 \\ y_2 &= 16,72 + 0,95x_1 + 0,16x_2 + 0,20x_3 \\ y_3 &= 7,30 - 0,65x_1 + 0,08x_2 + 0,19x_3 \end{aligned} \right\}$$

де y_1 – загальна товщина дифузійного шару h ; y_2 – товщина нітридної зони h_N ; y_3 – мікротвердість HV1; x_1 – температура азотування; x_2 – вміст азоту в газовій суміші С, а x_3 – тиск газової суміші.

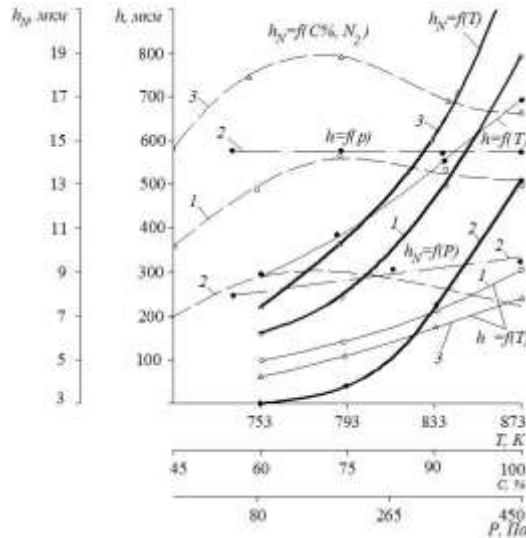


Рис. 4. Залежність глибини дифузійного шару h (суцільні тонкі лінії) і нітридної h_N (суцільні товсті лінії) зони від температури; від вмісту азоту С в насичувальній суміші (штрихові лінії) і від тиску p (штрих- пунктирні лінії) для сталей: 1 – 40X; 2 – 45; 3 – 38XМЮА

Аналіз отриманих моделей підтверджує раніше отримані результати іонного азотування і дозволяє за відомими параметрами БАТР знайти товщину нітридної та дифузійної зон, а також мікротвердість нітридної зони.

В останній час все більше уваги приділяється вивченню структурного стану поверхневих шарів для аналізу процесів зношування металів на основі фізики міцності і пластичності кристалічних тіл [15].

За допомогою рентгеноструктурного аналізу знайдені зміни параметрів кристалічної ґратки залежно від зміни режимів іонного азотування, що дозволяє кількісно оцінити характеристики міцності поверхневого шару (рис. 5).

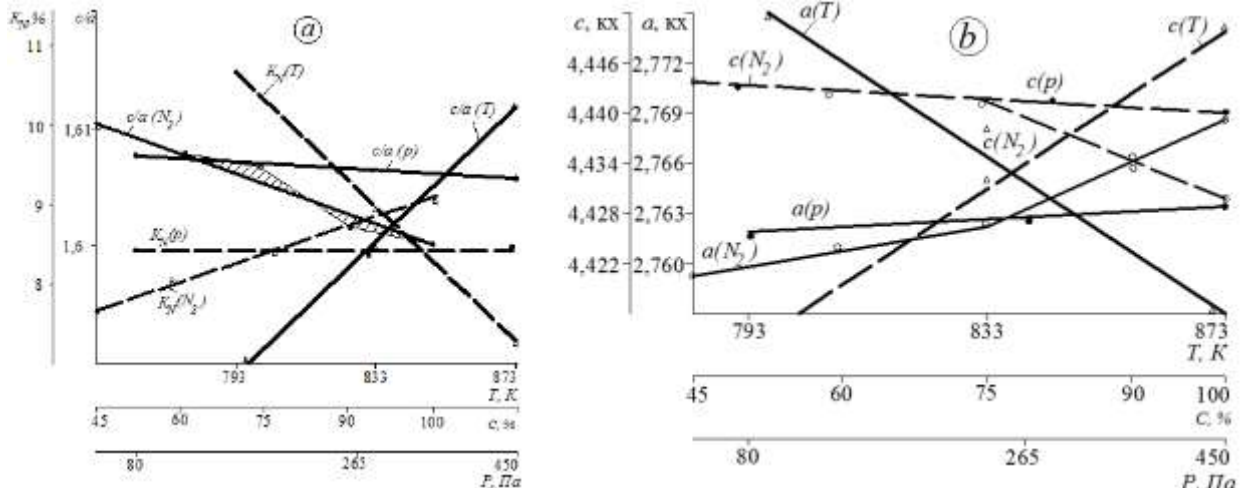


Рис. 5. а) Залежність відношення параметрів кристалічної решітки (c/a) і концентрації азоту в поверхневому шарі (K_N); б) параметрів c і a від режимів азотування (T, C, p) сталі 40X

Результати рентгеноструктурного аналізу підтверджуються результатами металографічного аналізу, величиною і характером розподілу мікротвердості (рис. 3). Так, параметр ґратки a суттєво зменшується, а параметр c , навпаки, суттєво збільшується при збільшенні температури азотування (рис. 5b), що призводить до збільшення відношення c/a (рис. 5a).

Внаслідок дифузії азоту вглибину дифузійного шару при підвищенні температури азотування, його концентрація K_N на поверхні нітридного шару зменшується, а отже зменшується кількість азоту і, відповідно, мікротвердість нітридного шару (рис. 5а).

Зменшення спотворень кристалічної ґратки (зменшення відношення c/a) зі збільшенням концентрації азоту в газовій суміші (лінія $c/a(N_2)$ на рис. 5а) одночасно компенсується підвищенням концентрації азоту в нітридній зоні $K_M(N_2)$ (рис. 5а) і призводить до незначного збільшення мікротвердості поверхневого шару (рис. 4).

Збільшення тиску газової суміші практично не змінює відношення параметрів $c/a(p)$ (рис. 5а), що підтверджується характером зміни параметрів $c(p)$ і $a(p)$ на рис. 6b і в заданих умовах зміна тиску газової суміші практично не впливає на мікротвердість нітридної зони (пряма 4 на рис. 3а).

Рентгеноструктурним аналізом встановлено, що незалежно від складу газової атмосфери в поверхневому шарі утворюється ϵ ($Fe_{2.3}N$), γ' (Fe_4N) і α -фази. При цьому, фазовий склад і співвідношення фазових структур в азотованому шарі можна регулювати шляхом зміни режимних параметрів азотування T , C і p (рис. 6 а, b, c).

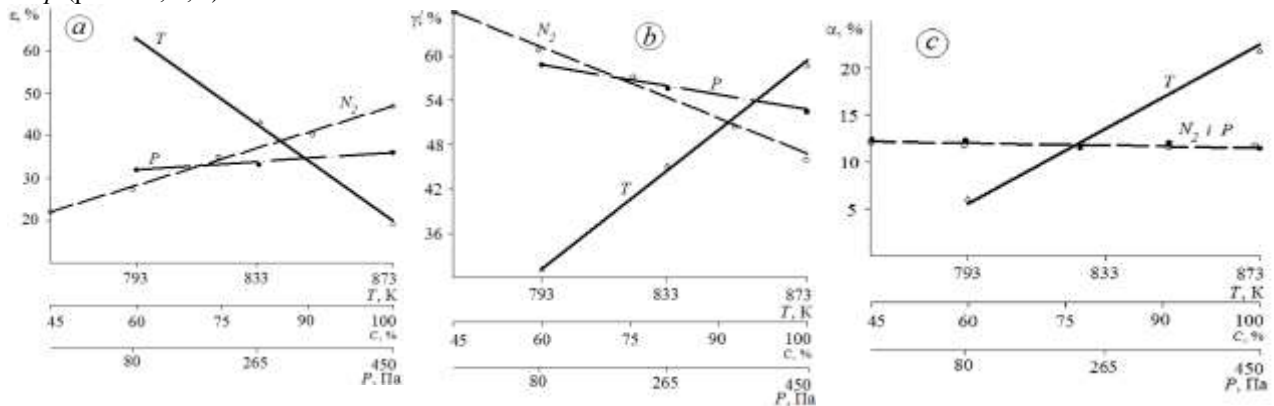


Рис. 6. Залежність фазового складу дифузійного шару сталі 40Х від режимів іонного азотування (T ; C ; p): а) вміст ϵ -фази; б) γ' -фази; в) α -фази, %

Аналіз отриманих залежностей показує, що найбільш суттєво впливає на кількість утворення тих чи інших фаз температура процесу іонного азотування. Так, з її підвищенням зменшується кількість ϵ -фази в поверхневому шарі (рис. 6а) і одночасно збільшується кількість γ' - і α -фаз (рис. 6 б, в). Зі збільшенням вмісту азоту і тиску газової суміші збільшується кількість ϵ -фази (рис. 6а) і зменшується кількість γ' -фази (рис. 6б). При цьому концентрація азоту і тиск газової суміші практичне не впливає на вміст α -фази (рис. 6в), кількість якої контролюється лише температурою іонного азотування в тліючому розряді, яка, в свою чергу, залежить від енергетичних характеристик процесу (густини струму і напруження на електродах газорозрядної камери).

Враховуючи різку різницю фізико-хімічних властивостей фазових структурних складових азотованого шару і можливість регулювання їх кількості і співвідношення між ними, виявляються широкі можливості отримання шарів із заданими характеристиками поверхонь.

Як показали багаточисельні дослідження [15, 17–19] структура шару і його фазовий склад визначають експлуатаційні характеристики виробів. Зокрема, для відкритих пар тертя (зубчасті колеса, зірочки ланцюгових передач, пальці конвеєрів і т.д.) застосовуються деталі з високою твердістю, сформовані на базі ϵ -фази (Fe_2N). Для закритих пар тертя (підшипники ковзання, зубчасті колеса, коробки передач і т.д.) необхідне формування азотованого шару з розвинутою нітридною зоною, яка складається з малоазотистих пластичних нітридних фаз γ і γ' (Fe_3N і Fe_4N), які добре приробляються та локалізують пластичні деформації і перешкоджають розвитку процесу руйнування деталі.

Основний вклад в підвищення границі витривалості при знакозмінних навантаженнях має зона внутрішнього азотування (α -фаза). Для підвищення жароміцності також основне значення має зона внутрішнього азотування, але 2-го роду, тобто коли утворюються нітриди легуючих елементів TiN , ZrN і HfN [16].

У випадку експлуатації деталей в корозійних середовищах при підвищених температурах бажано отримувати дифузійні шари з поверхневою нітридною зоною. Володіючи високою корозійною стійкістю ϵ -фаза блокує транспорт атомів кисню в матрицю і перешкоджає дії ефекту адсорбційного пониження міцності (ефект Ребіндера) в статичних умовах і в умовах дії знакозмінних напружень [15, 16].

Подальші рентгеноструктурні дослідження фазових структурних складових іонно-азотованих шарів дозволять глибше зрозуміти механізми їх утворення, оцінити кількісний та якісний їх вплив на фізико-хімічні властивості азотованих поверхонь і, що найважливіше, змінювати ці властивості залежно від умов експлуатації деталей машин.

При БАТР в поверхневому шарі формуються залишкові напруження стиску [16, 18–20], які є однією з причин підвищення кавітаційно-ерозійної стійкості, корозійно-механічної зносостійкості азотованих поверхонь металів. Встановлено, що залишкові напруження досягають максимуму після 4 год азотування

[15]. Рентгеноструктурним аналізом також встановлено, що незалежно від складу газової атмосфери в поверхневих шарах усіх азотованих матеріалів утворюються ϵ (Fe₂₋₃N), γ' (Fe₄N) і α -фази (Fe₁₆N₂). Автори робіт [15, 16] стверджують про наявність на азотованій поверхні ξ -фази. Нітриди розміщуються на поверхні в порядку зростання вмісту азоту в фазах: $\xi \rightarrow \epsilon \rightarrow \gamma' \rightarrow \alpha$. Наявність на поверхні ξ -фази нами не виявлено.

Проведені дослідження показують, що фазовий склад і співвідношення фазових структур в азотованому шарі можна регулювати шляхом зміни параметрів БАТР: складу газової атмосфери в камері, тиску і температури.

Аналіз отриманих даних також показує, що найбільш суттєво впливає на кількість утворених тих чи інших фаз температура іонного азотування. Так, з її підвищенням зменшується кількість ϵ -фази і збільшується кількість γ' - і α -фаз. При цьому вміст азоту і тиск газової суміші не впливає на кількість α -фази, вміст якої контролюється лише температурою процесу азотування [15, 18]. Проведені нами дослідження вказують і на те, що товщина нітридної зони, загальна товщина дифузійного шару, мікротвердість поверхні, величина і характер розподілу напружень стиску контролюються, в основному, температурою процесу азотування. Вище сказано, що максимум внутрішніх напружень стиску знаходиться на віддалі 10...15 мкм від поверхні, тобто після проходження ξ - і ϵ -фаз. Ξ -фаза утворюється в результаті фазової перекристалізації при охолодженні в тих областях ϵ -фази, де концентрація азоту складає 11...11,35% по масі [16]. Ξ - і ϵ -фази містять велику кількість пор, стінки яких окиснені. Окиснення стінок пор проходить при охолодженні зразків на поверхні внаслідок того, що поверхневі об'єми ϵ -фази з'єднані з поверхнею каналами, які пропускають кисень повітря. Таким чином, у процесі зародження і розвитку фаз проходить релаксація залишкових напружень і їх зсув вглибину дифузійного шару (рис. 7). Наявність цих мікропор і мікротріщин сприяє інтенсивному корозійно-механічному зношуванню, особливо на початковому етапі циклічних навантажень при терті та кавітації. Отже, зменшення температури азотування призводить до збільшення максимуму залишкових внутрішніх напружень, що вказує на зменшення поверхневої мікропористості і до збільшення циклічної довговічності поверхні.

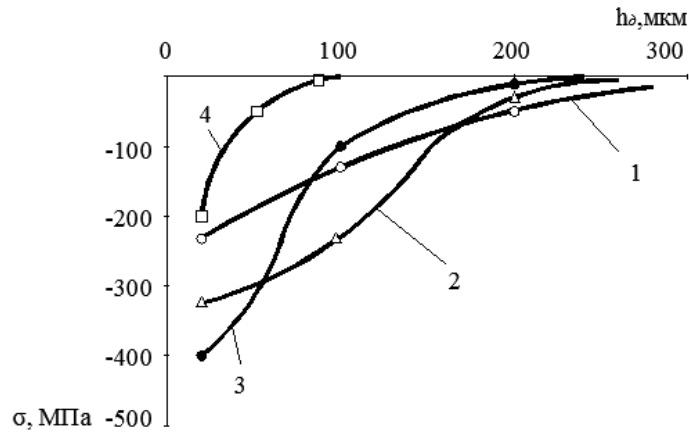


Рис. 7. Зміна залишкових напружень по товщині дифузійного шару іонно-азотованої поверхні сталі 40X залежно від температури азотування, °С: 1 – 600; 2 – 560; 3 – 520 при $\tau=6$ год і 4 – 600 при $\tau=4$ год

Випробовування на кавітаційно-ерозійну зносостійкість азотованих зразків в 3% розчині хлориду натрію показали, що зносостійкість зміцнених зразків майже в 9 разів вища порівняно з неазотованими (рис. 8а). Кавітаційно-ерозійна зносостійкість сталей 20 і 45 в цьому ж середовищі після азотування зросла в 4,7 і 5,3 разу, відповідно (рис. 8б). Останнє пояснюється підвищенням фізико-механічних корозійних та втомних характеристик азотованого шару поверхонь металів.

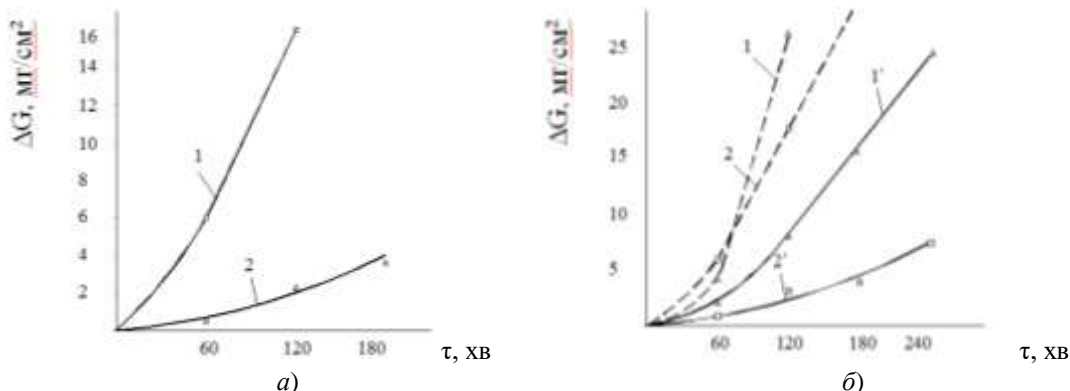


Рис. 8. а) Кавітаційно-ерозійна зносостійкість сірого чавуна СЧ20: 1 – до азотування і 2 – після азотування; б) сталей: 1 і 1' – сталь 20; 2 і 2' – сталь 45 відповідно до і після азотування в 3% розчині кухонної солі

Корозійна стійкість у першому наближенні може бути характеристикою кавітаційної зносостійкості металу в даному середовищі. Тому було проведено порівняльний аналіз електрохімічних параметрів азотованих і неазотованих поверхонь сталей 20 і 45 в 3% водному розчині кухонної солі. Так, аналіз поляризаційних кривих показує значне зниження швидкості протікання корозійних процесів на поверхнях азотованих зразків порівняно з неазотованими. На поляризаційних кривих (ПК) азотованих зразків у статиці і в динаміці (кавітації), є ділянки пасивного стану (рис. 9), а ПК не азотованих зразків ідуть набагато крутіше (анодна та катодна гілки ПК на рис. 9б крива 3), що вказує на більшу швидкість протікання анодних і катодних реакцій. Крім того, і в статиці, і при кавітації проходить зміщення рівноважного потенціалу в область більш додатних значень: від -570 мВ для сталі 45 в статиці до -390 мВ для цієї ж сталі після азотування.

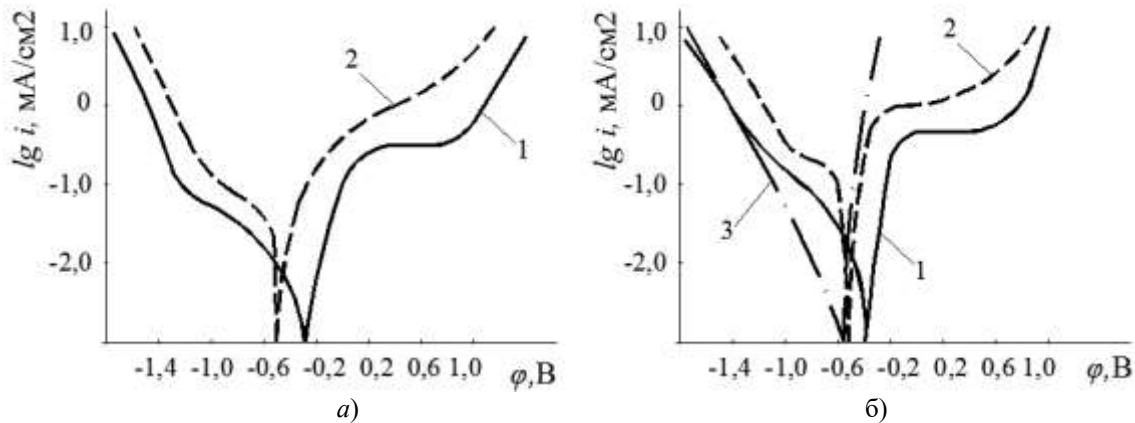


Рис. 9. Поляризаційні криві азотованих зразків сталі 20 (а) і сталі 45 (б) в 3% розчині NaCl : 1 – статика; 2 – кавітація; 3 – сталь 45, нормалізована в статиці

Зменшення швидкості протікання анодних і катодних реакцій і зсув рівноважного потенціалу в додатну область пояснюються утворенням на поверхні високоазотистої ϵ -фази, яка має високу корозійну стійкість. Електродний потенціал по товщині ϵ -фази практично не міняється, що обумовлено незначною зміною вмісту азоту в границях цієї фази [15]. Кількісно знайти міру підвищення корозійної стійкості азотованих зразків порівняно з неазотованими можна, порівнявши струми корозії за розробленою нами методикою їх знаходження. Так, струм корозії сталі 45 в 3% розчині NaCl в статиці дорівнює 0,008 мА, а для азотованої сталі 45 – 0,003 мА, що 2,67 рази менше. Отже, підвищення кавітаційно-ерозійної зносостійкості азотованих сталей обумовлено також підвищенням їх корозійної стійкості.

Таким чином, шляхом зміни технологічних режимів іонного азотування металів (температури, тиску і складу газової суміші) можна в широкому діапазоні змінювати властивості поверхневих азотованих шарів: фізико-механічні, корозійні, електрохімічні, а відтак і характеристики зносостійкості залежно від параметрів зовнішнього навантаження, його виду, характеристик робочого середовища і т. ін. При цьому найбільш відчутно на зміну усіх властивостей поверхневих азотованих шарів впливає температура азотування. З її зменшенням збільшується кількість ϵ -фази і збільшується корозійна стійкість, збільшується максимум внутрішніх залишкових напружень стиску, підвищується мало- і багатоциклова довговічність, мікротвердість поверхневого шару. Разом з тим, проведені розрахунки зміцнення конструкційних сталей за теорією Мотто і Набаро для когерентних виділень нітридів і за теорією Орована для некогерентних виділень показав, що існуючі технології іонного БАТР дозволяють теоретично досягнути значно вищого рівня зміцнення азотованих шарів.

Література

1. Богачев И.Н. Кавитационное разрушение и кавитационно-стойкие сплавы / И.Н. Богачев. – М. : Металлургия, 1972. – 192 с.
2. Новицкий А.Е. Повышение долговечности деталей оборудования молочной промышленности, подверженных коррозионно-механическому изнашиванию : автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. Наук : спец. «Машины и аппараты пищевой промышленности» / Новицкий А.Е. – К., 1984. – 20 с.
3. Прейс Г.А. О природе коррозионно-механического изнашивания металлов / Г.А. Прейс // Трение и износ. – Минск, 1987. – Т. 8. – С. 792–797.
4. Карелин В.Я. Износ лопастных гидравлических машин и насосов от кавитации / В.Я. Карелин. – М. : Машиностроение, 1970. – 184 с.
5. Эрозия / [под ред. К. Прис ; пер. с англ.]. – М. : Мир, 1982. – 464 с.
6. Эльпинер И.Е. Кавитация / И.Е. Эльпинер // Акустический журнал АН СССР. – 1969. – № 5. – С. 135–139.
7. Надежность и долговечность машин / [Костецкий Б.И., Носовский И.Г., Бершадский Л.И., Караулов А.К.]. – К. : Техніка, 1975. – 404 с.
8. Кнэпп Р. Кавитация / Кнэпп Р., Дэйли Дж., Хэммит Ф. ; [пер. с англ.]. – М. : Мир, 1974. – 687 с.

9. Томашов Н.Д. Коррозия и коррозионностойкие сплавы / Н.Д. Томашов, Г.П. Чернова. – М. : Металлургия, 1973. – 232 с. – (Сер. «Успехи современного металловедения»).
10. Прейс Г. Повышение износостойкости оборудования пищевой промышленности / Г.А. Прейс, Н.А. Сологуб, О.И. Некоз. – М. : Машиностроение, 1979. – 208 с.
11. Сухенко Ю.Г. Технологічні методи забезпечення довговічності обладнання харчової промисловості : монографія / Сухенко Ю.Г., Некоз О.І., Стечишин М.С. – К. : Елерон, 1993. – 108 с.
12. Погодаев Л.И. Износостойкость материалов и деталей машин при гидробразивном и кавитационном изнашивании : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : спец. “Машинні апарати харчової промисловості” / Погодаев Л.И. – М., 1979. – 46 с.
13. Погодаев Л.И. Структурно-энергетическая модель кавитационного изнашивания / Л.И. Погодаев, М.А. Боднарский, А.И. Некоз // Пробл. трения и изнашивания : Респ. межвед. науч.-техн. сб. – 1983. – Вып. 24. – С. 3–6.
14. Пат. 56019 UA, МПК G01N 29/04. Установка для кавітаційно-ерозійних випробувань полімерних матеріалів / Стечишин М.С., Мартинюк А.В. ; заявник Хмельницький національний університет. – № u 201004876 ; заявл. 23.04.2010 ; опубл. 27.12. 2010, Бюл. № 24, 2010.
15. Стечишин М.С. Довговічність деталей обладнання харчової промисловості при корозійно-механічному зношуванні : автореф. дис. на здобуття ступеня докт. техн. наук : спец. “Тертя та зношування в машинах” / М.С. Стечишин. – Хмельницький, 1998. – 32 с.
16. Теория и технология азотирования / Ю. М. Лахтин, Я. Д. Коган, Г. И. Шпис, З. Бёмер. – М. : Металлургия, 1991. – 320 с.
17. Некоз А.И. Влияние термодиффузионно-хромированных покрытий на кавитационно-эрозионную стойкость чугуна СЧ18 в растворе NaCl / А.И. Некоз, М.С. Стечишин, Н.А. Сологуб, А.Н. Кудрик // Пробл. трения и изнашивания : Респ. межвед. науч.-техн. сб. – К. : Техніка, 1985. – Вып. 27. – С. 43–48.
18. Каплун В.Г. Научные основы технологии упрочнения деталей машин и инструмента ионным азотированием в безводородных средах : автореф. дис. докт. техн. наук. / Каплун. В.Г. – К., 1991 – 40 с.
19. Пастух І.М. Фізико-технічна обробка поверхні металів безводневим азотуванням в тліючому розряді : автореф. дис. докт. техн. наук / Пастух. І.М. – 2008. – 40 с.
20. Пастух І.М. Теория и практика безводородного азотирования в тлеющем разряде / І.М. Пастух.– Харьков : ННЦ «Харьковский физико-технический институт», 2006. – 364 с.

References

1. Bogachev I.N. Kavitationnoe razrushenie i kavitationno-stojkie splavy / I.N. Bogachev. – М. : Metallurgiya, 1972. – 192 s.
2. Novickij A.E. Povyshenie dolgovechnosti detalej oborudovaniya molochnoj promyshlennosti, podverzhennyh korrozionno-mehaničeskomu iznashivaniyu : avtoref. dis. na soiskanie uchenoj stepeni kand. tehn. Nauk : spec. “Mashiny i apparaty pishevoj promyshlennosti” / Novickij A.E. – К., 1984. – 20 s.
3. Prejs G.A. O prirode korrozionno-mehaničeskogo iznashivaniya metallov / G.A. Prejs // Trenie i iznos. – Minsk, 1987. – Т. 8. – С. 792–797.
4. Karelin V.Ya. Iznos lopastnyh gidravličeskikh mashin i nasosov ot kavitacii / V.Ya. Karelin. – М. : Mashinostroenie, 1970. – 184 s.
5. Eroziya / [pod. red. K. Pris ; per. s angl.]. – М. : Mir, 1982. – 464 s.
6. Elpiner I.E. Kavitaciya / I.E. Elpiner // Akustičeskij zhurnal AN SSSR. – 1969. – № 5. – S. 135–139.
7. Nadezhnost i dolgovečnost mashin / [Kosteckij B.I., Nosovskij I.G., Bershadskij L.I., Karaulov A.K.]. – К. : Tehnika, 1975. – 404 s.
8. Knepp R. Kavitaciya / Knepp R., Dejli Dzh., Hemmit F. ; [per. s angl.]. – М. : Mir, 1974. – 687 s.
9. Tomashov N.D. Korroziya i korrozionnostojkie splavy / N.D. Tomashov, G.P. Chernova. – М. : Metallurgiya, 1973. – 232 s. – (Ser. «Uspehi sovremenogo metallovedeniya»).
10. Prejs G. Povyshenie iznosostojkosti oborudovaniya pishevoj promyshlennosti / G.A. Prejs, N.A. Sologub, O.I. Nekoz. – М. : Mashinostroenie, 1979. – 208 s.
11. Sukhenko Yu.H., Nekoz O.I., Stechishyn M.S. – К. : Eleron, 1993. – 108 s.
12. Pogodaev L.I. Iznosostojkost materialov i detalej mashin pri gidrobrazivnom i kavitacionnom iznashivanii : avtoref. dis. na zdobuttya nauk. stupenya d-ra tehn. nauk : spec. “Mashinni aparati harchovoyi promyslovosti” / Pogodaev L.I. – М., 1979. – 46 s.
13. Pogodaev L.I. Strukturno-energetičeskaya model kavitacionnogo iznashivaniya / L.I. Pogodaev, M.A. Bodnarskij, A.I. Nekoz // Probl. treniya i iznashivaniya : Resp. mezhved. nauch.-tehn. sb. – 1983. – Vyp. 24. – S. 3–6.
14. Pat. 56019 UA, МПК G01N 29/04. Ustanovka dlia kavitatsiino-eroziinykh vyprobuvan polimernykh materialiv / Stechishyn M.S., Martyniuk A.V. ; zaiavnyk Khmelnytskyi natsionalnyi universytet. – № u 201004876 ; zaiavl. 23.04.2010 ; opubl. 27.12. 2010, Biul. № 24, 2010.
15. Stechishyn M.S. Dovhovichnist detalei obladnannia kharchovoi promyslovosti pry koroziiino-mekhanichnomu znoshuvanni : avtoref. dys. na zdobuttia stupenya dokt. tekhn. nauk : spets. “Tertia ta znoshuvannia v mashynakh” / M.S. Stechishyn. – Khmelnytskyi, 1998. – 32 s.
16. Teoriya i tehnologiya azotirovaniya / Yu. M. Lahtin, Ya. D. Kogan, G. I. Shpis, Z. Byomer. – М. : Metallurgiya, 1991. – 320 s.
17. Nekoz A.I. Vliyanie termodiffuzionno-hromirovannyh pokrytij na kavitacionno-erozionnuyu stojkost chuguna SCh18 v rastvore NaCl / A.I. Nekoz, M.S. Stechishin, N.A. Sologub, A.N. Kudrik // Probl. treniya i iznashivaniya : Resp. mezhved. nauch.-tehn. sb. – К. : Tehnika, 1985. – Vyp. 27. – S. 43–48.
18. Kaplun V.G. Nauchnye osnovy tehnologii uprochneniya detalej mashin i instrumenta ionnym azotirovaniem v bezvodородnyh sredah : avtoref. dis. dok. tehn. nauk. / Kaplun. V.G. – К., 1991 – 40 s.
19. Pastukh I.M. Fizyko-tekhnična obrobka poverkhni metaliv bezvodnevym azotuvanniam v tliiuchomu rozriadi : avtoref. dys. dokt. tekhn. nauk / Pastukh. I.M. – 2008. – 40 s.
20. Pastuh I.M. Teoriya i praktika bezvodородnogo azotirovaniya v tleyushem razryade / I.M. Pastuh.–Harkov : NNC «Harkovskij fiziko-tehnicheskij institut», 2006. – 364 s.

Рецензія/Peer review : 25.1.2020 р.

Надрукована/Printed : 14.2.2020 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

Н.Ю. ТЕРЕЩЕНКО, О.Ю. КУРСЕНКО

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ

О.І. ХИЖАН, Л.О. КОВШУН

Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, Київ

КЕЙС-МЕТОД НАВЧАННЯ МЕТОДОЛОГІЇ ВИМІРЮВАННЯ ВМІСТУ КСЕНОБІОТИКІВ ХРОМАТОГРАФІЧНИМИ МЕТОДАМИ

В роботі створено та апробовано компоненти кейс-методу для навчання фахівців випробувальних лабораторій, котрі здійснюють вимірювання вмісту ксенобіотиків у продукції рослинництва за допомогою сучасних хроматографічних методів аналізу: високоефективної рідинної хроматографії з флуоресцентним детектором (ВЕРХ/ФЛД), з діодноматричним детектором (ВЕРХ/ДАД) та мас-спектрометром (ВЕРХ/МС/МС). За допомогою програмного пакету Microsoft Office та програми Cromleon 6.0 в роботі було створено компоненти інформаційної технології, що забезпечує учасникам навчання зручний доступ до необхідної інформації, візуалізує необхідні для здійснення вимірювання ксенобіотиків масиви даних.

Ключові слова: кейс-метод, навчання та адаптація співробітників, хроматографічні методи, ксенобіотики.

N.Y. TERESHCHENKO, O.Y. KURSENKO

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv

O.I. KHYZHAN, L.O. KOVSHUN

Bogomolets National Medical University, Kyiv

METHODOLOGY OF FORMATION OF ELECTRONIC LEARNING COURSE ON PHYSICAL AND COLLOID CHEMISTRY

This paper centers on the methodology and information technology components discussion. The purpose of this work is the development and implementation of case-methods in study methodology and information technology for chromatographic analysis process of xenobiotics in plant's products. Our technology are used at the laboratory for specialist's the new knowledge level and the positive opinion generating, forcing more motivate professionals of different levels to increasing their graduated and be more knowledgeable in the high performance liquid chromatography with fluorescence detector (HPLC/FDL) and diode array detector (HPLC/DAD). The information materials were developed by Microsoft Office software and Cromleon 6.0 at the laboratory, were compiled into a case and were studied that to improve lab performance and to provide remote control for chromatographs. The offered information tools allows to specialist master the standardized measure methods of crop production safety indicates or to see by themselves the ways for improving methodology of testing with Practical lessons with the actual case exercise last twice a week for a month. Head of department is using the information tools for specialists training, provides conditions for the implementation of professional independence and professional mobility for everybody, at certain stages interacts with each individually or with a group, observes the process and notes the strengths and weaknesses of the decisions, if necessary, encourages performers, avoiding critical remarks, because the result of the work of each one is quickly detected if there was insufficient motivation of a specialist in an effort to get a good result of work. Test samples were investigated and studied at laboratory with the information materials of analytical possibilities. First week of case-study by the information materials requires a significant concentration of performer on the theoretical part, study of typical situations illustrations. During the second week of the study, the performers deepen into the technical part of the work with the chromatographic system. They study the peculiarities of its work and seek the answers about typical challenges and non-standard situations that occurred at the department before and was documented and illustrated by the atlases created at the department. During the testing of the case, it was found that the practical part of the third week study, which contains the measurement of the xenobiotics contents, is more difficult for the participants to perform than the practical part of the work, performed on the second week when working with the chromatograph. This is due to the fact that the practical part on working with the chromatograph is provided with theoretical material and the participants successfully process it, and the practical part of the third week is always a new situation, for solving which it is necessary to mobilize not only theoretical knowledge, but also creative thinking. As a result of information technology components implementations participants gain knowledge and think over other research objects, compare results and improve computer skills and communication skills. We save time of carrying out of researches, accelerate training, facilitate performance of functional tasks and promote professionalization.

Keywords: case-method, information technology, plants products, xenobiotics, high performance liquid chromatography.

Вступ

Оновлення інструментарію сучасних лабораторій, а також розширення штату працівників лабораторії потребує постійного розвитку професійного рівня провідних фахівців лабораторії, які, окрім виконання своїх функціональних обов'язків, здатні передати специфічні знання новим співробітникам лабораторії, виконувати роль наставників, можуть залучатися до процесу адаптації та навчання нових співробітників лабораторії. Для організації вище зазначених процесів в лабораторії мають бути створені інструменти, або інформаційна технологія, що забезпечуватиме підґрунтя для ефективного здійснення навчання нових співробітників, а також дозволить здійснювати поточну виробничу діяльність.

Робота в лабораторії з вимірювання вмісту ксенобіотиків продукції рослинництва завдяки сучасним хроматографічним системам та комп'ютеризації надає можливості виконавцям досліджень застосовувати автоматизовані процеси підготовки проби і інтерактивного контролю за перебігом дослідження, що значно інтенсифікує процес отримання результату дослідження. Вимоги до фахівців відповідно до виробничих потреб постійно змінюються. Сучасна технічна база передбачає, що фахівець володіє глибокими фундаментальними знаннями аналітичної, неорганічної та органічної хімії, фізико-хімічних методів аналізу

хімічних речовин та їх сумішей, а також знає і вміє застосовувати сучасні спеціальні програми для керування роботою вимірювального і допоміжного обладнання, здатен виконувати розрахунки та здійснювати візуалізацію результатів дослідження за допомогою різних програм. Як правило, спеціаліст випробувальної лабораторії, котрий відповідає кваліфікаційним вимогам, знає та застосовує у діяльності відповідні норми виробництва, використовує устаткування лабораторії і дотримується правил його експлуатації, знає відповідні технічні регламенти, вимоги до сировини, матеріалів і готової продукції, ознайомлений та виконує чинні на виробництві стандарти, положення, інструкції та інші керівні документи, розробляє та атестує методи проведення лабораторного контролю, застосовує сучасні засоби обчислювальної техніки, комунікації та зв'язку, приймає участь у наукових заходах та презентує свої досягнення і ознайомлюється з досвідом передових вітчизняних і зарубіжних підприємств у аналогічній галузі виробництва [1–3]. Разом з цим під час роботи співробітники потребують освоєння нових навичок, специфічних для нового в їх професійній діяльності методу, або напрямку дослідження. Крім того, слід зазначити, що рутинна робота, здійснення професійної діяльності в рамках чіткого виконання посадових обов'язків, прописаних в інструкціях, методиках, стандартних операційних процедурах та інших документах, може сприяти зниженню рівня мотивації до професійного розвитку фахівця із значним стажем роботи на одному робочому місці, порівняно з тим рівнем мотивації, що був притаманний йому на початку його трудової діяльності, та звужувати коло його науково-пізнавального інтересу. Враховуючи те, що в сучасному швидкоплинному світі нових технологій та устаткування необхідна підтримка у спеціаліста рівня мотивації до здійснення власного професійного розвитку, формування вмінь отримувати нові знання та створювати унікальні підходи для ефективного виконання завдань, необхідним компонентом в рутинній діяльності стає інформаційна технологія, що допомагатиме в роботі як досвідченим фахівцям, так і новим співробітникам. Складовою інформаційної технології можуть стати тематичні кейси, розроблені за різними напрямками діяльності, що мають взаємозв'язок і враховують особливості застосування, оскільки саме кейси застосовують для того, щоб задіяти комунікативні та творчі здібності людини, навчити її здобувати знання та сформувати певні компетентності [4]. Рубрики кейсу мають бути пов'язані з проблемою ситуацією, яка буде розгортатися в роботі, або існує зараз, також потрібно створювати певні контрольні завдання, що надають можливість відслідковувати ефективність роботи фахівців, досліджувати і керувати роботою залучених до виконання завдань співробітників [5, 6].

Метою даної роботи є розробка та впровадження кейс-методу навчання та опрацювання новими співробітниками лабораторії методології виконання хроматографічного аналізу вмісту ксенобіотиків у продукції рослинництва.

В роботі розроблено та застосовано компоненти інформаційної технології для двох напрямків діяльності: навчання фахівців різного рангу та методичної допомоги співробітникам лабораторії при здійсненні випробувань продукції рослинництва на вміст ксенобіотиків згідно з новими методами лабораторного контролю. Запропоновані для опрацювання теми та розподіл годин наведено в таблиці 1. Матеріали, об'єднані у кейс, супроводжуються переліками вправ та питань для обговорення, навчальна рубрика кейсу укомплектована тестовими зразками, розробленими у дослідницькому підрозділі НУБіП України, довідникова рубрика містить бібліотеку даних і атласи. За допомогою програмного забезпечення при виконанні вправ кейсу створено можливість дистанційного використання довідникових баз даних хроматографів та можливість дистанційного керування процесом налаштування хроматографа, опрацювання результатів проведеного дослідження. Для літературного огляду фахівці використовують матеріали внутрішньої бібліотеки (наукові статті, монографії, керівні документи) [7–12].

Практична частина кейсу полягала у виконанні аналізу вмісту ксенобіотиків в зразках методом вискоєфективної рідинної хроматографії на хроматографах фірми Dionex, що укомплектовані різними типами детекторів. Вибір детекторів засновано на рекомендаціях стандартизованих, або розроблених в лабораторії методик виконання вимірювань (МВВ). Результати аналітичних сигналів, спектри аналітів опрацьовували за допомогою калібрувальних залежностей та баз даних, проілюстрованих в бібліотеці програми керування роботою хроматографічної системи Cromleon 6.0 та обрахованих і візуалізованих за допомогою програми Microsoft Excel. Виконання вправ навчального кейсу тривали двічі на тиждень протягом місяця.

За своїм призначенням навчальні кейси це завжди моделювання ситуації, і те рішення, що знайде учасник кейса, може служити як відбиттям рівня його компетентності і професіоналізму, так і реальним рішенням проблеми. В обох випадках це спонукатиме учасника до поглиблення своїх професійних знань. В таблиці 1 наведено 27 типових тем роботи та розподіл робочих годин учасників навчання та керівника підрозділу, що витрачаються ними для опрацювання завдань. Основні етапи виконання запропонованого методу, наведені в таблиці 1 ознайомлюють із типовим підходом апробованим при впровадженні інформаційної технології у відділі. Розроблений кейс містить наступні види діяльності: ознайомлення із вправами кейсу, виконання індивідуальної роботи і розробка варіантів індивідуальних рішень, дискусія за результатами теоретичної і практичної частини, виконання практичної складової вправ, отримання відповідей, самоаналіз отриманого результату, обговорення результатів та виявлення допущених фахівцями промахів та помилок, обговорення шляхів розвитку та узгодження індивідуальних рішень з виробничими задачами, підготовка до ревалідаційних досліджень. Застосування кейс методу в рамках робочого процесу стало можливим завдяки чіткому розподілу годин на певні види робіт, створенню алгоритмів дій та

подальшому контролю керівника підрозділу щодо дотримання затвердженого результату роботи за допомогою сучасних інформаційно-комунікаційних засобів. Такий підхід використовується провідними навчально-науковими установами та кафедрами [13, 14]. Оскільки у кейс-навчанні не даються конкретні відповіді, їх необхідно знаходити самостійно, це дозволяє фахівцю, спираючись на власний досвід, шляхом актуалізації певного комплексу знань, який необхідно пригадати та задіяти, або опрацювати та запам'ятати при вирішенні поставленої задачі (проблеми), в результаті роботи вийти за рамки рутинної роботи і сформулювати висновки, перевірити на практиці одержані знання та розв'язати поставлену задачу чи проблемну ситуацію. Слід зазначити, що успішність навчання в теоретичній частині кейсу перевіряється шляхом виконання вправ, що вибудовують план дій під час експериментальної частини. Правильні відповіді на поставлені у вправі запитання реалізуються під час другого тижня, виконавці заглиблюються у технічні особливості роботи вимірювального обладнання, отримують і аналізують результати роботи хроматографічної системи (рис. 1a,b,c).

Таблиця 1

Напрямки діяльності та розподіл робочих годин з кейсом на одного учасника навчання

№ п/п	Найменування напрямку діяльності	Кількість годин	
		учасник	керівник
1	Фізико-хімічні властивості досліджуваних ксенобіотиків (довідникова інформ.)	0.5	-
2	Робота з нормативною документацією	2	0.5
3	Аналіз і обговорення процесних параметрів	1	1
4	Ознайомлення з робочою методикою	0.5	-
5	Створення блок-схеми та підготовка до дослідження	2	0.5
6	Проведення тестового дослідження, встановлення рівня готовності	2	2
7	Підготовка тестового зразку за результатами першої частини підготовки	-	2
8	Регламентні роботи з хроматографом	0.5	-
9	Робота із файлами, атласом, бібліотекою даних	2	0.5
10	Обговорення результатів роботи з хроматографом	1	1
11	Аналіз особливостей умов випробувань при роботі із тестовим зразком	1.5	0.5
12	Робота з тестовим зразком контамінованої продукції, заповнення звіту	2	0.5
13	Аналіз результатів звіту	-	1
14	Обговорення результатів роботи, встановлення критичних точок процесу	2	2
15	Робота із картами Шухарта, аналіз роботи вимірювального обладнання	0.2	-
16	Робота з тестовими зразками	1.3	0.5
17	Аналіз отриманих даних	1	1
18	Варіювання умов роботи хроматографічної системи, дистанційна робота	1	1
19	Внутрішній контроль якості результатів хроматографічного аналізу	3	1
20	Самодіагностика, оцінка отриманого результату, формулювання висновку	0.5	-
21	Обговорення результатів	1	1
21	Візуалізація отриманих даних вмісту аналітів	0.5	-
22	Робота з матрицею досліджуваного продукту	1.5	1.5
23	Розрахунки кількості за допомогою різних програм	0.5	-
24	Заповнення відповідної документації	0.5	-
25	Оформлення протоколу навчання	0.5	-
26	Регламентні роботи із хроматографом	0.5	0.5
27	Підготовка до ревалідаційних досліджень робочої методики, написання та узгодження плану ревалідаційних досліджень	4	8
Разом за кейс з навчання		32	26

Як можна бачити з таблиці 1 перші теми заплановані для опрацювання у кейсі потребують значної зосередженості виконавця на теоретичній частині, вивченні нормативної документації і типових ситуацій, налаштування на виконання експериментальної роботи. Учасники навчання за допомогою створеного кейсу набувають навичок виконання робіт згідно методик дослідження, опрацьовують алгоритми пошуку відповіді як на типові виклики, так і на нестандартні ситуації, що мали місце у підрозділі, зафіксовані відповідною документацією, проілюстровані у створених атласах. Слід зазначити, що учасники із зацікавленістю поставилися до завдань із варіативною технічною компонентою, в результаті опрацювання розроблених виробничих ситуацій запропонували правильні алгоритми дій, виконали необхідні заходи, отримали результати і підтвердження їх якості. Успішне виконання дозволило перейти до завдань третього тижня навчання, а саме: хроматографічних досліджень вмісту ксенобіотиків у підготованих тестових зразках продукції рослинництва (рис. 2a, b).

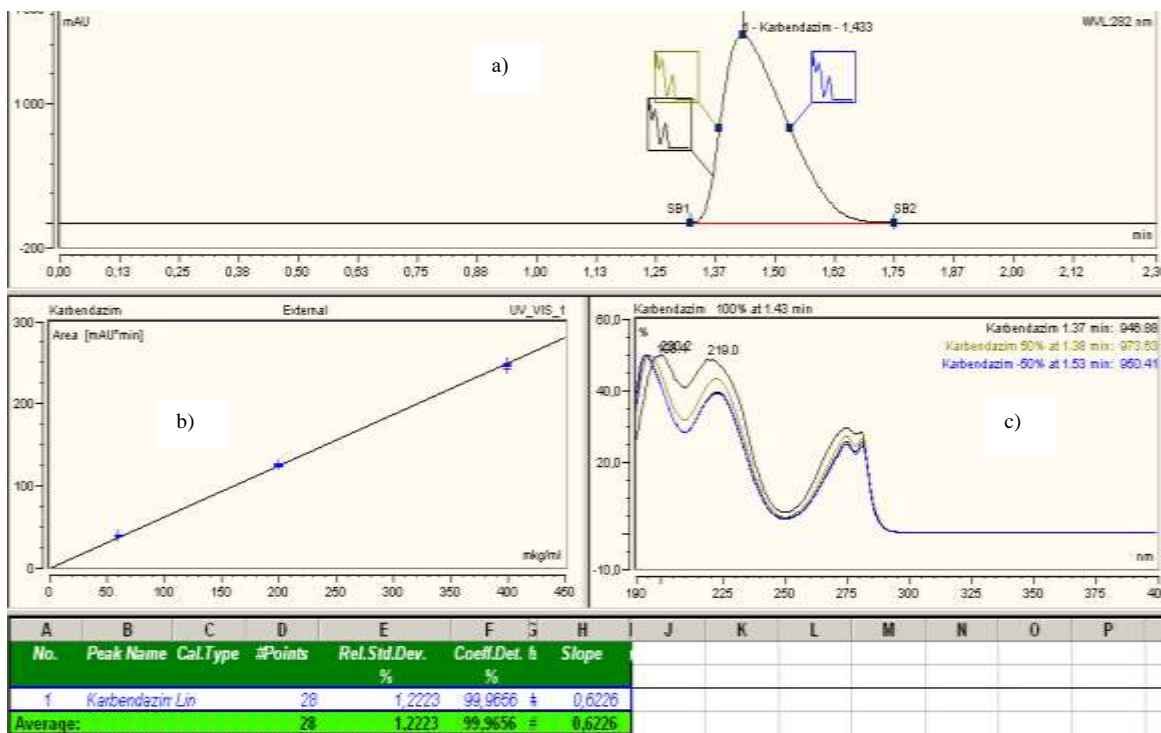


Рис. 1. Приклад експериментальних даних, отриманих у рамках виконання вправ кейсу:

- а) хроматограма рослинної витяжки, що містить ксенобіотик карбендазім;
 - б) калібрувальна залежність інтенсивності аналітичного сигналу карбендазіму від його концентрації в робочому розчині та метрологічні характеристики;
 - в) УФ-спектр карбендазіму, отриманий за результатами сигналу (піку на хроматограмі)
- Прилад: ВЕРХ/ДАД, Dionex 3000, Колонка MZ-Aqua Perfect C18 5 мкм, 100×4.0 мм

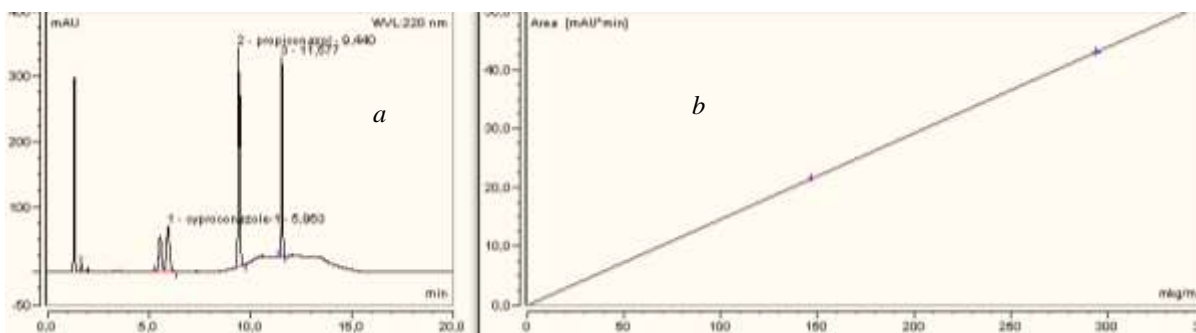


Рис. 2. Результати хроматографічного аналізу зразка продукції рослинництва:

- а) хроматограма рослинної витяжки, що містить ципроконазол та пропіконазол;
- б) калібрувальна залежність інтенсивності аналітичного сигналу внутрішнього стандарту від його концентрації в робочому розчині

Прилад: ВЕРХ/ДАД, Dionex 3000, Колонка MZ-Aqua Perfect C18 5 мкм, 100×4.0 мм

Під час виконання практичних вправ виконавці отримують ідентичні зразки, що дозволяє їм розвивати комунікативні навички під час роботи. Отриманий аналітичний сигнал пропіконазолу та ципроконазолу (рис. 2а) опрацьовано за допомогою отриманої виконавцем калібрувальної залежності (рис. 2б), проведено розрахунки контамінації зразка ксенобіотиками. Кожен виконавець має доступ до довідникової частини кейсу, доступ до довідникової частини кейсу зберігається у виконавця протягом певного періоду, що дозволяє учаснику навчання користуватися базою створених даних по завершенню циклу навчальних робіт та використовувати їх для перевірки результатів проведених ним випробувань. Це дозволяє учасникам за потреби самостійно перевірити результат здійсненої роботи і, у випадку отримання неякісного результату дослідження, проаналізувати її і зрозуміти допущені промахи. Керівник підрозділу забезпечує умови для реалізації професійної самостійності та професійної мобільності кожного виконавця, на певних етапах взаємодіє з кожним окремо для підготовки учасника навчання, або з групою, згідно узгодженого плану навчання та виконання поточної роботи спостерігає за процесом і відмічає сильні і слабкі сторони запропонованих виконавцем рішень. За результатом виконання кожної з розроблених, апробованих та затверджених у складі кейсу вправ, кожний учасник-виконавець формує навички виявлення допущених ним помилок, або встановлення необхідного до опрацювання теоретичної інформації. Згідно отриманих при анкетуванні учасників навчання даних, у учасників навчання розвивається мотивація щодо

подальшої професіоналізації, формується бажання отримувати належні результати роботи, здійснювати розвиток методології лабораторного контролю за опрацьованими напрямками роботи. Разом з тим, під час апробації кейсу було встановлено, що практична частина третього тижня навчання, що містить вимірювання вмісту ксенобіотиків, є складнішою для виконання учасниками, ніж матеріал опрацьований на другому тижні при роботі із хроматографом. Це пов'язано з тим, що робота з хроматографом забезпечена теоретичним матеріалом і учасники успішно його опрацьовують, а практична частина третього тижня – це завжди нова ситуація, для вирішення котрої необхідно мобілізувати не лише теоретичні знання, а і творче мислення, розвиток якого є значно складнішою задачею.

Учасники навчаються і опрацьовують результати хроматографічного аналізу, за допомогою програми Microsoft Excel. Кожен може створити власний перелік необхідних файлів із математичними формулами для розрахунків різних етапів роботи: для оцінки стадії підготовки проби, для процесу аналізу, для трансформування параметрів аналітичного сигналу, отриманих в умовних одиницях роботи системи детектування, у результат дослідження відповідний одиницям виміру зазначеним у нормативній документації.

Під час навчання учасники працюють з тестовими зразками і використовують набуті знання для дослідження невідомих зразків, що дозволяє їм розмірковувати над різними об'єктами дослідження, порівнювати результати та удосконалювати навички використання спеціалізованих комп'ютерних програм. В результаті учасники кейс-методу готуються до виконання ревалідаційних досліджень методик вимірювання вмісту ксенобіотиків у продукції рослинництва хроматографічними методами [15, 16]. Ревалідаційні дослідження проводяться спільно із розробниками методик, або провідними фахівцями підрозділу, що мають задовільні результати міжлабораторного контролю за цією методикою, або стаж задовільної роботи за відповідною методикою не менше одного року. Проведення навчання співробітників із використанням інформаційних компонент кейсу, у порівнянні з навчанням без кейсу [15], дозволяє скоротити час підготовки нового співробітника лабораторії, забезпечує фахівця, що опановує новий напрямок діяльності ґрунтовними знаннями та навичками та дозволяють впевнено виконувати науково-дослідницьку роботу у лабораторії.

Висновки

Таким чином, використання кейс-методу як компоненту методології навчання та передачі новим співробітникам лабораторії професійних знань і специфічної інформації дозволяє створити в лабораторії інформаційне середовище для опрацювання та ефективної реалізації положень методології вимірювання вмісту ксенобіотиків у продукції рослинництва. Застосування практичних завдань кейсу дозволяє учасникам використовувати набуті знання, підтримувати високий рівень мотивації, здійснювати професіональний розвиток, удосконалювати навички, заощаджувати робочий час та реактиви, необхідні для досліджень ксенобіотиків методом вискоєфективної рідинної хроматографії. Використання програмного пакету Microsoft Office та Cromleon 6.0 дозволяє скоротити час опрацювання результатів хроматографічного аналізу, створити інтерактивні сторінки з інформацією, що поліпшують виконання функціональних обов'язків фахівців та заощаджує час керівника підрозділу.

Література

1. Дерун Ю.А. Розрахунки параметрів гідрофобності ізомерів бензопірену для пошуку оптимальних умов вимірювання їх вмісту в атмосферній воді / Ю.А. Дерун // Хімічні проблеми сьогодення. – Арг. 2018. – С. 14.
2. Земцова О.В. Розробка методики контролю показників безпечності плодів томатів / О.В. Земцова, П.О. Кучма, Н.Ю. Терещенко, О.І. Хижан, Л.О. Ковшун // Міжнародна науково-практична конференція «Рослинництво ХХІ століття: виклики та інновації». – Київ, 2019. – С. 95–98.
3. Кухарук Е.В. Получение антиоксидантов и определение количества полифенолов в экстрактах некоторых отходов деревоперерабатывающей промышленности / Е.В. Кухарук, Т.А. Филиппенко, Н.Ю. Грибова // Хімічна технологія: наука та виробництво: збірник тез доповідей I Всеукраїнської науково-технічної конференції, Шостка, 7-9 листопада 2011 р. – Суми : СумДУ, 2011. – С. 47.
4. Harrison H. Case study research: foundations and methodological orientations / Helena Harrison, Melanie Birks, Richard Franklin & Jane Mills // Forum: Qualitative Social Research. – 2017. – V. 18, № 1. – P. 1–17.
5. Ovidiu-Iliuta Dobre. Employee motivation and organizational performance / Ovidiu-Iliuta Dobre // Review of Applied Socio - Economic Research. – 2013. – V. 5, № 1. – P. 53–60.
6. Ведерніков М.Д. Доцільність застосування зарубіжного досвіду мотивації персоналу на українських підприємствах / М.Д. Ведерніков, М.І. Зелена // Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки. – Хмельницький : ХНУ, 2013. – № 5. – С. 18–21.
7. Грибова Н.Ю. Влияние условий экстракции на антиоксидантные свойства извлеченных фитофенолов / Н.Ю. Грибова // Методы и объекты химического анализа. – 2012. – № 4. – С. 202–206.
8. Нестерова Л.О. Розробка методики контролю ізомерів поліциклічних ароматичних вуглеводнів в рослинних оліях / Л.О. Нестерова // Науковий вісник НУБіП України. Серія: Агрономія. – 2019. – № 286. – С. 311–319.

9. Грибова Н.Ю. Екстракція ксенобіотиків групи ПАВ з насіння соняшнику / Н.Ю. Грибова // Науковий вісник НУБіП України. Серія: Агрономія. – 2019. – № 294. – С. 209–218.
10. Grybova N. Y. et al. Determination of Polycyclic Carbohydrates in Atmospheric Water by the Method of Chromatography / N. Y. Grybova // Journal of Water Chemistry and Technology. – 2018. – Т. 40. – № 5. – S. 297–301.
11. Філіпенко Т.А. Особливості кінетики окиснення ріпакової олії та антиоксидантної дії в ній фенолів / Т.А. Філіпенко, Н.Ю. Грибова // Харчова промисловість. – 2013. – № 14. – С. 42–46.
12. Ушкалов В.О. Біологічна безпека: результати моніторингу агроресурсів, продукції АПК та харчових продуктів за 2014–2016 роки / В.О. Ушкалов, В.В. Данчук, О.П. Самкова // Ветеринарна медицина: Міжвідомчий тематичний науковий збірник. – 2017. – № 103. – С. 88–92.
13. Говорущенко Т.О. Інформаційна технологія підтримки планування роботи викладача та кафедри закладу вищої освіти / Т.О. Говорущенко, В.М. Стецюк, І.Ю. Лопатто // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький : ХНУ, 2018. – № 6. – С. 98–104.
14. Мельник Г.М. Інформаційна технологія опрацювання гістологічних зображень / Г. М. Мельник // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький : ХНУ, 2012. – № 5. – С. 154–160.
15. Грибова Н.Ю. Інтерактивні методи навчання та ревалідаційні дослідження методик виконання вимірювань ксенобіотиків / Н.Ю. Грибова, А.І. Малишевська, О.Ю. Курсенко, О.І. Хижан, Л.О. Ковшун // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький : ХНУ, 2019. – № 3. – С. 77–81.
16. Грибова Н.Ю. Методологія підготовки проб в контролі вмісту ксенобіотиків / Н.Ю. Грибова, О.Ю. Курсенко, О.І. Хижан, Л.О. Ковшун // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький : ХНУ, 2019. – № 4. – С. 216–220.

References

1. Derun Yu.A. Rozrakhunky parametriv hidrofobnosti izomeriv benzopirenu dlia poshuku optymalnykh umov vymiriuvannya yikh vmistu v atmosferній vodi / Yu.A. Derun // Khimichni problemy sohodennia. – apr. 2018. – S. 14.
2. Zemtsova O.V. Rozrobka metodyky kontroliu pokaznykiv bezpechnosti plodiv tomativ / O.V. Zemtsova, P.O. Kuchma, N.Iu. Tereshchenko, O.I. Khyzhan, L.O. Kovshun // Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia «Roslynnystvo XXI stolittia: vyklyky ta innovatsii». – Kyiv, 2019. – S. 95–98.
3. Kuharuk E.V. Poluchenie antioksidantov i opredelenie kolichestva polifenolov v ekstraktah nekotorykh othodov derevopererabatyvayushej promyshlennosti / E.V. Kuharuk, T.A. Filippenko, N.Yu. Gribova // Khimichna tekhnolohiia: nauka ta vyrobnytstvo : zbirnyk tez dopovidei I Vseukrainskoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii, Shostka, 7–9 lystopada 2011 r. – Sumy : SumDU, 2011. – S. 47.
4. Harrisson H. Case study research: foundations and methodological orientations / Helena Harrison, Melanie Birks, Richard Franklin & Jane Mills // Forum: Qualitative Social Research. – 2017. – V. 18, № 1. – P. 1–17.
5. Ovidiu-Iliuta Dobre. Employee motivation and organizational performance / Ovidiu-Iliuta Dobre // Review of Applied Socio-Economic Research. – 2013. – V. 5, № 1. – R. 53–60.
6. Vedernikov M.D. Dotsilnist zastosuvannya zarubizhnogo dosvidu motyvatsii personalu na ukrainskykh pidpriemstvakh / M.D. Vedernikov, M.I. Zelena // Herald of Khmelnytskyi National University. – Khmelnytskyi : KhNU, 2013. – № 5. – S. 18–21.
7. Gribova N.Yu. Vliyanie uslovij ekstrakcii na antioksidantnye svoystva izvlechennykh fitofenolov / N.Yu. Gribova // Metody i obekty himicheskogo analiza. – 2012. – № 4. – S. 202–206.
8. Nesterova L.O. Rozrobka metodyky kontroliu izomeriv politsyklichnykh aromatychnykh vuhlevodniv v roslynykh oliiakh / L.O. Nesterova // Naukovyi visnyk NUBiP Ukrainy. Serii: Ahronomiia. – 2019. – № 286. – S. 311–319.
9. Hrybova N.Iu. Ekstraktsiia ksenobiotykyk hrupy PAV z nasinnia soniashnyku / N.Iu. Hrybova // Naukovyi visnyk NUBiP Ukrainy. Serii: Ahronomiia. – 2019. – № 294. – S. 209–218.
10. Grybova N.Y. et al. Determination of Polycyclic Carbohydrates in Atmospheric Water by the Method of Chromatography / N.Y. Grybova // Journal of Water Chemistry and Technology. – 2018. – Т. 40. – № 5. – S. 297–301.
11. Filipenko T.A. Osoblyvosti kinetyky oksynennia ripakavoi olii ta antyoksydantnoi dii v nii fenoliv / T.A. Filipenko, N.Iu. Hrybova // Kharchova promyslovist. – 2013. – № 14. – S. 42–46.
12. Ushkalov V.O. Biolohichna bezpeka: rezultaty monitorynhu ahroresursiv, produktsii APK ta kharchovykh produktiv za 2014–2016 roky / V.O. Ushkalov, V.V. Danchuk, O.P. Samkova // Veterynarna medytsyna : mizhvidomchy tematychny naukovy zbirnyk. – 2017. – № 103. – S. 88–92.
13. Hovorushchenko T.O. Informatsiina tekhnolohiia pidtrymky planuvannya roboty vykladacha ta kafedry zakladu vyshchoi osvity / T.O. Hovorushchenko, V.M. Stetsiuk, I.Iu. Lopatto // Herald of Khmelnytskyi National University. – Khmelnytskyi : KhNU, 2018. – № 6. – S. 98–104.
14. Melnyk H.M. Informatsiina tekhnolohiia opratsiuvannya histolohichnykh zobrazhen / H.M. Melnyk // Herald of Khmelnytskyi National University. – Khmelnytskyi : KhNU, 2012. – № 5. – S. 154–160.
15. Hrybova N.Iu. Interaktyvni metody navchannia ta revalidatsiini doslidzhennia metodyk vykonannia vymiriuvan ksenobiotykyk / N.Iu. Hrybova, A.I. Malyshevska, O.Iu. Kursenko, O.I. Khyzhan, L.O. Kovshun // Herald of Khmelnytskyi National University. – Khmelnytskyi : KhNU, 2019. – № 3. – S. 77–81.
16. Hrybova N.Iu. Metodolohiia pidhotovky prob v kontroli vmistu ksenobiotykyk / N.Iu. Hrybova, O.Iu. Kursenko, O.I. Khyzhan, L.O. Kovshun // Herald of Khmelnytskyi National University. – Khmelnytskyi : KhNU, 2019. – № 4. – S. 216–220.

Рецензія/Peer review : 30.09.2019 р.

Надрукована/Printed : 14.2.2020 р.
Рецензент: д.х.н., проф. Максим В.І.

Ю.В. ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ
О.В. ОГНЄВИЙ

Хмельницький національний університет

ПРОГНОЗУВАННЯ РИЗИКІВ ЗАВАДОСТІЙКОЇ ПЕРЕДАЧІ ТА ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

В роботі запропоновано актуальний метод та інструментарій для раннього виявлення та прогнозування ризиків завадостійкої передачі, захист інформації в телекомунікаційних системах. У процесі роботи телекомунікаційних систем якість передачі інформації може суттєво вплинути на пропускну здатність окремих потоків передачі даних чи цілих доменів. Прогнозування ризиків потоком передачі здійснюється за критерієм якості обслуговування та рівномірного завантаження мережевих ресурсів. Підвищення якості обслуговування, захист та функціонування системи здійснюється із врахуванням класифікації потоку передачі, що досить обмежує можливість управління телекомунікаційної системи. Засоби контролю за процесом передачі окремих потоків передачі даних відсутні, а тому система не зможе гарантувати необхідний рівень управління. Дослідження надасть можливість користувачам отримувати послуги із необхідною якістю, достовірністю та дозволить подолати виникаючі проблеми завадостійкої передачі інформації.

Ключові слова: прогнозування ризиків, завадостійка передача інформації, захист інформації, мережевий потік, інформаційна безпека.

YU.V. KHMELNYTSKYI

O.V. OGNJEVYJ

Khmelnytskyi National University

DETERMINING RISKS OF PROFITABLE TRANSMISSION AND INFORMATION PROTECTION IN TELECOMMUNICATION SYSTEMS

The paper proposes an up-to-date method and toolkit for early detection and forecasting of the risks of interference transmission, protection of information in telecommunication systems. In telecommunication systems, the quality of information transmission can significantly affect the bandwidth of individual data streams or entire domains. Transmission flow risk prediction is based on the criterion of quality of service and uniform load of network resources. Improving the quality of service, protection and operation of the system is carried out taking into account the classification of the transmission stream, which sufficiently limits the ability to control the telecommunications system. Most models of such networks do not take into account the characteristics of multiservice data flow, which leads to poor quality of service and increase the likelihood of blocking transmission channels. The lack of ability to differentiate the data flows of individual clients of the telecommunication system and the ability to take into account their quality requirements, leads to low efficiency of the routing channel, suboptimal distribution of system load, poor quality of service of high priority data streams. The application of new models and algorithms to ensure the functioning of the telecommunications system will allow the transmission of information streams, differentiating them by the sensitivity to mix the order of packet transmission and disconnect. There are no controls on the transmission process of individual data streams, and therefore the system will not be able to guarantee the required level of control. The research will allow users to receive services with the necessary quality, reliability and will help to overcome the emerging problems of interfering information transmission.

Key words: risk forecasting, noise transfer, information security, network flow, information security.

Вступ

Практично всі сучасні телекомунікаційні системи визначаються значною кількістю параметрів, функціональними можливостями, вимогами до забезпечення захисту інформації, високою надійністю, точністю, вірогідністю, розгалуженою інфраструктурою. Для якісної та надійної передачі даних у телекомунікаційних системах задача забезпечення завадостійкості та захисту інформації є однією із головних задач. Система має бути запроектована та експлуатуватись так, щоб у разі наявності завад вона забезпечила задану якість передавання інформаційних сигналів. Практично всі розрахунки впливу завад на передавання сигналів та розробка способів зменшення цього впливу є основними задачами, що розв'язуються під час проектування завадостійкості телекомунікаційних систем. Під завадостійкістю каналу передачі інформації тут розуміють здатність системи розрізняти та відновлювати сигнали із заданою достовірністю за наявності зовнішніх та внутрішніх завад. В ряді витоків визначення поняття завадостійкості – це здатність системи протистояти шкідливій дії завад, хоча воно більше наближається до розуміння фізичної суті завадостійкості; тут мається на увазі не просто стійкість системи передачі до завад, а її спроможність правильно функціонувати за їх наявності. Завдання визначення завадостійкості усієї телекомунікаційної системи досить складне, тому досить часто визначають завадостійкість окремих ланок системи, наприклад приймача, перетворювача для заданих способів передачі, системи кодування, модуляції. Тому завадостійкість телекомунікаційної системи залежить від виду повідомлень, рівня та характеристик завад, параметрів окремих складових частин систем [1]. В умовах динамічних завад збільшується ймовірність помилки, стає неможливим забезпечення заданого рівня надійності та вірогідності інформації за допомогою простого використання відомих методів кодування. Маючи ж необхідну надійність та завадостійкість, телекомунікаційні системи можуть забезпечити задану стабільність, захист інформації та безперервність управління.

Постановка задачі

У результаті проведеного дослідження відмічено, що з погляду забезпечення заданого рівня вимог до завадостійкості, надійності та вірогідності каналів зв'язку як процесу доставки потоків інформації. В процесі функціонування на телекомунікаційні системи впливають різні фактори, що порушують нормальну роботу. Ці фактори призводять до порушення роботи каналів передачі, фізичного виходу з ладу елементів телекомунікаційної системи, інших негативних наслідків, в результаті чого вони переходить до стану, за якого не може забезпечувати процес доставки усієї необхідної інформації. Таким чином, сучасна система повинна мати здатність протистояти впливам, які порушують її роботу, що забезпечується стійкістю її роботи. Реальна завадостійкість – це завадостійкість телекомунікаційної системи чи окремих її вузлів із урахуванням реального виконання та настройки окремих блоків каналу передачі інформації. Теоретично та технологічно не всі блоки каналу передачі інформації можна виготовити ідеальними із заздалегідь визначеними параметрами. Тому зробимо висновок, що тільки у разі забезпечення усіх властивостей, телекомунікаційна система може виконувати своє функціональне призначення – забезпечувати доставку всієї інформації у необхідному обсязі, з заданою якістю та вірогідністю. Дослідження та аналіз існуючого стану та методів забезпечення завадостійкої доставки інформації телекомунікаційних систем передачі показав, що перспективним напрямком вирішення проблеми забезпечення вірогідності інформації в умовах значної невизначеності та завад є застосування необхідних видів кодування та багаторівневої структурної та параметричної адаптації із врахуванням розкриття невизначеності. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити проблему, яка полягає у забезпеченні завадостійкої передачі інформації в умовах невизначеності за рахунок відомих методів, що використовують послідовність процесів багаторівневої адаптації та додаткових показників розкриття невизначеності при впливі різних завад та перешкод передачі.

Основна частина

В ході дослідження та розгляду методів і засобів забезпечення завадостійкої передачі та захисту інформації в телекомунікаційних системах необхідно зауважити, що в широкому розумінні являє собою передача різного роду повідомлень із декількох пунктів у ряд пунктів. В технологіях та засобах передачі і захисту інформації семантична особливість повідомлень не враховується, тому задачею системи передачі інформації в телекомунікаційній системі є лише транспортування даних у визначене місце, так як оцінка змісту отриманих повідомлень це справа самого одержувача інформації. Теорія і техніка передачі інформації в телекомунікаційних системах складалися протягом багатьох років і на сьогодні продовжують швидко і якісно розвиватися. Особливе місце канали передачі інформації займають у сучасних системах управління, в яких необхідно забезпечувати передачу досить великих обсягів потоків інформації із високою швидкістю, достовірністю та надійністю. В процесі функціонування на телекомунікаційні системи впливають багато різних факторів, що порушують нормальну роботу каналу передачі інформації. Ці фактори призводять до порушення роботи каналів передачі, фізичного виходу із ладу елементів та компонентів телекомунікаційних систем, інших негативних наслідків. Саму основу теорії потенційної завадостійкості розробив ще у 1946 р. академік В.О. Котельников [1]. У ній вирішуються такі три основні задачі передачі інформації:

- синтез оптимального приймача, тобто знаходження правила його роботи та структурної схеми, що забезпечують найкращу якість приймання інформації;
- аналіз роботи оптимального приймача – обчислення якості приймання сигналів, яка забезпечується цим приймачем потоків інформації;
- порівняння потенційної та реальної завадостійкості такої системи передачі інформації.

У дослідженні для практичного використання порівняння завадостійкості має особливе значення. Адже порівнювати реальну завадостійкість різних систем, схем, пристроїв, методів оброблення, видів модуляції не має ніякого сенсу. Таких схем та методів існують досить багато та зростання їх числа триває, а мала завадостійкість якоїсь системи чи схеми ще не означає, що вона є невдала чи неякісна. За таких завад кращої якості вже неможливо досягти. Тому порівняння реальної та потенційної завадостійкості системи дає можливість оцінювати якість реальної телекомунікаційної системи та знайти ще не використані резерви. Якщо ж знати потенційну завадостійкість приймача каналу передачі інформації, можна завжди оцінити, наскільки близька до неї реальна завадостійкість існуючих способів приймання та наскільки доцільне їх подальше удосконалення для заданого методу передавання по каналах передачі інформації. Знання про потенційну завадостійкість за різних методів передавання потоків інформації дають змогу порівнювати ці методи між собою та знайти, які з них у цьому відношенні є найбільш оптимальними. Розглянемо у дослідженні кількісну міру завадостійкості. Для теоретичних розрахунків як потенційної, так і реальної завадостійкості застосовуються прямі методи оцінки якості передачі інформації. У разі передавання дискретних первинних сигналів для обчислень використовують ймовірність помилки. Розглянемо деякі принципи та засоби побудови систем передачі інформації по каналам із шумами та перешкодами. У загальному випадку [2] структурна схема системи передачі інформації із завадами складається із джерела та одержувача повідомлень, перетворювачів повідомлення в сигнал та сигналу в повідомлення, каналу зв'язку. Джерелом повідомлень та одержувачем в одних системах зв'язку може бути людина, в інших різного роду пристрої – автомат, комп'ютер тощо. Перетворення повідомлення у сигнал повинне бути оборотним.

В цьому випадку по вихідному сигналу можна відновити вхідний первинний сигнал, тобто одержати усю інформацію, що є в переданому повідомленні. В протилежному випадку деяка частина

інформації буде загублена при передачі потоку. При передачі потоків інформації каналний сигнал може спотворюватися та на нього можуть накладатися завади. Приймальний пристрій обробляє прийняте коливання, яке є сумою переключеного сигналу та завади, відновлює по ньому повідомлення, що із деякою похибкою відображає передане повідомлення. Тобто приймач повинен на основі аналізу коливання визначити, яке із можливих повідомлень передавалося.

Тому прийомний пристрій є одним із найбільш відповідальних та складних елементів системи передачі інформації в телекомунікаційних системах. Впровадження високоефективних комп'ютерних систем привело до необхідності швидкого розвитку нових систем передачі потоків даних, що забезпечують обмін інформацією між обчислювальними пристроями і засобами та об'єктами автоматизованих систем керування. Такий вид відрізняється більше високими вимогами до швидкості та вірності передачі потоків інформації. Розглянемо узагальнену схему системи передачі потоків інформації в системі [3]. Приймавши необхідне повідомлення від джерела повідомлень, кодер генерує та видає на модулятор вхідну двійкову послідовність із визначеною довжиною – кодове слово.

Модулятор перетворює кожен символ на один із двох сигналів, що подаються на вхід каналу передачі потоків інформації у телекомунікаційній системі. Демодулятор, який підключений до виходу каналу передачі інформації, видає необхідний сигнал. Детектор обробляє сигнал та видає елемент інформації, який у двійковому випадку являє собою дійсний скаляр. Декодер перетворює послідовність у розв'язок задачі кодування, що вказує, яке із усієї сукупності кодових слів було передано. Під каналом передачі інформації у даному випадку мається на увазі середовище, за допомогою якого здійснюється передача сигналів від передавача до приймача [4].

Одноразове використання каналу передачі інформації полягає у тому, що передавач певним чином впливає на канал передачі, а приймач спостерігає деякі характеристики каналу, що відображають цей вплив. Якщо ж канал передачі інформації дискретний, то для передавача існує кінцеве число впливів, які називаються вхідними сигналами [5]. Приймач розрізняє тільки визначене число класів результатів спостереження, що називаються загалом вихідними сигналами. Тут співвідношення між вхідними та вихідними сигналами у загальному випадку має імовірнісний характер. Канал визначається встановленням умовних ймовірностей для кожної вхідної та вихідної послідовності. Дослідивши основні взаємовпливи перешкод на основні елементи передачі інформації телекомунікаційної системи із позиції теорії імовірності, можливо оцінити коефіцієнти за «технічною надійністю» основних компонентів та елементів телекомунікаційної системи за допомогою відомого співвідношення. Ступінь очікуваних ризиків функціонування телекомунікаційної системи можна подати як добуток імовірності небажаних наслідків на відповідну величину втрат аналогічно як у працях [6]:

$$R = \sum_{i=1}^n R_i = \sum_{i=1}^n p_i \cdot Z_i \quad (1)$$

де R – величина ризику;

p_i – ймовірності небажаних впливів каналу передачі інформації;

Z_i – величини втрат каналу передачі.

Для оцінювання ризику якості функціонування телекомунікаційної системи також використовують величину середньозваженого модуля відхилення ΔZ (тут $n=12$):

$$\Delta Z = \sum_{i=1}^n p_i \cdot (Z_i - \bar{Z}) \quad \bar{Z} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i \quad (2)$$

Також визначають середньоквадратичне відхилення [6]:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n p_i \cdot (Z_i - \bar{Z})^2} \quad (3)$$

Якщо ж взяти до уваги негативні відхилення від запланованих параметрів від параметра \bar{Z} , то ступінь ризику якості функціонування та захисту інформації телекомунікаційної системи оцінюється показником варіації S_Z і його значення визначається з допомогою співвідношення:

$$S_Z = \sqrt{\sum_{i=1}^n p_i \cdot (Z_i - \bar{Z})^2 \cdot I_{vi} / \sum_{i=1}^n p_i \cdot I_{vi}} \quad (4)$$

де $I_{vi} = \{I_{vi}\}$ – індикатор несприятливих відхилень якості роботи телекомунікаційної системи, якому відповідають:

0, для сприятливого відхилення $I_{vi} = 0$,

1, для несприятливого відхилення $I_{vi} = 1$.

Показником оцінювання ризику передачі невірогідної інформації в телекомунікаційних системах може бути також коефіцієнт можливих втрат каналу передачі, який враховує обсяг втрат по відношенню до суми абсолютних значень ймовірних втрат в завадостійких системах [7]:

$$K_Z = M_{ZV} / (M_{ZV} + M_{ZP}) \quad (5)$$

де M_{ZV}, M_{ZP} – відповідно ймовірні величини сприятливих та несприятливих відхилень відносно значень показників θ_v, θ_p при розгляді запланованих рівнів втрат при передачі інформації Z і позитивних результатів.

Якщо ж розглядати завадостійкість телекомунікаційної системи як здатність системи протидіяти завадам, для цього треба знати, чим протидіяти і на що протидіяти, тобто для боротьби із завадами потрібні апріорні відомості про властивості носія потоків інформації та про самі завади. До таких властивостей можливо віднести [8]:

- величина струму та напруги вхідного сигналу та завади в каналі передачі телекомунікаційної системи;
- середні потужності сигналу та завади в системі;
- вид та структура переносника інформації в телекомунікаційній системі;
- закон розподілу сигналу передачі тощо.

Дослідження та аналіз показує, що знаючи всі властивості сигналу та завади, можна встановити певні відмінності між ними і використати їх для розроблення способів, засобів та методів забезпечення завадостійкості телекомунікаційної системи. Всі способи завадостійкості ведуть до часової та апаратної надмірності як із боку джерела інформації, так і з боку адресата передачі інформації. Одна група способів підвищення завадостійкості базується на виборі методу передачі інформації в системі. Друга група способів пов'язана із побудовою завадостійких приймачів. Способи підвищення завадостійкості у телекомунікаційній системі - методи оптимального приймання сигналів, заглушення завад у місцях їх виникнення, використання спеціальних кодів передачі, використання в системах передачі інформації каналу зворотного зв'язку, багаторазового повторення інформації, що передається, збільшення спів відношення сигнал та завада, компенсація сигналу завади, раціональний вибір найкращого виду оптимальної модуляції сигналів, екранування системи чи її окремих елементів.

Як актуальний метод та інструментарій для раннього виявлення та прогнозування ризиків завадостійкої передачі, захисту інформації в телекомунікаційних системах можливо застосовування засобів підвищення завадостійкості завдяки збільшенню відношення сигнал та завада за рахунок збільшення потужності передавача. Хоча цей метод, може виявитись економічно некоректним, оскільки він пов'язаний із значним збільшенням складності та вартості обладнання телекомунікаційної системи. Ще одним із методів та засобів підвищення завадостійкості передачі інформації є шлях використання неперервних сигналів та раціональний вибір виду модуляції сигналів. Різні види модуляції мають неоднакову завадостійкість. Застосовуючи різні види модуляції, які забезпечують значне розширення смуги частот сигналу, можна досягти істотного підвищення завадостійкості передачі інформації в телекомунікаційній системі. Також методом та способом підвищення завадостійкості дискретних систем є використання спеціального кодування інформації – використання завадостійких кодів. Підвищення завадостійкості передачі та оброблення інформації може бути досягнуто шляхом багаторазового повторення передачі інформації. Різновидом телекомунікаційних систем, в яких підвищення завадостійкості досягається за рахунок збільшення часу передачі, є системи із зворотним зв'язком. Завадостійке ж приймання інформації полягає у використанні надмірності отриманої інформації, апріорних відомостей про сигнали та завади.

Розгляд таких методів, способів та засобів забезпечення завадостійкої передачі інформації в телекомунікаційних системах показав, що завдання оптимального прийому полягає у використанні властивостей корисного сигналу, завади та каналу передачі для збільшення ймовірності правильного прийому. Для збільшення ймовірності правильного прийому потоків інформації має бути проведене попереднє оброблення прийнятого сигналу, яке забезпечує збільшення відношення сигнал та завада. Метод же накопичення застосовується у тому випадку, коли корисний сигнал протягом часу прийому є постійним та являє собою періодичну функцію. Він полягає у багаторазовому повторенні сигналу та підсумовуванні окремих його реалізацій в приймальному пристрої телекомунікаційної системи. Величину відношення сигнал та завада можна підвищити, якщо використати різницю між кореляційними функціями сигналу та завади. Цей метод є ефективним у випадку застосування в системах передачі періодичних та квазіперіодичних сигналів.

Висновки

На основі досліджень та аналізу методів та засобів забезпечення завадостійкої передачі інформації в телекомунікаційних системах можливо зробити висновок, що завдання прогнозування ризиків завадостійкої передачі, оптимального та якісного прийому і захисту інформації полягає у використанні властивостей корисного сигналу, завади та каналу передачі інформації для збільшення ймовірності правильного прийому. Для збільшення ймовірності правильного прийому має бути проведене попереднє оброблення прийнятого сигналу, яке забезпечує збільшення спів відношення сигнал та завада. Канали передачі інформації, що застосовують технології, які дозволяють у режимі реального часу гарантувати якісну, надійну та вірогідну передачу інформації в умовах впливу завад, краще забезпечують заданих значень показників вірогідної передачі інформації здійснюється за рахунок використання необхідного кодування. Знаючи властивості сигналу та завади, можна встановити певні відмінності між ними та використати їх для розроблення способів, засобів та методів забезпечення завадостійкої передачі. На відміну від спотворень завади носять випадковий характер та заздалегідь невідомі і тому не можуть бути повністю усунені. Таким чином, можна зробити висновок про те, що знання методів та засобів побудови сучасних каналів передачі

телекомунікаційних систем в умовах дії завад, дозволить будувати надійні канали передачі інформації.

Література

1. Бабич В.Д. Завадостійкість каналів зв'язку : навч. посібник / В.Д. Бабич, О.Д. Кувшинов, О.П. Лежнюк, С.П. Лівенцев. – К. : КВІУЗ, 2001. – 150 с.
2. Казимир В.В. Інформаційні основи побудови телекомунікаційних мереж / В.В. Казимир, В.В. Литвинов, С.М. Шкарлет, С.В. Зайцев // Вісник Чернігівського державного технол. університету. – Чернігів : ЧДТУ, 2013. – 340 с.
3. Хмельницький Ю.В. Забезпечення достовірності передачі інформації та сервісних послуг для високошвидкісних мереж при завадах / Ю.В. Хмельницький, Д.П. Яковлев // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К. : ВІКНУ, 2017. – Вип. № 57. – С. 111–119.
4. Хмельницький Ю.В. Забезпечення вірогідної передачі інформації при впливі перешкод в телекомунікаційних мережах / Ю.В. Хмельницький, Г.Б. Жиров, Н.В. Кульпак // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К. : ВІКНУ, 2018. – Вип. № 59. – С. 161–170.
5. Кривуца В.Г. Управління телекомунікаціями із застосуванням новітніх технологій / В.Г. Кривуца, В.К. Стеклов, Л.Н. Беркман, Б.Я. Костік, В.Ф. Олійник, С.М. Склярєнко // Підручник для ВНЗ. – К. : Техніка, 2007. – 384 с.
6. Хмельницький Ю.В. Аналіз моделей та прогнозування ризиків функціонування системи управління SDN архітектури / Ю.В. Хмельницький, О.В. Селюков, Д.М. Ковпа, О.С. Лісовецький // Збірник наукових праць Військового інституту Київського нац. університету імені Тараса Шевченка. – К. : ВІКНУ, 2019. – № 64. – С. 113–134.
7. Хмельницький Ю.В. Методи та засоби забезпечення завадостійкої передачі інформації в телекомунікаційних мережах / Ю.В. Хмельницький, О.А. Каблуков, Л.О. Ряба, Л.В. Солодєєва, А.О. Ткач // Збірник наукових праць Військового інституту Київського нац. університету імені Тараса Шевченка. – К. : ВІКНУ, 2019. – № 64. – С. 133–144.
8. Селюков О.В. Застосування інтелектуальних технологій для підвищення якості роботи телекомунікаційних мереж при невизначеності / О.В. Селюков, Ю.В. Хмельницький, І.В. Обертюк, Л.В. Солодєєва // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К., 2017. – Вип. 56. – С. 146–153.

References

1. Babych V.D. Zavadosiikist kanaliv zviyazku : navch. posibnyk / V.D. Babych, O.D. Kuvshynov, O.P. Lezhniuk, S.P. Liventsev. – K. : KVIUZ, 2001. – 150 s.
2. Kazymyr V.V. Informatsiini osnovy pobudovy telekomunikatsiinykh merezh / V.V. Kazymyr, V.V. Lytvynov, S.M. Shkarlet, S.V. Zaitsev // Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnol. universytetu. – Chernihiv : ChDTU, 2013. – 340 s.
3. Khmelnytskyi Yu.V. Zabezpechennia dostovirnosti peredachi informatsii ta servisnykh posluh dlia vysokoshvydkisnykh merezh pry zavadakh / Yu.V. Khmelnytskyi, D.P. Yakovliev // Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. – K. : VIKNU, 2017. – Vyp. № 57. – S. 111–119.
4. Khmelnytskyi Yu.V. Zabezpechennia virohidnoi peredachi informatsii pry vplyvi pereshkod v telekomunikatsiinykh merezhakh / Yu.V. Khmelnytskyi, H.B. Zhyrov, N.V. Kulpak // Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. – K. : VIKNU, 2018. – Vyp. № 59. – S. 161–170.
5. Kryvutsa V.H. Upravlinnia telekomunikatsiiami iz zastosuvanniam novitnikh tekhnolohii / V.H. Kryvutsa, V.K. Steklov, L.N. Berkman, B.Ia. Kostik, B.F. Oliinyk, S.M. Skliarenko // Pidruchnyk dlia VNZ. – K. : Tekhnika, 2007. – 384 s.
6. Khmelnytskyi Yu.V. Analiz modelei ta prohozuvannia ryzkyv funktsionuvannia systemy upravlinnia SDN arkhitektury / Yu.V. Khmelnytskyi, O.V. Seliukov, D.M. Kovpa, O.S. Lisovetski // Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu Kyivskoho nats. universytetu imeni Tarasa Shevchenka. – K. : VIKNU, 2019. – № 64. – S. 113–134.
7. Khmelnytskyi Yu.V. Metody ta zasoby zabezpechennia zavadosiikoї peredachi informatsii v telekomunikatsiinykh merezhakh / Yu.V. Khmelnytskyi, O.A. Kablukov, L.O. Riaba, L.V. Solodieieva, A.O. Tkach // Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu Kyivskoho nats. universytetu imeni Tarasa Shevchenka. – K. : VIKNU, 2019. – № 64. – S. 133–144.
8. Seliukov O.V. Zastosuvannia intelektualnykh tekhnolohii dlia pidvyshchennia yakosti roboty telekomunikatsiinykh merezh pry nevyznachenosti / O.V. Seliukov, Yu.V. Khmelnytskyi, I.V. Obertiuk, L.V. Solodieieva // Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. – K., 2017. – Vyp. 56. – S. 146–153.

Рецензія/Peer review : 8.1.2020 р. Надрукована/Printed : 16.2.2020 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Підченко С.К.

В.П. ХОРОЛЬСЬКИЙ, О.К. КОПАЙГОРА, Ю.С. ГАВРИШКЕВИЧ, А.О. БОЙЧЕНКО

Донецький національний університет економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського, м. Кривий Ріг

СИСТЕМА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯМ ВИРОБНИЦТВА ХЛІБА

Розроблено метод формалізації технологічних ситуацій і стратегії ідентифікації енергоефективного виробництва хліба з лікувально-профілактичними характеристиками. Одержані математичні залежності енергоспоживання від чинників технологічного процесу: випікання хліба, продуктивності, швидкості стрічки тунельної печі, сили борошна та витрат газу. Побудовано модель причинно-наслідкових зв'язків питомих витрат електрики зі змінними, які характеризують температурні режими, вологість в пекарній камері, витрати тепла, інтегральні показники якості стадій дозування борошна, приготування опори, тіста, вистоювання, випікання, заморожування. Визначено оптимальні режими випікання хліба та побудовано компоненти оптимального компромісного режиму випікання хлібу. Запропоновано систему інтелектуального управління енергоспоживанням хлібозаводу. В цій системі використані автоматизовані системи управління енергоспоживанням кожної зі стадій виробництва хліба, а також багатовимірні нечіткі логічні регулятори (БНЛР). Ці адаптивні локальні системи управління технологічними процесами в комбінації з локальними системами управління електроспоживанням по кожній стадії виробництва хліба визначають оптимальні рішення щодо замовлення активної та реактивної потужностей підприємства в періоди обмеження потужності енергосистеми.

Ключові слова: формалізація, ресурси, автоматизоване управління.

V. KHOROLSKY, O. KOPAYHORA, Y. HAVRYSHKEVYCH, A. BOYCHENKO
Donetsk National Universities of Economics and Tradenamed after Mykhailo Tugan-Baranovsky

SYSTEM OF OPTIMAL MANAGEMENT OF PANIFICATION ON ENERGY CONSUMPTION

The method of formalizing technological situations and strategies for identifying energy efficient production of bread with therapeutic and preventive characteristics is developed. Mathematical dependences of energy consumption on the factors of technological process such as bread baking, productivity, speed of the tunnel kiln ribbon, flour force and gas consumption are obtained. The model of the reason-consequent relationship of the specific costs of electricity with the variables that characterize: temperature regimes, humidity in the bakery chamber, heat consumption, integral indicators of quality of stages of batching of flour, preparation of support, dough, standing, baking, freezing is constructed. The optimal modes of bread baking are determined and the components of the optimal - compromise mode of bread baking are constructed. The system of intelligent management of energy consumption of the bakery is proposed. This system uses automated energy management systems for each of the bread production stages, as well as multi-dimensional fuzzy logic controllers (MDFLC). These adaptive local process control systems, in combination with local power management systems at each stage of bread production, determine the optimal solutions for ordering the active and reactive power of an enterprise during periods of power system power limitation.

Keywords: formalization, resources, automated control.

Постановка проблеми. Стратегічною метою розвитку харчової промисловості України до 2030 року є забезпечення населення країни безпечною сільськогосподарською продукцією, підвищення якості харчів до стандартів країн ЄС і гарантування високих стандартів життєзабезпечення для регіонів з техногенним забрудненням.

Стратегічна концепція енергоефективності підприємств промислового комплексу України до 2035 року [1] є основою для підтримання фізичної і особливо економічної доступності щодо одержання громадянами країни безпечних еколого чистих харчових продуктів в об'ємах й асортименті, які відповідають встановленим раціональним нормам споживання харчових продуктів й необхідних для активного і здорового образу життя. Забезпечення безпечними продуктами харчування гірників, воїнів ЗСУ, дітей і населення, що проживає на забруднених територіях, спеціальними продуктами харчування вимагає від науковців розробки інноваційного енергоефективного обладнання з цифровими системами інтелектуального управління [2, 3]

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Незважаючи на розширення запровадження інноваційного обладнання хлібопекарень, інтелектуалізації процесів виробництва хлібобулочних виробів, на наш погляд, недостатньо вивченими є питання енергоефективності цих процесів, управління виробництвом продукції з мінімізацією енергозатрат, та розробки алгоритмів управління інтелектуальними системами енергоспоживання. Це пояснюється, зокрема, відсутністю надійних проектних рішень щодо розробки технологічного обладнання з високим рівнем енергоефективності. Аналіз публікацій вітчизняних вчених: А.П. Ладанюк, В.Г. Трегуб, І.В. Ельперін, В.Д. Цюцюра, Л.Я. Ауерман, В.М. Хроменков, В.Г. Мирончук, І.С. Гулий, М.М. Пушанко, Л.О. Орлов, А.І. Українець, С.С. Шаруда, В.Д. Кишенько [3–8], – свідчить про відсутність дослідження питань комп'ютерного моделювання процесу випічки хліба за критерієм мінімізації енергозатрат в технологічній системі: дозування – опара – тісто – випікання. Викладене вище зумовлює актуальність обраної теми досліджень, спрямованої на розробку алгоритмів цифрового управління енергоефективністю хлібобулочних виробів за критерієм мінімізації питомих енергозатрат.

Метою статті є розробка математичної моделі енергоефективності технологічних процесів виробництва хліба на базі інтелектуальних систем управління енергоспоживанням хлібозаводу.

Виклад основного матеріалу. В Україні в останні п'ять років почали впроваджуватись пекарні з високим рівнем автоматизації. Розроблена і успішно впроваджується концепція сучасного економічно-ефективного централізованого виробництва хліба та хлібобулочних виробів з випічкою та заморожуванням.

Виробництво хліба є досить складною виробничою системою, стан якої описується великою кількістю технологічних показників. Ці показники утворюють складні взаємозв'язки і можуть мати протилежні тенденції зміни в процесі функціонування системи [2, 3].

Подібна багатокритеріальність процесу випікання хліба викликає природне прагнення знайти такі технологічні, організаційні та технічні рішення, які дозволяють одночасно цілеспрямовано змінювати ряд показників, забезпечуючи в кінцевому результаті підвищення ефективності виробництва і зниження енерговитрат, тобто оптимізувати режим електроспоживання хлібокомбінату.

У даному випадку під оптимізацією розуміється таке управління режимами споживання електроенергії, за якого деякий критерій якості управління на заданому інтервалі часу досягає, в умовах заданих обмежень, свого екстремального (максимального чи мінімального) значення. У загальному вигляді завдання формулюється таким чином:

$$Y = f(X) \rightarrow \text{ext} \quad (1)$$

де

$$X = \{x_i^- \leq x_i \leq x_i^+, i = 1, 2, \dots, n\} \quad (2)$$

При виборі та формулюванні мети оптимізації (1) як захід ефективності, як правило, розглядаються економічні (собівартість продукції, збиток, прибуток) або технічні (продуктивність, витрата електроенергії та ін.) показники [3].

Система обмежень (2) дозволяє виділити з безлічі варіантів режими, допустимі регламентом технологічного процесу, серед яких і ведеться пошук оптимального рішення. Ці обмеження можуть виражатися рівністю і нерівностями або логічними співвідношеннями, при цьому робочий діапазон зміни параметрів процесу задається у вигляді двосторонніх балансових обмежень, а структура виробничих зв'язків – у вигляді аналітичних або емпіричних залежностей [3].

Визначення оптимальних режимів здійснюється за допомогою підстановки в цільову функцію векторів обмежень, що відповідають значенням конкретних умов даного промислового об'єкта, а також зовнішніх умов, що задаються керуючою системою більш високого рангу. При цьому в області енергоспоживання промислових підприємств існує ряд специфічних особливостей, що ускладнюють вирішення завдання оптимізації [4–8].

До них можна віднести наступне:

- 1) Високу розмірність розв'язуваної задачі та інтегральні критерії якості;
- 2) Невизначеність вихідних даних.
- 3) Ймовірнісний характер зміни параметрів процесу. Реальні виробничі об'єкти перебувають під впливом випадкових збурень, тому ефективність оптимальних рішень виявляється проблематичною, особливо в умовах виробництва з жорсткими обмеженнями енергетичних ресурсів.

Всі ці зауваження повною мірою відносяться і до виробництва хліба. По-перше, для нижнього рівня управління (окремих апаратів та машин), існує кілька показників, що відображають ефективність використання основних елементів виробничого процесу: обладнання, сировини і енергоресурсів. Іншими словами, метою оптимізації процесу є отримання найкращого співвідношення між кількістю і якістю виробленого хліба з одного боку, і матеріальними і енергетичними витратами з іншого.

По-друге, в якості математичного опису процесу виробництва хліба використовуються статистичні моделі електроспоживання, оскільки аналітичний висновок цільових функцій практично неможливий в силу своєї трудоемкості і нестачі вихідних даних. Крім того, неповні вихідні дані не дозволяють однозначно описати стан об'єкта при значних відхиленнях режиму роботи від усталеного (спочатку досліджуваного) і екстраполювати отримані залежності на область оптимальних рішень. Тому для більш коректного рішення задачі оптимізації пропонується застосувати математичний апарат теорії нечітких множин [8–10].

Переважна частина моделей прийняття рішення в нечітких умовах носить нормативний характер і являє собою формалізацію етапу вибору, коли безліч альтернатив, критерії, цілей та обмеження вважаються заданими. При цьому, відповідно до класифікації, виділяється кілька типів нечіткої функції: нечітко обмежена функція, нечітке розширення чіткої функції, нечітка функція від чітких змінних і чітка функція від нечітких змінних [9].

У випадку завдання нечіткої оптимізації формулюється таким чином: знайти такий вектор $X = (x_1, \dots, x_n)$, для якого:

$$\tilde{y} = \tilde{f}(X) \rightarrow \text{ext} \quad (3)$$

за умов:

$$\tilde{\varphi}_i(X) \subseteq \tilde{B}_i, \quad i = \overline{1, m}; \quad (4)$$

де $\tilde{f}(X)$ – нечітка цільова функція; ext – нечіткий екстремум; $\tilde{\varphi}_i(X)$ – нечіткі функції-обмеження; \tilde{B}_i – нечіткі числа-обмеження. У класичних задачах оптимізації максимум або мінімум функції

$f(x)$ в заданій області досягається в певній точці x^* . У задачах нечіткої оптимізації потрібно знати поведінку функції не тільки в точці x^* , але і в її околі. Для цієї мети використовується поняття максимізуючої і мінімізуючої множини.

Нехай $f(x)$ – реальна функція, визначена на множині X . Припустимо, що вона обмежена зверху $\sup(f)$ і знизу $\inf(f)$. Максимізуюча множина M функції $f(x)$ є нечіткою множиною з функцією приналежності:

$$\mu_M(x) = \frac{f(x) - \inf(f)}{\sup(f) - \inf(f)}, \quad \forall x \in X. \quad (5)$$

Нечіткий максимум $f(M)$ функції $f(x)$, тобто нечітка множина на Y , є образом максимізуючої множини при відображенні f з функцією приналежності:

$$\mu_{f(M)}(y) = \sup_{x \in f^{-1}(y)} \mu_M(x); \quad (6)$$

де Y – область змін функції $f(x)$.

Мінімізуюча множина функції $f(x)$ визначається як максимізуюча множина функції $(-f(x))$.

Для реального промислового підприємства, крім мінімуму енерговитрат, є кілька близьких за цінністю критеріїв управління: продуктивність, якість продукції та ін., що обумовлено комплексністю кінцевих показників виробництва. Це повною мірою відноситься і до виробництва хліба, де критеріями управління, крім мінімуму енерговитрат, може бути максимум продуктивності і якості хліба та інші показники.

За Белманом – Заде [9, 10] задача нечіткої оптимізації в умовах декількох цілей розв'язується на основі принципу злиття, тобто нечітке рішення D визначається як результат операції перетину нечітких множин цілей G і обмежень C :

$$D = G_1 \cap \dots \cap G_n \cap C_1 \cap \dots \cap C_m; \quad (7)$$

де

$$\mu_D = \mu_{G_1} \wedge \dots \wedge \mu_{G_n} \wedge \mu_{C_1} \wedge \dots \wedge \mu_{C_m} = \min(\mu_{G_1}, \dots, \mu_{G_n}, \mu_{C_1}, \dots, \mu_{C_m}); \quad (8)$$

Багатокритеріальну оптимізацію в нечіткому середовищі можна представити у вигляді системи:

$$\langle X, C_1, \dots, C_n, L \rangle, \quad (9)$$

де X – універсальна множина альтернатив; L – решітка; $C_i (i = 1, \dots, n)$ – критерії оптимізації.

Нечітка постановка завдання багатокритеріального вибору передбачає, що відома множина порівнюваних альтернатив $A = \{A_1, \dots, A_m\}$ і множина критеріїв порівняння $C = \{C_1, \dots, C_n\}$, причому нечітка оцінка альтернативи A_j за критерієм C_i характеризується функцією приналежності $\mu_{R_{ji}}(r_{ji}), r_{ji} \in R$. Якщо всі критерії розглядати як рівнозначні і порівнянні, то відповідно до принципу злиття (11) маємо набір:

$$\langle X, D, L \rangle,$$

де

$$D = C_1 \cap \dots \cap C_n; \quad (10)$$

тобто один з варіантів перетину нечітких множин цілей.

При знаходженні рішення рівні приналежності в оптимальній множині визначаються у вигляді перетину нечітких оцінок R_j з так званою максимізуючою множиною M^* , функція належності якої

$$\mu_{M^*}(r) = [r / r_{\max}] \quad (11)$$

відображає ступінь наближення поточного значення оцінки до максимально можливого:

$$r_{\max} = \sup \left(\bigcup_{j=1}^m \sup \mu_{R_j}(r_j) \right) \quad (12)$$

Таким чином, в якості нечіткої оптимальної альтернативи береться екстремум перетину (10)

Оскільки працювати з сімействами множин досить важко, бажано апроксимувати нечітку множину чіткою, тому розкладемо нечітку множину цілі на ряд множин рівня і представимо задачу нечіткого математичного програмування у вигляді сімейства звичайних задач оптимізації:

$$f^{(\alpha_i)}(x) \rightarrow \text{ext} \quad (13)$$

за обмежень:

$$A(x) \leq B; \quad x \geq 0, \quad (14)$$

де $\alpha \in [0, 1]$, $\mu_{\tilde{f}}(f) \geq 1 - \alpha$.

Таким чином, цільова функція максимізується (мінімізується) на множині тих альтернатив, які зі ступенем не меншою α вважаються допустимими у вихідній задачі.

Окремим випадком багатокритеріального підходу є задача лінійної векторної оптимізації, коли попередньо знайдені найкраще і найгірше рішення служать границями нечітких діапазонів в задачі нечіткого лінійного програмування [9, 10]. При цьому вихідні дані групуються в матрицю можливих рішень (матрицю втрат), представлену в табл. 1, рядки якої містять опис альтернатив A_j , а стовпці відповідають критеріям C_i .

Елементи матриці з функцією приналежності (11) виражають кількісну невідповідність технологічного режиму A_j відносно критерію C_i , тобто показують: яка частка досліджуваного показника втрачається, якщо здійснюється режим A_j замість оптимального для даного критерію режиму A_i .

Для зіставлення оцінок за ознаками різної природи втрати нормалізуються за формулою:

$$\bar{r}_{ij} = \frac{r_{ij} - r_{i \min}}{r_{i \max} - r_{i \min}}; \tag{15}$$

де r_{ij} – поточна оцінка за i -ю ознаці, $[r_{i \max}, r_{i \min}]$ – діапазон допустимих значень за i -ю ознакою.

Таблиця 1

Загальний вид матриці можливих рішень

Ознаки \ Варіанти	C_1	C_2	...	Втрати (ступінь ризику)
A_1	μ_{11}	μ_{12}	...	
A_2	μ_{21}	μ_{22}	...	
...	
A_m	μ_{m1}	μ_{m2}	...	
Еталонна оцінка	μ_{01}	μ_{02}		
Вагові коефіцієнти ознак	w_1	w_2	...	$\sum_{i=1}^n w_i = 1$

Вибір конкретного рішення із зазначеної множини здійснюється методом цільового програмування, ідея якого полягає у знаходженні рішень, розташованих якомога ближче до вектора одночасно недосяжних цілей (ідеальної точки) [9–11]. У загальному вигляді правило вибору найкращого варіанту може бути записано:

$$D(\omega, A) = \sum_{i=1}^n \omega_i (C_i) \cdot \rho(A_j, A_{em}), D_{ef} = \min D(\omega, A_j); \tag{16}$$

де $\omega_i (C_i)$ – вагові коефіцієнти ознак, $\rho(A_j, A_{em})$ – узагальнений показник відмінності поточної та еталонної оцінок за i -ю ознакою.

У класичних задачах багатоцільової оптимізації для пошуку оптимально-компрмісного рішення використовуються елементи теорії ігор, коли всі розглянуті варіанти рішень описуються у вигляді платіжної матриці у грі двох осіб, а завдання зводиться до визначення такої оптимальної стратегії першого гравця, за якої очікувані втрати r_{ij} по відношенню до всіх критеріїв C_i були б мінімальними.

В умовах невизначеності пошук оптимального рішення утруднений тим, що кожному варіанту рішення в загальному випадку відповідає не одне значення оціночної функції r_{ij} , а деяка множина. Тому нечітка платіжна матриця, що представляє собою синтез теорії ігор і теорії нечітких множин, містить для кожного критерію вибору сукупність оцінок – для кожного α -зрізу нечіткої цільової функції [8, 9] (табл. 2).

Нечітка платіжна матриця для задачі багатоцільової оптимізації

Варіанти \ Ознаки	C_1	C_2	...	C_n
A_1	$\mathbf{0}$	$\alpha_i : r_{1,2}^{\alpha_i}$...	$\alpha_i : r_{1,n}^{\alpha_i}$
A_2	$\alpha_i : r_{2,1}^{\alpha_i}$	$\mathbf{0}$...	$\alpha_i : r_{2,n}^{\alpha_i}$
...
A_m	$\alpha_i : r_{m,1}^{\alpha_i}$	$\alpha_i : r_{m,2}^{\alpha_i}$...	$\mathbf{0}$

Тоді за аналогією з класичною платіжною матрицею умова оптимізації може бути сформульована таким чином: знайти сукупність $C^{\alpha_i} \rightarrow \max$ (на кожному α -рівні) за умови:

$$\begin{cases} -\lambda_1^{a_k} r_{11}^{a_k} - \lambda_2^{a_k} r_{21}^{a_k} - \dots - \lambda_m^{a_k} r_{m1}^{a_k} \geq C^{a_k} \\ -\lambda_1^{a_k} r_{12}^{a_k} - \lambda_2^{a_k} r_{22}^{a_k} - \dots - \lambda_m^{a_k} r_{m2}^{a_k} \geq C^{a_k} \\ \dots \\ -\lambda_1^{a_k} r_{1n}^{a_k} - \lambda_2^{a_k} r_{2n}^{a_k} - \dots - \lambda_m^{a_k} r_{mn}^{a_k} \geq C^{a_k} \\ -\lambda_1^{a_k} r_{12}^{a_k} - \lambda_2^{a_k} r_{22}^{a_k} - \dots - \lambda_m^{a_k} r_{m2}^{a_k} \geq C^{a_k} \\ \lambda_1^{a_k} + \lambda_2^{a_k} + \dots + \lambda_m^{a_k} = 1 \\ \lambda_j \geq 0; (j = 1, 2, \dots, m) \end{cases} \quad (17)$$

де $\lambda_j^{\alpha_i}$ – компоненти оптимальної стратегії (на даному α -рівні); C^{α_i} – ціна гри (на даному α -рівні), $r_{ij}^{\alpha_k}$ – нечіткі значення оціночної функції (втрат) на даному α -рівні. Кожне рішення зводиться до

знаходження максимального значення функції $F = \sum_{j=1}^m y_j$, де $y_j = \lambda_j / C$ за умов:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n r_{ij} \cdot y_j \geq 1 & (i = \overline{1, n}); \\ y_j \geq 0 & (j = \overline{1, m}); \end{cases} \quad (18)$$

Перевага такого підходу в тому, що він дозволяє користуватися звичайними обчислювальними методами знаходження оптимальних рішень, зберігаючи переваги нечіткої постановки завдання – усунення невизначеності вихідних даних і гнучкість моделі управління.

Розглянемо приклад оптимізації режиму електроспоживання для нижнього рівня управління виробництва – окремої тунельної печі. Технологічний процес підготовки борошна й виробництва опаритіста є проміжною ланкою в довгому технологічному ланцюжку, а продуктивність всіх наступних стадій технологічного циклу виробництва хліба залежить від сили борошна F_1 , $F_{спів}$ – співвідношення сортів борошна, F_{qr} – витрати пару, P – тиск розрідження. Тому випуск інноваційного виду харчової продукції планується на максимально можливому рівні, і виникає необхідність оптимізації за критерієм максимуму Q_{\max} випуску заморожених сортів хліба.

Для забезпечення високих техніко-економічних показників виробництва хліба необхідно, щоб борошно мало високий вміст клейковини, низьку складову забруднюючих компонентів, тому третім критерієм управління буде сукупність показників якості хліба. Розглянемо ці показники докладніше. Хімічний та органолептичний аналіз складу хліба в основному залежить від якості сировини і визначається за складом опари, і в першу чергу, часткою вмісту в ній додатків – продуктів підготовки борошна. Збільшення частки збагаченого тіста інгредієнтами, призводить до зростання якості хліба. Як показали дослідження закономірностей технологічного процесу, зазначені критерії якості хліба є взаємозалежними, тобто збільшення вмісту інгредієнтів, як правило, супроводжується зменшенням часу підготовки опаритіста тощо [3–5].

Отже, в оптимізаційних розрахунках будемо використовувати єдиний (комплексний) критерій якості хліба, який найбільш просто і достовірно визначається при експрес-аналізі вмісту інгредієнтів у хлібі. При цьому показники якості $k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6, k_7, k_8$ технологічних стадій (дозування, бродіння опари, замісу тіста та бродіння, вистоювання тістових заготовок, випікання хліба й замороження (k_8)) можна задати у вигляді додаткових балансових обмежень.

Таким чином, аналіз особливостей виробництва хліба виявив, як мінімум, три основних критерії, які

можуть використовуватися при знаходженні оптимальних технологічних режимів: максимум продуктивності тунельної печі, якості готового хліба і мінімум енергозатрат.

Умова мінімуму енергозатрат записується у вигляді нечіткої цільової функції. Наприклад, для тунельної печі № 1 ПАТ «Криворіжхліб» вона має вигляд:

$$W = b_1 \cdot H + b_2 \cdot Q_{\text{хліб}} + b_3 \cdot t_{\text{заг}} + b_4 \cdot V_{\text{стр.}} + b_5 \cdot \text{Інгр} + b_0 \rightarrow \min \quad (19)$$

Рівняння, що описують цільові функції продуктивності тунельної печі і якості хліба, можуть бути знайдені класичними методами множинної регресії або також з використанням методів нечіткої ідентифікації. У простому випадку для тієї ж печі № 1 отримані наступні залежності:

$$Q_{\text{хліб}} = 263,9 \cdot V_{\text{стр.}} + 9,116 \cdot F_1 + 40,15 \cdot \text{Інгр} + 0,05332 \cdot t_{\text{заг.}} - 480,9 \rightarrow \max \quad (20)$$

$$F_1 = -2,21 \cdot 10^{-4} \cdot Q_{\text{хліб}} + 0,279 \cdot F_{\text{спів.}} - 1,272 \cdot \text{Інгр} + 40,69 \rightarrow \max \quad (21)$$

де F_1 і Інгр – сила борошна й вміст інгредієнтів у відсотках хліба; H – параметр, який характеризує витрати газу; $F_{\text{спів.}}$ – витрати повітря та газу; $Q_{\text{хліб}}$ – продуктивність тунельної печі.

$V_{\text{стр.}}$ і $t_{\text{заг.}}$ – умови випікання: швидкість стрічки (м/хв.) і температура в горні тунельної печі (°C).

Адекватність запропонованих рівнянь експериментальним даним підтверджується значеннями F -критерія Фішера (для першого $F = 5,399$, для другого $F = 6,129$) і середньоквадратичної помилки (відповідно 3,08% і 2,64%). Таким чином, отримані рівняння множинної регресії цілком можуть використовуватися для вирішення завдання нечіткої оптимізації процесу виробництва хліба.

Необхідно відзначити суперечливість зазначених критеріїв. З рівнянь (20) і (21) видно, що для підвищення обсягів виробництва необхідна інтенсифікація процесу випікання, яка приведе до збільшення енергозатрат в результаті зростання навантаження газодуттєвих засобів. Підвищення якості хліба досягається за рахунок збільшення частки високозбагачених інгредієнтів і зниження швидкості випікання, при цьому зростають питомі енерговитрати і знижується продуктивність процесу. При цьому зниження енергозатрат супроводжується збільшенням продуктивності процесу і зменшенням часу випікання тістових заготовок, тобто скороченням часу підготовки опари та тіста до процесу вистоювання й випікання.

Наявність декількох суперечливих критеріїв обумовлює рішення задачі в два етапи: оптимізація за кожним критерієм окремо і знаходження режиму, оптимального (компромісної для всіх умов).

Для розрахунку коректного і реалізованого на практиці оптимального режиму необхідно задатися системою обмежень, яка описує допустимий робочий діапазон керованих параметрів процесу, регламентований технологічними інструкціями, стандартами та іншими нормативними документами та експертними оцінками обслуговуючого персоналу (табл. 3). Подібні чисельні обмеження в теорії управління називають балансовими і математично формують у вигляді одно- і двосторонніх нерівностей [9, 10].

Таблиця 3

Допустимі межі зміни технологічних і якісних показників процесу виробництва хліба на прикладі тунельної печі ПАТ «Криворіжхліб»

Технологічні показники	Допустимі значення	Одиниці виміру
$V_{\text{стр.}}$ – Швидкість стрічки	1,5–2,5	м/хв
$t_{\text{заг.}}$ – Температура загоряння	160–320	°C
H – витрати газів	$(8-11) \cdot 10^3$	кПа
$k_{\text{тонк.}}$ – Частка лікувальних інгредієнтів	35–40	%
$K_{\text{тісто}}$ – вміст вологи в тісті	25–30	%
Vi – вологість м'якуша	50–60	%
$K_{\text{м}}$ – кислотність м'якуша	10–15	%
$P_{\text{м}}$ – пористість м'якуша	1,2–1,8	віднос. од.

Слід зазначити, що вказані змінні не є незалежними, оскільки довільна зміна будь-якого параметра позначається на інших показниках процесу. Авторами монографії [3] доведено, що питомі витрати електроенергії E_1 у виробництві хліба залежить від цілого ряду технологічних і режимних параметрів: сили борошна, висоти хліба, розрідження в збірному колекторі, швидкості стрічки та ін. Тобто виробництво хліба являє собою складну систему технологічних, теплотехнічних та енергетичних процесів, яка і визначає структуру зв'язків технологічних і режимних факторів. Аналіз структури зв'язків проводиться на підставі теоретичних і професійних (експертних) оцінок. Схематично вона може бути представлена у вигляді спрямованого графа (рис. 1), вершини якого відповідають розглянутим параметрам процесу, а дуги вказують напрям причинно-наслідкових зв'язків.

На рис.1 можна виділити ряд характерних взаємозв'язків. Наприклад, вище нами доведено, що продуктивність ($Q_{\text{хліб}}$) і енергоспоживання (W) та питомі витрати електрики (E_1) тунельної печі залежать від витрат газу в газовідвідному тракті (H) і швидкості стрічки ($V_{\text{стр.}}$), витрат тепла в пекарній камері $q_{\text{в.т.}}$,

вологості в пекарній камері – M , тиск розрідження T .

Однак ці режимні параметри в свою чергу залежать від складу і газопроникності пари, кількості інгредієнтів і стану тіста ($k_{інпр.}$ і $k_{піст.}$) і температури в горні (t_1, t_2, t_3, t_4). Ці параметри впливають на кількість втрат тепла ($q_{в.т}$) і температуру відхідних газів ($Q_{п/г}$, $m/г$), які не повинні перевищувати значень, допустимих для даного типу печі. Склад опари ($K_{оп}$, $K_{тіста}$) теоретично повинен регламентуватися наявною сировиною F_1 і змінюється за рахунок режиму випікання ($k_{інпр.}$, $t_{заг.}$, $V_{стр.}$, H , $q_{в.т}$). Таким чином, практично всі змінні процесу входять у декілька причинно-наслідкових ланцюгів, що відображають різні виробничі зв'язки. Під час розв'язання задачі оптимального управління функціональна схема реального процесу задається у вигляді так званих структурних обмежень – математичних (функціональних або регресійних) рівнянь, які описують найбільш суттєві причинно-наслідкові зв'язки процесу. Загальна структура обмежень задачі оптимізації енергоспоживання тунельної печі наведена на рис. 2.

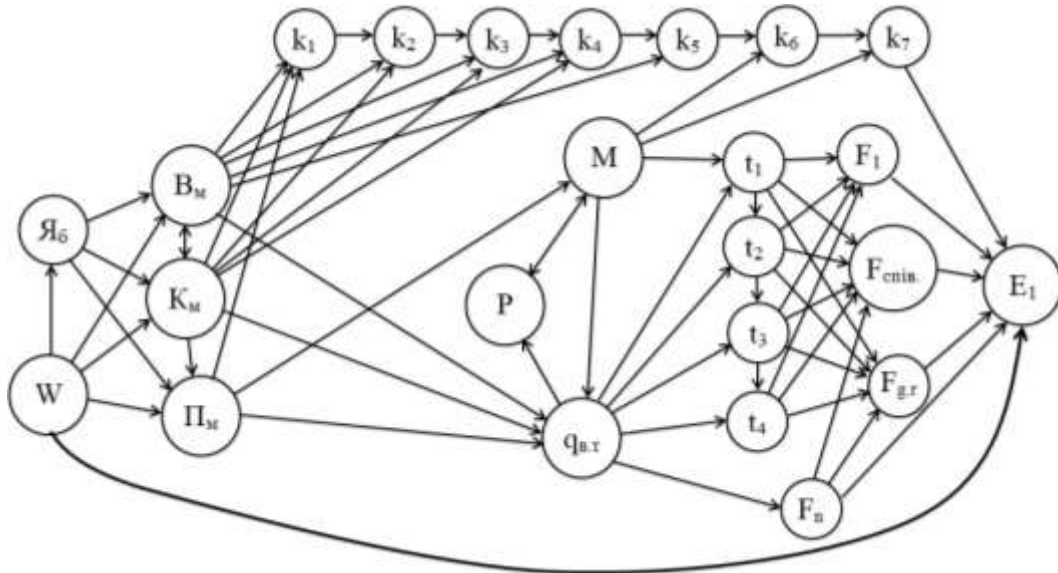


Рис. 1. Граф-модель оптимізації витрат електроенергії.

Математично вона записується у вигляді системи рівнянь виду:

$$W = 0,9846H + 2,349Q_{хліб} + 2,966t_2 + 922V_{стр} + 41,69F_1 - 634 \rightarrow \min \quad (22)$$

де

$$Q_{хліб} = 263,9V_{стр} + 9,116F_1 + 40,15K_{інпр} + 0,053t_3 + 1,597 \geq Q_{хліб\ план} \quad (23)$$

$$V_{стр} = (0,616Q_{хліб} + 0,041H + 2,14t_1 - 14,47K_6 - 35,59K_7) \quad (24)$$

$$0,9 \leq V_{стр} \leq 2,5 \text{ м/хв.}$$

$$H = 0,1791Q_{хліб} - 2,107t_1 + 20,15W_x + 23,01 \quad (25)$$

де W_x – вологість хліба.

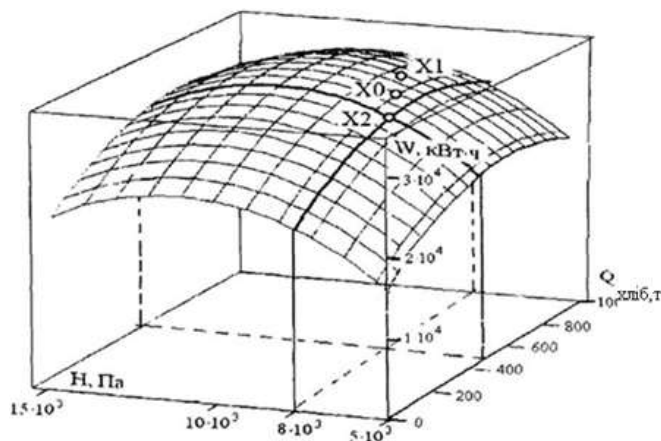


Рис. 2. Геометрична інтерпретація оптимізації енергоспоживання залежно від продуктивності тунельної печі і розрідження в газовідвідному тракті

Геометрично дану задачу можна представити у вигляді багатовимірної поверхні, на якій точка оптимуму має найменшу ординату уздовж осі W . Приклад такої залежності в проєкціях на осі $Q_{\text{хліб}}$ і H (при фіксованих значеннях інших параметрів процесу) наведено на рис. 2. Як видно з діаграми, в даному випадку мінімум функції електроспоживання спостерігається за мінімально допустимих (граничних) значень обсягу виробництва і розрядження в газовідвідному тракті.

В цілому, завдання багатоцільової оптимізації процесу формалізується наступним чином при обмеженнях:

$$\begin{cases} Q_{\text{хліб}}(x_i, y_i) \rightarrow \max \\ K_{\text{хліб}} \rightarrow \text{заданих значень} \\ W(x_i, y_i) \rightarrow \min \end{cases} \quad (26)$$

$$\begin{cases} x_{i.\min} \leq x_i \leq x_{i.\max}; \\ y_{j.\min} \leq y_j \leq y_{j.\max}; \end{cases} \quad (27)$$

де $x_{i.\min} \dots x_{i.\max}$ і $y_{j.\min} \dots y_{j.\max}$ – допустимі діапазони зміни параметрів технологічного процесу виробництва хліба; $y_j(x_i)$ – функціонали, що відображають взаємозв'язки параметрів процесу.

Відповідно до методики нечіткої оптимізації, результати вирішення даної задачі наведені в табл. 4 у вигляді α -зрізів нечітких множин з характерними рівнями приналежності $\pm 0,5$; $\pm 0,8$ і 1 . При цьому порівняння режимів, оптимальних для різних критеріїв управління, підтверджує їх суперечливість, так як оптимальні значення досягаються при різних поєднаннях параметрів процесу. Наприклад, для режиму ($Q_{\text{хліб}} = \max$) характерні оптимальні чинники: температури випікання хліба, швидкості конвеєрної стрічки і співвідношення газ – повітря, гірша якість хліба в режимах ($W = \min$) і (Якість = Я задане) спостерігається мінімальна продуктивність тунельної печі.

Таблиця 5

Нечітка платіжна матриця для задачі багатоцільової оптимізації процесу виробництва хліба (на прикладі тунельної печі № 1 ПАТ «Криворіжхліб»)

Критерій \ Змінна	X_1 $Q_{\text{хліб}}$	X_2 Якість= max	X_3 $W = \min$
$Q_{\text{хліб}}$	0	-0,326	-0,326
Якість	-0,022	0	-0,010
W при...			0
$\alpha=0,5$	-0,608	-0,295	
$\alpha=0,8$	-0,570	-0,278	
$\alpha=1$	-0,536	-0,260	
$\alpha=0,8$	-0,503	-0,245	
$\alpha=0,5$	-0,473	-0,230	

Тому, відповідно до викладеної вище методики, для знаходження оптимально-компромiсного режиму за всіма критеріями складаємо матрицю втрат з нечіткими елементами, яка наведена в табл. 5.

Аналіз матриці показує, що для всіх розглянутих режимів характерно порівняно невелике відхилення від оптимальних значень за показниками якості хліба. У той же час велика різниця розрахункових значень електроспоживання між режимом X_0 ($W = \min$) і рештою вказує на значну чутливість цього критерію до зміни параметрів технологічного процесу.

Оптимально-компромiсний режим визначається з використанням елементів теорії ігор [9]. Для розглянутого випадку рішення наведено в табл. 6, а значення технологічних параметрів – в табл. 4 і на рис. 2, де оптимально-компромiсний режим позначений точкою X_3 .

Особливістю сучасного управління електроспоживанням підприємствами харчової промисловості є впровадження систем енергоменеджменту і автоматизованих систем контролю і обліку електроенергії (АСКОЕ).

Таблиця 6

Компоненти оптимально-компромiсного режиму процесу випікання хліба

Критерій \ Рівень α	X_1 $Q_{\text{хліб}} = \max$	X_2 Якість= max	X_3 $W = \min$	Ціна, грн.
-0,5	0,349	0	0,651	-0,212
-0,8	0,364	0	0,636	-0,207
1	0,378	0	0,622	-0,203
0,8	0,393	0	0,607	-0,198
0,5	0,408	0	0,592	-0,193

Усі криворізькі підприємства харчової промисловості розраховуються з ПАТ «Дніпрообленерго» за спожитої електроенергії за ринковим тарифом [3, 12].

Перехід на цей тариф стимулює енергоменеджмент підприємств харчової промисловості до впровадження інтелектуальних систем управління технологічними лініями виробництва хліба шляхом узгодженого управління технологічними процесами виробництва замороженого хліба різних сортів. Інтелектуалізація і адаптація процесів виробництва продукції забезпечує виробництво продукції заданої якості і мінімізацію затрат електроенергії з врахуванням збурень характеристик вхідної сировини, її спектральних характеристик якості, які виникають в результаті планування постачання різних сортів муки, жирів тощо.

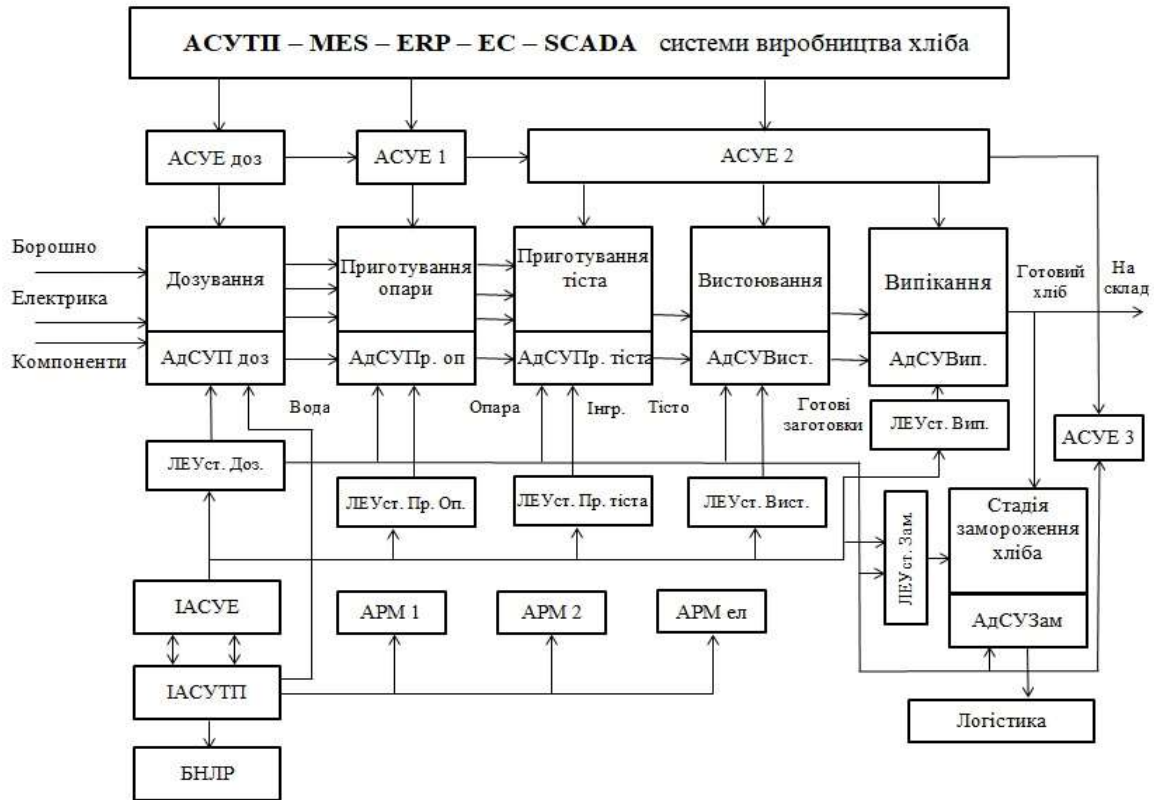


Рис. 3. Система інтелектуального управління енергоспоживанням хлібозаводу

На рис. 3 наведено систему інтелектуального управління енергоспоживанням хлібозаводу. Архітектура такої ІАСУЕ складається із наступних підсистем автоматизованої адаптивної системи управління дозуванням, АСУЕ₁ приготування опари, АСУЕ₂ приготування тіста, вистоювання і випікання, АСУЕ₃ – стадії замороження хліба. Автоматизована система управління технологічного процесу виробництва хліба складається із локальних адаптивних систем управління процесами: дозування, приготування опари, тіста, вистоювання, випікання, транспортування і стадії замороження хліба, розроблених на базі багатовимірного нечіткого логічного регулятора (БНЛР) [2, 3].

Кожна із цих стадій управляється локальними системами енергоспоживання ЛЕУ_{стДоз}, ЛЕУ_{стПр.оп}, ЛЕУ_{стПр.тіста}, ЛЕУ_{стПр.вистоювання}, ЛЕУ_{стПр.випікання}, ЛЕУ_{стПр.заморожування} з автоматизованих робочих місць АРМ₁, АРМ₂, АРМ_{ел}.

Інтегрована інтелектуальна система забезпечує оптимізацію виробництва портфеля замовлень споживачів продукції в періоди обмежень електроенергії за допомогою експертних систем (ЕС) шляхом побудови бази даних (БД), бази знань (БЗ), динамічної бази оперативних технологічних даних, динамічної бази оперативного стану енергосистеми та бази правил (БП). Особливістю розробленої системи є інтегрованість ЕС з АСУТП – MES – ERP систем, що забезпечує узгоджену роботу управлінської та інформаційної підсистем АСУ підприємства щодо діагностики проблемних ситуацій, технологічно-енергетичних ситуацій і прийняття рішень щодо замовлення реактивної потужності P_r , активної потужності Q_i , команд на пошук оптимальних рішень щодо визначення стаціонарних енергорегуляторів (СЕР).

Таким чином, на основі досліджень параметрів споживання активної, реактивної потужностей для підприємств харчової промисловості розроблено інтелектуальну систему узгодженого управління електроспоживанням хлібозаводу в періоди обмежень енергосистемою потужностей по активному і реактивному навантаженню. Результати цього аналізу використані при побудові адаптивних процедур оперативного прогнозування електричних навантажень підприємства харчової промисловості, які ґрунтуються на статистичних методах і методах штучних нейронних мереж [3].

Висновки. На основі досліджень питомих параметрів електроспоживання для підприємств харчової промисловості виконано ідентифікацію та моделювання впливу технологічних змінних, які визначають процес виробництва хліба. Розроблено автоматизовану систему інтелектуального управління

електроспоживанням хлібозаводу з оптимізацією локальних енергетичних установок технологічних стадій дозування, приготування опари, тіста, вистоювання, випікання та замороження. Система дозволяє зменшити витрати виробництва продукції (борошна), води, газу інших інгредієнтів, контролювати параметри енергоефективності та якості хліба та максимізувати продуктивність енергетичного обладнання з врахуванням вартості електрики за рівень напруги та постачання (оптової ціни), що дозволяє виконати «точно у термін» замовлення споживачів.

Література

1. Енергетична стратегія України на період до 2035 року: безпека, енергоефективність конкурентоспроможність [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://mpe.kmu.gov.ua/minugoe/control/uk/doccatalog/list?curzDiz=50359>.
2. Хорольський В.П. Інтелектуальна система управління та моніторингу робочих характеристик технологічного обладнання хлібобулочних заводів / В.П. Хорольський, Д.Ю. Ключев, С.М. Коржов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2016. – № 6. – С. 55–62.
3. Інтелектуальні системи управління виробництвом хлібобулочних виробів / В.П. Хорольський, Ю.М. Коренюк, А.В. Возняк, О.В. Омельченко, Д.П. Заїкіна, О.К. Копайгора, А.В. Шейна ; за ред. В.П. Хорольського. – Кривий Ріг : ФОП Чернявський Д.О., 2019 – 204 с.
4. Автоматизація технологічних процесів і виробництв харчової промисловості : підруч. / А.П. Ладанюк, В.Г. Трегуб, І.В. Ельперін, В.Д. Цюцюра. – К. : Аграр. освіта, 2001. – 224 с.
5. Ауерман Л.Я. Технология хлебопекарного производства / Л.Я. Ауерман – СПб : Профессия, 2005. – 416 с.
6. Хроменков В.М. Технологическое оборудование хлебозаводов и макаронных фабрик / В.М. Хроменков. – СПб : ГЦОРД, 2014. – 496 с.
7. Мирончук В.Г. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості / В.Г. Мирончук, І.С. Гулий, М.М. Пушанко, Л.О. Орлов, А.І. Українець та ін. – Вінниця : Нова книга, 2007. – 640 с.
8. Шаруда С.С. Інтелектуальна система сценарного управління хлібопекарським виробництвом / С.С. Шаруда, В.Д. Кишенько // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2010. – № 5/3(47). – С. 66–70.
9. Згуровский М.З. Интергрированные системы оптимального управления и проектирования : учебное пособие / Згуровский М.З. – К. : Вища школа, 1990. – 351 с.
10. Сироджа И.Б. Квантовые модели и методы искусственного интеллекта для принятия решений и управления / Сироджа И.Б. – К. : Наукова думка 2002. – 418 с.
11. Методы классической и современной теории автоматического управления : учебник в 5-и т. Т. 5 Методы современной теории автоматического управления / под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. – 2-е изд. перераб. и доп. – М. : Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 784 с.
12. Логацький В.М. Удосконалення тарифної політики у сфері електроенергетики для досягнення центральної та макроекономічної збалансованості / В.М. Логацький // Економіка України. – 2019. – № 3. – С. 3–21.

References

1. Enerhetychna stratehiia Ukrainy na period do 2035 roku: bezpeka, enerhoefektyvnist konkurentospromozhnist [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://mpe.kmu.gov.ua/minugoe/control/uk/doccatalog/list?curzDiz=50359>.
2. Khorolskyi V.P. Intelktualna systema upravlinnia ta monitorynhu robochykh kharakterystyk tekhnolohichnoho obladnannia khlibobulochnykh zavodiv / V.P. Khorolskyi, D.Iu. Kliuiev, S.M. Korzhov // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2016. – № 6. – С. 55–62.
3. Intelktualni systemy upravlinnia vyrobnytstvom khlibobulochnykh vyrobiv / V.P. Khorolskyi, Yu.M. Korenots, A.V. Vozniak, O.V. Omelchenko, D.P. Zaikina, O.K. Kopaihora, A.V. Sheina ; za red. V.P. Khorolskoho. – Kryvyi Rih : FOP Cherniavskiy D.O., 2019 – 204 s.
4. Avtomatyzatsiia tekhnolohichnykh protsesiv i vyrobnytstv kharchovoi promyslovosti : pidruch. / A.P. Ladaniuk, V.H. Trehub, I.V. Elperin, V.D. Tsiutsiura. – K. : Ahrar. osvita, 2001. – 224 s.
5. Auierman L.Ia. Tekhnolohyia khlebopekarnoho proyzvodstva / L.Ia. Auierman – SPb : Professyia, 2005. – 416 s.
6. Hromenkov V.M. Tehnologicheskoe oborudovanie hlebozavodov i makaronnih fabrik / V.M. Hromenkov. – SPb : GCORD, 2014. – 496 s.
7. Myronchuk V.H. Obladnannia pidpriemstv pererobnoi ta kharchovoi promyslovosti / V.H. Myronchuk, I.S. Hulyi, M.M. Pushanko, L.O. Orlov, A.I. Ukrainets ta in. – Vinnytsia : Nova knyha, 2007. – 640 s.
8. Sharuda S.S. Intelktualna systema stsenarnoho upravlinnia khlibopekarskym vyrobnytstvom / S.S. Sharuda, V.D. Kyshenko // Skhidno-Yevropeiskiy zhurnalпередovykh tekhnolohii. – 2010. – № 5/3(47). – С. 66–70.
9. Zgurovskij M.Z. Intergrirovannye sistemy optimalnogo upravleniya i proektirovaniya : uchebnoe posobie / Zgurovskij M.Z. – K. : Visha shkola, 1990. – 351 s.
10. Sirodzha I.B. Kvantovye modeli i metody iskusstvennogo intellekta dlya prinyatiya reshenij i upravleniya / Sirodzha I.B. – K. : Naukova dumka 2002. – 418 s.
11. Metody klassicheskoy i sovremennoj teorii avtomaticheskogo upravleniya : uchebnik v 5-i t. T. 5 Metody sovremennoj teorii avtomaticheskogo upravleniya / pod red. K.A. Pupkova, N.D. Egupova. – 2-e izd. pererab. i dop. – M. : Izdatelstvo MGTU im. N.E. Baumana, 2004. – 784 s.
12. Lohatskyi V.M. Udoskonalennia taryfnoi polityky u sferi elektroenerhetyky dlia dosiahnennia tsentralnoi ta makroekonomichnoi zbalansovanosti / V.M. Lohatskyi // Ekonomika Ukrainy. – 2019. – № 3. – С. 3–21

Рецензія/Peer review : 19.1.2020 р.

Надрукована/Printed : 16.2.2020 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

А.В. ШЕВЧЕНКО

Вінницький національний технічний університет

А.А. ВИДМИШ, А.А. ШТУЦЬ

Вінницький національний аграрний університет

ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ЗАДАЧІ ТРАСУВАННЯ ЛІНІЙНИХ ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД

Трасування лінійних споруд полягає у визначенні на місцевості їх осі, планового та висотного положення, що характеризується планом та поздовжнім профілем. В плані траса являє собою прямі відрізки різного напрямку, що спрягаються між собою круговими або перехідними кривими. В поздовжньому профілі траса складається з ліній різного уклону, що спрягаються вертикальними кривими. Уклони траси встановлюють залежно від призначення та характеристик споруд. При складанні поздовжнього профілю вертикальний масштаб в 10 і більше раз крупніший від горизонтального. Рельєф місцевості вздовж траси характеризується поперечниками, що складають в однакових горизонтальному та вертикальному масштабах. Трасування лінійних споруд включає пошук на місцевості оптимального варіанта траси та розміщення на ній споруд. Оптимальне розміщення траси на місцевості обирається в результаті порівняння декількох доцільних варіантів на картах масштабу 1:1000000 – 1: 25000. Залежно від призначення траси та етапу проектування трасування може бути камеральне або польове. Побудова діаграм зміни кривих вздовж лінії траси, то форма кривої, що утворюється, природно, характеризує її просторову плавність: візуальна плавність діаграми змін кривин є ознакою плавності кривої в просторі. Для оцінки кривини траси може використовуватися і кривина тільки її поздовжнього профілю.

Якщо він описується деякою функцією $z = z(x)$, то кривина обчислюється за допомогою відомого математичного апарату через першу та другу похідні функції та кінцеві різниці або як величину, зворотну значенню радіусу кола, яке проходить через три суміжні точки профілю траси, що не лежать в одній прямій. У роботі пропонується геометро-аналітична модель пошуку на заданому рельєфі місцевості просторових ліній, геометрія яких задовольняє вимоги трасування лінійних споруд – автошляхів (АШ), залізних доріг, трубопроводів тощо для використання у САПР. Розроблено спосіб моделювання початкового наближення траси з урахуванням вимоги до її мінімальної протяжності. Представлено геометричні моделі оцінювання кривини просторової лінії траси.

Ключові слова: геометро-аналітична модель, просторова лінія, трасування, траса, протяжність, кривина.

A. SHEVCHENKO

Vinnytsia National Technical University

A. VIDMYSH, A. STUTS

Vinnytsia National Agrarian University

GEOMETRIC MODELING IN THE TRACING PROBLEM LINEAR ENGINEERING STRUCTURES

The tracing of linear structures consists in determining on the locality of their axis, the planned and altitude position, characterized by a plan and a longitudinal profile. In terms of the route is a straight line segments of different directions, interconnecting circular or transition curves. In the longitudinal profile, the route consists of lines of different slope, which are joined by vertical curves. The gradients of the route are set depending on the purpose and characteristics of the structures. When compiling a longitudinal profile, the vertical scale is 10 times or larger than the horizontal scale. The terrain along the route is characterized by cross-sections that are equal in horizontal and vertical scales. Linear tracing involves locating and locating the optimal route for the route. The optimal location of the route on the terrain is chosen as a result of comparing several feasible options on maps of scale 1: 1000000 - 1: 25000. Depending on the destination of the route and the stage of designing the route may be a cameral or field. Constructing diagrams of change of curves along the line of the track, then the shape of the resulting curve characterizes its spatial smoothness: the visual smoothness of the curve change curve is a sign of the smoothness of the curve in space. Only the curvature of its longitudinal profile can be used to estimate the curvature of a route. If it is described by some function $z = z(x)$, then the curvature is calculated using a known mathematical apparatus through the first and second derivatives and finite differences, or as a value inverse of the radius of a circle passing through three adjacent points of the track profile, which is not lie in one line. The paper presents a geometric-analytical model of search on a given terrain of spatial lines whose geometry satisfies the requirements of tracing of linear structures - highways (AS), railways, pipelines, etc. for use in CAD. A method of simulating the initial approximation of a route with the requirement for its minimum length is developed. Geometric models for estimating the curvature of a spatial line of a route are presented.

Keywords: geometric-analytical model, spatial line, trace, route, length, curvature.

Розвиток науки і техніки обумовлює безупинне удосконалення технологій і методів проведення проектно-вишукувальних робіт. Перспектива у даному напрямку належить створенню і впровадженню систем автоматизованого проектування (САПР).

У більшості випадків кінцевим результатом роботи САПР є інформація про геометрію об'єкту проектування, а сам процес проектування при цьому – послідовне перетворення геометричної інформації на підставі формалізованих вимог. Багато алгоритмів і математичні моделі процесів проектування також носять геометричний характер, внаслідок чого геометричні задачі складають значну частину спеціалізованого математичного забезпечення САПР.

Розвитку геометричних питань САПР присвячені праці науковців української та зарубіжних шкіл

прикладної геометрії – В.С. Михайленка, А.В. Павлова, І.І. Котова, Н.Н. Рижова, А.Л. Підгорного тощо та їх учнів.

Широке використання геометричних методів розв'язання як окремих, так і комплексних задач проектування різноманітних об'єктів народного господарства обумовили їх застосування в проектуванні лінійних споруд, зокрема автомобільних шляхів (АШ).

Однією з найбільш важливих і основною стадією проектування автомобільних шляхів є проектування траси – осі АШ. Саме визначення положення траси АШ (трасування) на рельєфі місцевості, від якого залежать транспортно-експлуатаційні та економічні показники майбутньої дороги, являється початковим етапом всього процесу проектування АШ.

Аналіз існуючих методів трасування АШ в САПР. Сучасні автомобільні шляхи повинні забезпечувати безперервний і безпечний рух та відповідати певним архітектурно-естетичним вимогам. Виконання цього може бути забезпечено лише за умови використання системного підходу на всіх етапах проектування, будівництва, експлуатації та утримання шляхів.

Системний підхід при проектуванні автомобільних шляхів реалізується завдяки розробці та впровадженню:

1. Сучасних технологій і методів виконання відшукувань, які базуються на використанні високопродуктивних методів збору інформації про місцевість (використання ГІС-технологій).

2. Сучасних систем автоматизованого проектування автомобільних шляхів (САПР-АШ), які надають проектувальнику засоби для розв'язання задач з

- формування цифрових моделей місцевості (ЦММ) зони проектування;
- трасування шляху, що проектується;
- проектування подовжнього профілю шляху;
- проектування поперечних профілів і дорожній одяг;
- проектування штучних споруд і інженерно-сервісного облаштування дороги;
- оцінки проектних рішень.

Широке розповсюдження та розвиток геоінформаційних технологій в останні роки дозволило інтегрувати їх в процес автоматизованого проектування автомобільних доріг [1, 2]. Враховуючи особливості геоінформаційних систем (ГІС) при проектуванні автомобільних шляхів на них покладається ряд завдань, які не властиві системам автоматизованого проектування шляхів. Наприклад, в ГІС, на відміну від САПР, використовують невелику кількість графічних примітивів: точки, лінії, полігони, поверхні і растри. Ця особливість ГІС дозволяє представити шар графічних даних з наборами атрибутів об'єктів у вигляді таблиці реляційної бази даних, а отже, використовувати відповідний апарат баз даних для аналізу атрибутів графічних об'єктів. Наявність атрибутивної підтримки в ГІС дозволяє використовувати їх для розв'язування задач діагностики, паспортизації, інвентаризації, кадастру доріг. Перелічені особливості ГІС дозволяють інтегрувати їх з САПР шляхів, які в теперішній час знаходять все більше розповсюдження [3].

Існуючі САПР-АШ мають ідентичні структури. Вони складаються з модулів (підсистем, технологічних ліній проектування, пакетів прикладних програм), які призначені для виконання вищезазначених проектних задач.

На сьогодні найбільше розповсюдження отримали САПР автомобільних шляхів провідних розробників: AutoCad Civil 3D (розробник – Autodesk, США), CARD/1 (розробник – IB&T Group, Німеччина), MXROAD (розробник – Bentley System, США), Plateia (розробник – CGS plus d.o.o., Словенія), CREDO ДОРОГИ (розробник – Кредо-Диалог, Беларусь), IndorCAD/Road (розробник – Indorsoft, Росія), ROBUR (розробник – Tomatic, Росія), GIP (розробник – ГИПРОДОРНИИ, Росія) [1, 2]. Перелічені програмні продукти дозволяють реалізовувати комплексний підхід до розробки проектів – від «прокладки» ескізних варіантів траси до отримання повного набору проектною документації.

Слід зазначити, що традиційним принципом трасування шляхів, на підставі якого розробляються сучасні методи і які застосовують в більшості САПР автошляхів, є принцип тангенціального трасування. Даний принцип полягає в призначенні тангенціального ходу, в злами якого вписують закруглення наперед обрахованих необхідних розмірів. Але такий принцип передбачає наявність «однозначно визначеної осі» – ламаної лінії. Відрізки цієї лінії є дотичними до кривих, тому ламану називають тангенціальним ходом. У якості кривих, що згладжують тангенціальний хід, використовують криві Без'є.

Різновидом «методів однозначно визначеної осі» є метод «опорних елементів», в якому за допомогою шаблонів кривих і лінійки встановлюють положення «опорних елементів», які оптимально апроксимують ескізну трасу з наступною аналітичною їх ув'язкою.

Одним з альтернативних методів трасування є метод «згладжування ескізної лінії траси», якій полягає в аналітичній апроксимації поліномами високих рівнів масиву точок ескізного варіанту траси. В методі «згладжування ескізної лінії траси» задається надлишкова кількість точок ескізної лінії траси, і їх розглядають як «наближені», поблизу яких повинна пройти траса, оскільки в загальному випадку через всі задані точки не може бути проведена задовільна траса. Функції, що найбільш підходять до використання в методі «згладжування ескізної лінії траси» є сплайни, які по праву вважаються універсальним математичним апаратом для опису, зберігання, перетворення, аналізу та геометричного представлення трас автошляхів.

Задача трасування АШ щільно пов'язана з задачами проектування подовжнього і поперечних профілів, тобто проектування земляного полотна дороги є складовою задачею побудови траси в просторі з

урахуванням багатьох факторів: категорії дороги, рельєфу місцевості, даних геологічних та гідрогеологічних відшукувань. В більшості САПР АШ для проектування подовжнього профілю використовують «метод опорних точок» з подальшою математичною формалізацією проектної лінії за допомогою апарата сплайн-функцій [2].

З наведеного короткого огляду методів проектування АШ, в тому числі закладених у сучасних САПР і ГІС, можна зробити декілька висновків:

- поза залежності від обраної форми проектування «ручна» чи на базі будь-якої САПР, процес проектування АШ містить обов'язковий базовий етап – трасування;
- процес трасування в САПР АШ здійснюється по ЦММ і передбачає укладку ескізного варіанту траси – визначення плану траси в смузї трасування, її подовжнього та поперечних профілів.

Якщо зважити на те, що саме від положення траси на рельєфі місцевості залежать не тільки її транспортно-експлуатаційні та економічні характеристики, а і задоволення вимог вписування дороги в ландшафт [4], її просторової плавності та ясності. У зв'язку з чим досить природною виглядає виникнення ідеї прокладки траси АШ як просторової лінії на рельєфі місцевості [5, 6].

Ідея отримала розвиток у різних напрямках реалізації:

- шляхом створення спеціальних методів побудови наочних зображень топографічної поверхні, автомобільної дороги та споруд на неї, які призначені для виявлення просторової плавності траси, інформаційної місткості дорожньої обстановки, зорового балансу та оптичного комфорту (роботи В.Ф. Бабкова, І.В. Бегми, О.О. Белятинського, П.Я. Дзеніса, Н.П. Орнатського та ін.);
- шляхом розробки програмно-математичних методів вишукування на заданому рельєфі місцевості ліній, які мали б необхідні геометричні і пов'язаними з ними техніко-економічні характеристики, та забезпечували вписування таких ліній у ландшафт.

Постановка проблеми. Початок досліджень з питання розробки методів вишукування на заданому рельєфі місцевості ліній з необхідними геометричними характеристиками, було покладено в роботі [7], в якій цю задачу сформульовано як задачу пошуку на рельєфі лінії з мінімальною сумарною кривиною подовжнього профілю на основі критерію:

$$K = \int_{X_1}^{X_n} [F_X''(X, Y)]^2 dx \quad (1)$$

Лінія, що генерується на основі такого критерію, дійсно мала плавний подовжній профіль, але природно далеко не завжди задовольняла усьому комплексу економічних, експлуатаційних та архітектурно-ландшафтних вимог.

Мінімізація критерію (1) дозволяє виявляти на заданому рельєфі одну просторову лінію, сумарна кривина подовжнього профілю якої мінімальна. Але така лінія, оптимальна за сумарною кривиною, не завжди може гарантувати оптимальний напрямок трасування лінійної споруди за техніко-економічними показниками.

Одним з варіантів вирішення проблеми може бути доповнення моделюючого критерію (1) функцією, яка б дозволила визначити у заданій смузї варіювання не одну, а декілька просторових ліній з подібними геометричними характеристиками. У якості такої функції було обрано функцію, що мінімізує відхилення шуканої траси від деякого початкового наближення з керуючим коефіцієнтом ρ_t :

$$\bar{K} = \int_{X_1}^{X_n} [F_X''(X, Y)]^2 dx + \rho_t \sum_{t=1}^T (Y_t - Y_t^o)^2 \quad (2)$$

Призначення початкового наближення траси (масиву Y_t^o) є самостійною задачею, що важко формалізується і традиційно розв'язується шляхом завдання плану траси «вручну».

Призначення початкового наближення траси (масиву Y_t^o) є самостійною задачею, що важко формалізується і традиційно розв'язується шляхом завдання плану траси «вручну».

Тому була поставлена задача запропонувати спосіб формалізації процесу отримання початкового наближення траси, що надавав би можливість враховувати її техніко-економічні параметри.

Оскільки однією з найважливіших техніко-економічних характеристик лінії траси є її протяжність, то було обрано визначити масив $Y_t^o \equiv Y_t$ за умови мінімальності виразу

$$K = \sum_{t=1}^{N-1} l_t \rightarrow \min, \quad (3)$$

де $l_t = \sqrt{(z_{t+1} - z_t)^2 + (y_{t+1} - y_t)^2 + (x_{t+1} - x_t)^2}$ – довжина ланки між точками траси,

N – кількість точок лінії траси, яка залежить від кроку трасування, $x_t, y_t, z_t, x_{t+1}, y_{t+1}, z_{t+1}$ – поточні координати точок траси.

Нехай поверхня рельєфу місцевості апроксимована деякою кусково-безперервною функцією $F_{ij}(x, y)$. Тоді кожне поточне значення координати z_t визначатиметься виразом

$$z_t = F_t(x, y),$$

де $F_t(x, y)$ – одиничні куски функції $F_{ij}(x, y)$. Будемо вважати, що функція $F_t(x, y)$ лінійна щодо шуканих параметрів y_t і визначається виразом:

$$z_t = P_t \cdot y_t + L_t,$$

де P_t і L_t – коефіцієнти, що враховують вид конкретної апроксимуючої поверхні.

З огляду на вище означене параметрами оптимізаційної задачі (3) будуть тепер елементи масивів координат X і Y . Кількість шуканих параметрів можна скоротити, якщо вважати координати X попередньо заданими.

Мінімізація виразу (3) є варіаційною задачею, що не має елементарного розв'язання. Тому зробимо припущення, яке дозволяє спростити (3), хоча й дещо погіршить кінцевий результат. Замінімо (3) виразом

$$\bar{K} = \sum_{t=1}^{N-1} (l_t)^2$$

і визначимо параметри Y_t за умови його мінімуму.

Тоді Y_t повинні задовольняти системі:

$$\frac{\partial \bar{K}}{\partial y_t} = 0.$$

Після виконання операції диференціювання, одержимо:

$$\frac{\partial [(z_{t+1} - z_t)^2 + (y_{t+1} - y_t)^2 + (x_{t+1} - x_t)^2 + (z_t - z_{t-1})^2 + (y_t - y_{t-1})^2 + (x_t - x_{t-1})^2]}{\partial y_t} = (z_{t+1} - z_t) \left(\frac{\partial z_t}{\partial y_t} \right) + (y_t - y_{t+1}) + (z_t - z_{t-1}) \left(\frac{\partial z_t}{\partial y_t} \right) + (y_t - y_{t-1}) = 0$$

З огляду на лінійність Y_t в функції $F_t(x, y)$, матимемо систему

$$a_t \cdot y_{t+1} + b_t \cdot y_t + c_t \cdot y_{t-1} = d_t,$$

де $a_t = -P_{t+1} \cdot P_t - 1$;

$$b_t = 2(1 + P_t^2);$$

$$c_t = -P_{t-1} \cdot P_t - 1;$$

$$d_t = (L_{t+1} - 2L_t + L_{t-1}) P_t.$$

У випадку, коли функція $F_t(x, y)$ являтиме собою гіперболічний параболоїд:

$$F_t(x_t, y_t) = \left(\frac{x_{t,1} - x_t}{x_{t,3} - x_{t,1}} + 1 \right) \left(1 - \frac{y_t - y_{t,1}}{y_{t,2} - y_{t,1}} \right) + \left(1 - \frac{x_t - x_{t,1}}{x_{t,3} - x_{t,1}} \right) \cdot z_{t,2} \cdot \left(\frac{y_t - y_{t,1}}{y_{t,2} - y_{t,1}} \right) + z_{t,3} \left(\frac{x_t - x_{t,1}}{x_{t,3} - x_{t,1}} \right) \left(1 - \frac{y_t - y_{t,1}}{y_{t,2} - y_{t,1}} \right) + \left(\frac{x_t - x_{t,1}}{x_{t,3} - x_{t,1}} \right) \left(\frac{y_t - y_{t,1}}{y_{t,2} - y_{t,1}} \right) \cdot z_{t,4},$$

то коефіцієнти P_t і L_t визначаються за формулами:

$$P_t = \frac{1}{y_{t,2} - y_{t,1}} \left\{ \frac{x_t - x_{t,1}}{x_{t,3} - x_{t,1}} [z_{t,1} + z_{t,4} - z_{t,2} - z_{t,3}] + z_{t,2} - z_{t,1} \right\},$$

$$L_t = \left[1 - \frac{x_t - x_{t,1}}{x_{t,3} - x_{t,1}} \right] \left[z_{t,1} + \frac{y_{t,1}}{y_{t,2} - y_{t,1}} (z_{t,1} - z_{t,2}) \right] +$$

$$+ \left[\frac{x_t - x_{t,1}}{x_{t,3} - x_{t,1}} \right] \left[z_{t,3} + \frac{y_{t,1}}{y_{t,2} - y_{t,1}} (z_{t,3} - z_{t,4}) \right],$$

а масиви $\{x_{t,1}, y_{t,1}, z_{t,1}\} \dots \{x_{t,4}, y_{t,4}, z_{t,4}\}$ – координати вузлів прямокутної сітки ЦММ, яка задає рельєф.

Мінімізація функціонала (3) виявилась зведеною до визначення параметрів Y_t при розв'язанні лінійних алгебраїчних рівнянь, що може бути достатньо просто реалізовано програмно на основі існуючих надійних алгоритмів рішення систем зазначеного типу в САПР.

Навність сукупності конкуруючих варіантів напрямків траси обумовило виникнення задачі їх порівняльного аналізу

Тому, подальші дослідження були спрямовані на пошук способу, який дозволив би порівнювати варіанти знайдених на основі (2), розглядаючи її як просторову лінію, що належить заданій поверхні. В результаті було вирішено оцінювати напрямки за допомогою оцінки діаграм змін кривин в кожній точці вздовж кожного варіанту просторової лінії траси [8].

Враховуючі, що інформація про варіанти лінії траси і рельєф задається в дискретній формі як масиви значень координат $\{x, y, z\}$, то можна оцінювати кривину траси в кожній точці M за формулою:

$$k = \frac{1}{R_M},$$

де R_M – радіус сфери, яка проходить через чотири суміжні точки M на рельєфі, представленим у вигляді його цифрової моделі. Тоді значення R_M можна визначити в наслідок розв'язання системи рівнянь:

$$\begin{aligned} (x_{i-1} - x_M)^2 + (y_{i-1} - y_M)^2 + (z_{i-1} - z_M)^2 &= R_M^2; \\ (x_{i+1} - x_M)^2 + (y_{i+1} - y_M)^2 + (z_{i+1} - z_M)^2 &= R_M^2; \\ (x_{j-1} - x_M)^2 + (y_{j-1} - y_M)^2 + (z_{j-1} - z_M)^2 &= R_M^2; \\ (x_{j+1} - x_M)^2 + (y_{j+1} - y_M)^2 + (z_{j+1} - z_M)^2 &= R_M^2, \end{aligned}$$

де $\{x_M; y_M; z_M\}$ – координати центру сфери, якій належить визначеній на лінії.

Якщо побудувати діаграму змін кривин вздовж лінії траси, то форма кривої, що утвориться, природно, буде характеризувати її просторову плавність: візуальна плавність діаграми змін кривин є ознакою плавності кривої в просторі.

Для оцінки кривини траси можна використовувати і кривину тільки її подовжнього профілю. Якщо, наприклад, він описується деякою функцією $z = z(x)$, то кривина обчислюється за відомою формулою

$$K = \frac{z''}{(1 + z')^2}. \quad (4)$$

Для дискретної форми запису кривини можна використати два підходи:

- представити першу та другу похідні функції $z = z(x)$ у виразі (4) через кінцеві різниці

$$K = \frac{z_{i+1} - 2z_i + z_{i-1}}{h^2 \left(1 + \frac{z_{i+1} - z_{i-1}}{2h}\right)^2},$$

де h – крок дискретизації функції $z = z(x)$, $i=2, \dots, N-1$;

- визначити кривину як величину, зворотну значенню радіусу кола, яке проходить через три суміжні точки профілю траси, що не належать до однієї прямої.

Висновки та пропозиції

Представлена геометро-аналітична модель відшукання на заданому рельєфі місцевості ліній з певними геометричними характеристиками дозволяє отримувати сукупність можливих напрямків побудови лінійних споруд, які вже на початковій стадії трасування враховують вимоги до їх просторової геометрії – плавності, протяжності тощо.

Запропонований в роботі підхід до оцінки просторової геометрії можливих напрямків траси за допомогою діаграм змін кривин надає можливість порівнювати конкуруючі варіанти з точки зору просторової плавності, не будуючи заради цієї мети перспективні або будь-які інші наочні зображення.

Література

1. Програма «Дороги 1.0» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.demetra5.kiev.ua/pictures/catalog/Credo/Dorogi1.jpg>
2. ДБН В.2.3-4:2007. Споруди транспорту. Автомобільні дороги.
3. Бабков В.Ф. Трассирование автомобильных дорог : учебное пособие / Бабков В.Ф. – М. : МАДИ, 1993. – 80 с.
4. Кузьмін В. І., Білятинський О. А. Інженерна геодезія в дорожньому будівництві : навч. посіб. / Кузьмін В. І., Білятинський О. А. – К. : Вища шк., 2006. – 278 с.
5. Левчук Г. П. Курс инженерной геодезии / Левчук Г. П. – М. : Недра, 1970. – 411 с.
6. Монін І. Ф. Вища геодезія / Монін І. Ф. – К. : Вища шк., 1993. – 230 с.
7. Болдаков Е.В. Техничко-экономическое обоснование при проектировании автомобильных дорог и мостовых переходов / Болдаков Е.В., Федотов Б.А., Перевозников Б.Ф. – М. : Транспорт, 1981. – 207 с.
8. Шилов П. И. Инженерная геодезия и аэрогеодезия / Шилов П. И., Федоров В. И. – М. : Недра, 1971. – 384 с.
9. Білятинський О. А. Інженерна геодезія : зб. задач / Білятинський О. А., Володін М. О., Демчишина К. С., Омельчук С. К. – К. : Вища шк., 1992. – 190 с.
10. Федоров В. И., Шилов П. И. Инженерная геодезия / Федоров В. И., Шилов П. И. – М. : Недра, 1982. – 357 с.
11. Шевченко А. В. До питання оцінки просторової плавності траси автошляху / А. В. Шевченко, О.П. Вітюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 1996. – № 4. – С. 11–13.
12. Багратуні Г. В. Инженерная геодезия / Г. В. Багратуні – М. : Недра, 1984. – 344 с.
13. Мокін В. В. Концепція створення геоінформаційної системи підтримки прийняття рішень для управління транспортною мережею міста / В. В. Мокін, В. Г. Сторчак // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2009. – № 3. – С. 78–83.
14. Полищук Ю. В. Высотные разбивочные работы в строительстве / Ю. В. Полищук. – К. : Будівельник, 1980. – 104 с.
15. Левчук Г. П. Прикладная геодезия. Геодезические работы при изысканиях и строительстве инженерных сооружений / Г. П. Левчук, В. Е. Новаков, Н. Н. Лебедев. – М. : Недра, 1983. – 265 с.
16. Ломтадзе В. Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика / В. Д. Ломтадзе. – Л. : Недра, 1997. – 479 с.
17. Анпилогова В.А. О проведении линии минимальной суммарной кривизны, принадлежащей заданной поверхности / В.А. Анпилогова, О.П. Витюк//Прикл. геометрия и инж. графика. – 1983. – № 36. – С. 32–33.
18. Справочник по инженерной геодезии / под ред. Н. Г. Видуева. – К. : Вища школа., 1978. – 376 с.
19. Системный анализ методов проектирования автомобильных дорог / В. В. Смогунов, Н.Ю. Митрохина // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2011. – № 4 (20). – С. 116–127.
20. Справочник по геодезическим разбивочным работам / под ред. Г. В. Багратуні. – М. : Недра, 1982. – 128 с.

References

1. Prohrama «Dorohy 1.0» [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://www.demetra5.kiev.ua/pictures/catalog/Credo/Dorogi1.jpg>
2. DBN V.2.3-4:2007. Sporudy transportu. Avtomobilni dorohy.
3. Babkov V.F. Trassirovanie avtomobilnyh dorog : uchebnoe posobie / Babkov V.F. – M. : MADI, 1993. – 80 s.
4. Kuzmin V. I., Biliatynskiy O. A. Inzhenerna heodeziia v dorozhnomu budivnytstvi : navch. posib. / Kuzmin V. I., Biliatynskiy O. A. – K. : Vyshcha shk., 2006. – 278 s.
5. Levchuk G. P. Kurs inzhenernoj geodezii / Levchuk G. P. – M. : Nedra, 1970. – 411 s.
6. Monin I. F. Vyshcha heodeziia / Monin I. F. – K. : Vyshcha shk., 1993. – 230 s.
7. Boldakov E.V. Tehniko-ekonomicheskoe obosnovanie pri proektirovanii avtomobilnyh dorog i mostovih perehodov / Boldakov E.V., Fedotov B.A., Perevoznikov B.F. – M. : Transport, 1981. – 207 s.
8. Shilov P. I. Inzhenernaya geodeziya i aerogeodeziya / Shilov P. I., Fedorov V. I. – M. : Nedra, 1971. – 384 s.
9. Biliatynskiy O. A. Inzhenerna heodeziia : zb. zadach / Biliatynskiy O. A., Volodin M. O., Demchyshyna K. S., Omelchuk S. K. – K. : Vyshcha shk., 1992. – 190 s.
10. Fedorov V. I., Shilov P. I. Inzhenernaya geodeziya / Fedorov V. I., Shilov P. I. – M. : Nedra, 1982. – 357 s.
11. Shevchenko A. V. Do pyttannya otsinky prostorovoi plavnosti trasy avtoshliakhu / A. V. Shevchenko, O. P. Vitiuk // Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu. – 1996. – № 4. – S. 11–13.
12. Bagratuni G. V. Inzhenernaya geodeziya / G. V. Bagatuni – M. : Nedra, 1984. – 344 s.
13. Mokin V. V. Kontseptsiia stvorennia heoinformatsiinoi systemy pidtrymky pryiniattia rishen dla upravliannia transportnoiu merezheiu mista / V. V. Mokin, V. H. Storchak // Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu. – 2009. – № 3. – S. 78–83.
14. Polishuk Yu. V. Vysotnye razvivochnye raboty v stroitelstve / Yu. V. Polishuk. – K. : Budivelnik, 1980. – 104 s.
15. Levchuk G. P. Prikladnaya geodeziya. Geodezicheskie roboty pri izyskaniyah i stroitelstve inzhenernyh sooruzhenij / G. P. Levchuk, V. E. Novakov, N. N. Lebedev. – M. : Nedra, 1983. – 265 s.

-
16. Lomtadze V. D. Inzhenernaya geologiya. Inzhenernaya geodinamika / V. D. Lomtadze. – L. : Nedra, 1997. – 479 s.
 17. Anpilogova V.A. O provedenii linii minimalnoj summarnoj krivizny, prinallezhashej zadannoj poverhnosti / V.A. Anpilogova, O.P. Vityuk//Prikl. geometriya i inzh. grafika. – 1983. – № 36. – S. 32–33.
 18. Spravochnik po inzhenernoj geodezii / pod red. N. G. Vidueva. – K. : Visha shkola., 1978. – 376 s.
 19. Sistemnyj analiz metodov proektirovaniya avtomobilnyh dorog / V. V. Smogunov, N. Yu. Mitrohina // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Povolzhskij region. Tehnicheskie nauki. – 2011. – № 4 (20). – S. 116–127.
 20. Spravochnik po geodezicheskim razbivochnym robotam / pod red. G. V. Bagratuni. – M. : Nedra, 1982. – 128 s.

Рецензія/Peer review : 20.1.2020 р.

Надрукована/Printed : 15.4.2020 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

СТРУКТУРА КОМП'ЮТЕРНОЇ ПРОГРАМИ РЕАЛІЗАЦІЇ АЛГОРИТМУ РЕКУРСІЇ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗУСИЛЬ

В роботі наведена структура комп'ютерної програми реалізації алгоритму рекурсії для визначення технологічних зусиль. Представлена блок-схема програми для визначення технологічних зусиль на текстильних, трикотажних та швейних машинах для широкого спектру ниток та пряжі. 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, процедури, нитка, пристрої для натягу, швидкість руху нитки, довжина лінії пружної системи заправки.

V.Yu. SHCHERBAN, A.K. PETKO, O.Z. KOLISKO, Y.Yu. SHCHERBAN, M.I. SHOLUDKO

Kyiv National University of Technologies and Design

STRUCTURE OF COMPUTER PROGRAM IMPLEMENTATION OF RECURSION ALGORITHM FOR DETERMINATION OF TECHNOLOGICAL EFFECTS

The paper describes the structure of a computer program for the implementation of the recursion algorithm to determine the technological effort. A block diagram of a program for determining the technological effort of textile, knit and sewing machines for a wide range of yarns and yarns is presented. 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.

Keywords: computer program, recursion algorithm, procedures, thread, tension devices, speed of thread movement, length of line of elastic filling system.

Різне збільшення натягу призводить до порушення нормального проходження технологічного процесу переробки нитки [3, 4]. Недосконалість структурних елементів системи подачі, пристроїв для натягу нитки та спрямовувачів нитки на трикотажних, текстильних та швейних машинах не дозволяють здійснювати переробку ниток при стрибкому зростанні вхідного натягу [4]. Низька якість сировини, недосконалість лінії заправки технологічного устаткування при збільшенні натягу по глибині заправки призводить до обривів. Прості устаткування, пов'язані з ліквідацією обриву, складають в даний час 75–80% від загального часу простоїв [4, 7, 9]. Аналіз дефектів, що приводять до обриву нитки при переробці, показав, що найбільш вагомими є слабкі місця на нитці (стоншування), шишки і потовщення, моховитість [4, 8–11]. Якщо виникнення перших двох дефектів пояснюється низькою якістю початкової сировини і порушенням технологічного процесу при виробництві, то останній, як наголошувалося вище, виникає безпосередньо при взаємодії ниток з робочими органами технологічного устаткування [4, 6–10]. Розробка нових схем системи подачі нитки потребує оперативної оцінки значення натягу перед робочою зоною. Для цього ефективно використовувати спеціально розроблені програми для виконання обчислювального експерименту [3, 4].

Постановка завдання

На основі реалізації алгоритму визначення натягу нитки по зонах заправки на технологічному обладнанні, з використанням рекурсії, розробити комп'ютерну програму.

Основна частина

На рис. 1,а представлена структурна схема заправки нитки на технологічному обладнанні. Практично для будь-якої технологічної машини (швейної, текстильної, трикотажної) схема заправки включає зону 0, в якій нитка сходиться з бобіни, шпулі, ткацького навою, котушки основов'язальної машини. В зонах 1...N нитка взаємодіє з робочими елементами системи подачі. До робочих елементів відносяться різні спрямовувачі з отворами у формі тора [5, 6, 11], циліндричні спрямовувачі [5], пристрої для натягу нитки (шайбові, гребінчасті, пальцеві, оригінальної конструкції для конкретної технологічної машини [9]), компенсатори натягу нитки (з шайбами, з пальцями, гребінчастий, трубчатий [6], оригінальної конструкції для конкретної технологічної машини [10]). Зона ZP представляє собою робочу зону, де нитка переробляється (зона в'язання, зона формування тканини, зона зшивання матеріалів, зона формування ткацьких навоїв, зона формування бобін та ін.).

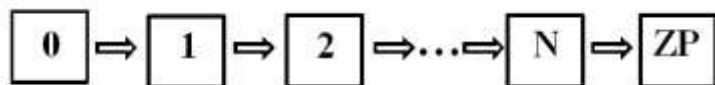


Рис. 1. Структурна схема заправки нитки на технологічному обладнанні

Нормальне протікання технологічних процесів можливе у випадку, коли нитка перед зоною ZP буде мати мінімально необхідний натяг. При збільшенні натягу в системі подачі будуть виникати обриви, що

приведе до зупинки технологічного обладнання та знизить його продуктивність. Крім того, розробка нових схем системи подачі нитки потребує оперативної оцінки значення натягу перед роботою зоною ZP . Для цього ефективно використовувати спеціально розроблені програми для виконання обчислювального експерименту [3, 4].

Характерною особливістю структурних схем заправки нитки на технологічному обладнанні є те, що вихідний натяг нитки на поточній зоні буде вхідним для наступної. Це дозволяє використовувати рекурсивний підхід для визначення натягу перед робочою зоною ZP . Лінію заправки необхідно розбити на зони, в кожній з котрих буде знаходитися один елемент системи подачі. Тоді система рівнянь, яка описує зміну натягу за зонами, буде мати вигляд

$$\begin{aligned} P_1 &= P_0 f_0(P_0), \\ P_2 &= P_1 f_1(P_1), \\ &\dots\dots\dots \\ P_i &= P_{i-1} f_{i-1}(P_{i-1}), \\ i &= 1, 2 \dots n, \end{aligned} \quad (1)$$

де P_0 – натяг нитки в зоні входу в систему подачі на технологічній машині; $P_1, P_2 \dots P_i$ – натяг нитки при виході з відповідної зони; $f_0(P_0), f_1(P_1) \dots f_{i-1}(P_{i-1})$ – 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.

Використовуючи рекурсивний підхід для визначення натягу нитки перед роботою зоною ZP , за якої вихідний натяг нитки на поточній зоні буде вхідним для наступної (рис. 1), представимо систему рівнянь (1) у вигляді

$$P_n = P_0 \prod_{i=0}^n f_i(P_i) \quad (2)$$

На рис. 2 представлена блок-схема комп'ютерної програми [1, 2] реалізації алгоритму рекурсії для визначення технологічних зусиль. Зупинимося на розшифруванні окремих блоків. Блок 1 відповідає початку виконання алгоритму. В блоці 2 задаються величини: $kivuz$ – кількість вузлів; $vruz$ – швидкість руху нитки; $dlinz$ – довжина лінії заправки. В блоці 3 розраховується час руху нитки після сходу з бобіни до моменту входу в робочу зону за формулою

$$TRUXU = dlinz / vruz. \quad (3)$$

Блок 4 включає в себе три блока процедур: `procedure TForm2.N2Click`; `procedure TForm2.N3Click`; `procedure TForm2.N4Click`. Процедура `procedure TForm2.N2Click` забезпечує обрання виду сировини: процедура `procedure TForm2.N28Click` забезпечує введення даних для бавовняної пряжі; процедура `procedure TForm2.N29Click` забезпечує введення даних для вовняної пряжі; процедура `procedure TForm2.N36Click` забезпечує введення даних для шовкової нитки; процедура `procedure TForm2.N37Click` забезпечує введення даних для віскозної нитки; процедура `procedure TForm2.N38Click` забезпечує введення даних для капронової комплексної нитки; процедура `procedure TForm2.N39Click` забезпечує введення даних для лавсанової нитки; процедура `procedure TForm2.N40Click` забезпечує введення даних для льняної нитки; процедура `procedure TForm2.N30Click` забезпечує введення даних для капронової мононитки. При обранні сировини задається текс нитки чи пряжі. На наступному етапі розраховується діаметр перетину.

Процедура `procedure TForm2.N3Click` забезпечує обрання діаметру сировини. В програмі закладена можливість використання трьох варіантів: діаметр нитки чи пряжі постійний (процедура `procedure TForm2.N31Click`); діаметр змінюється за періодичним законом (процедура `procedure TForm2.N12Click`); зміна діаметру сировини відбувається за законом, який запропонований користувачем (процедура `procedure TForm2.N14Click`). Для цього в програмі використовується модифікований транслятор на основі зворотних польських записів.

В блоці 5 обирається перший елемент системи подачі ниток конкретної технологічної машини. Блок 6 використовується для обрання матеріалу напрямної поверхні. Для цього реалізується процедура `procedure TForm2.N43Click` при обранні сталевий чи керамічної напрямної. Залежно від обрання матеріалу з бази застосовуються відповідні коефіцієнти тертя [7, 8].

Блок 7 процедур включає в себе три блока процедур: процедура `procedure TForm2.N5Click`, яка використовує пристрої для натягу нитки (шайбові – процедура `procedure TForm2.N19Click`, гребінчасті – процедура `procedure TForm2.N20Click`, пальцьові – процедура `procedure TForm2.N21Click`, оригінальної конструкції для конкретної технологічної машини – процедура `procedure TForm2.N45Click`); процедура `procedure TForm2.N6Click`, яка використовує компенсатори натягу нитки (з шайбами – процедура `procedure TForm2.N22Click`, з пальцями – процедура `procedure TForm2.N23Click`, гребінчастий – процедура `procedure TForm2.N24Click`, трубчатий – процедура `procedure TForm2.N25Click`, оригінальної конструкції для конкретної технологічної машини – процедура `procedure TForm2.N46Click`); процедура `procedure TForm2.N7Click`, яка використовує циліндричні спрямовувачі при спрямуванні нитки в робочу зону – процедура `procedure TForm2.N27Click` та спрямовувачі з отворами у формі тора – процедура `procedure TForm2.N26Click`.

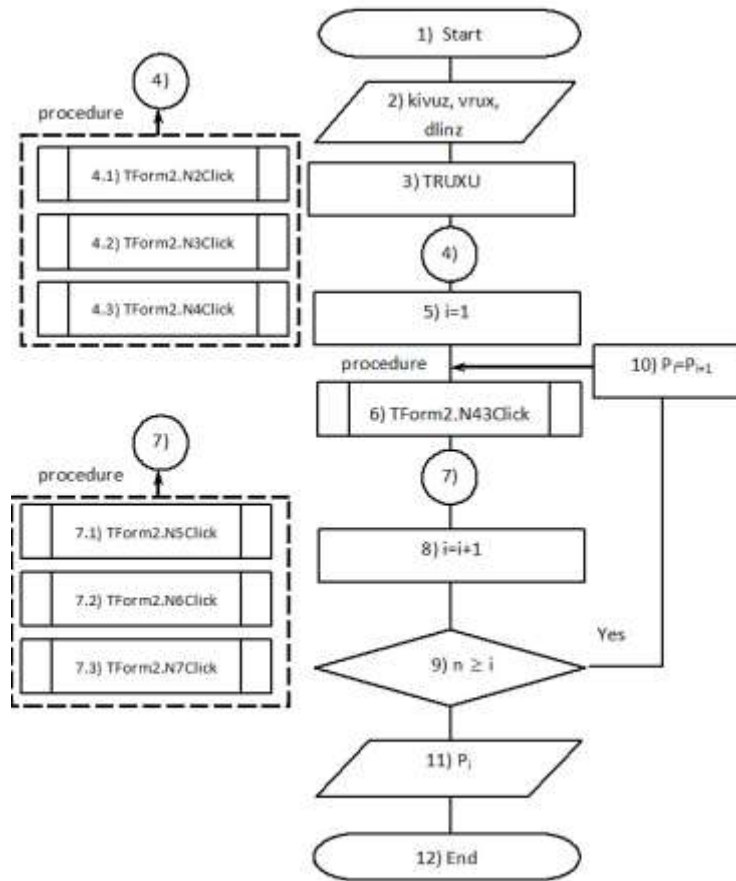


Рис. 2. Блок-схема комп'ютерної реалізації алгоритму визначення натягу нитки с використанням рекурсії

В блоці 8 здійснюється перехід до наступного елемента системи подачі. Блок 9 використовується для перевірки номеру елемента системи подачі с заданим числом елементів системи подачі нити технологічної машини. У випадку виконання умови відбувається повернення до блоку 6. При цьому в блоці 10 відбувається пере присвоювання, коли вихідний натяг нитки на поточній зоні буде вхідним для наступної. У випадку, коли умова не виконується, відбувається перехід до блоку 11, де фіксується натяг нитки перед робочою зоною *ZP*. Блок 12 відповідає кінцю виконання алгоритму.

На рис. 3 представлені перша та основна форма програми.

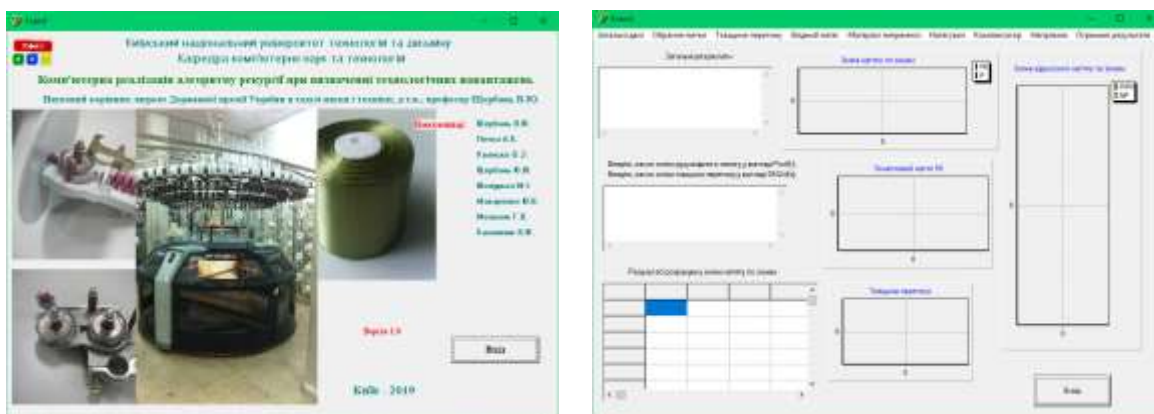


Рис. 3. Перша та основна форма програми

На рис. 4 представлені основні компоненти головного меню MainMenu1: TMainMenu програми. Графічна форма процедури procedure.TForm2.N32Click загальних даних представлена на рис. 4,а. Графічна форма процедури procedure.TForm2.N2Click обрання нитки представлена на рис. 4,б.

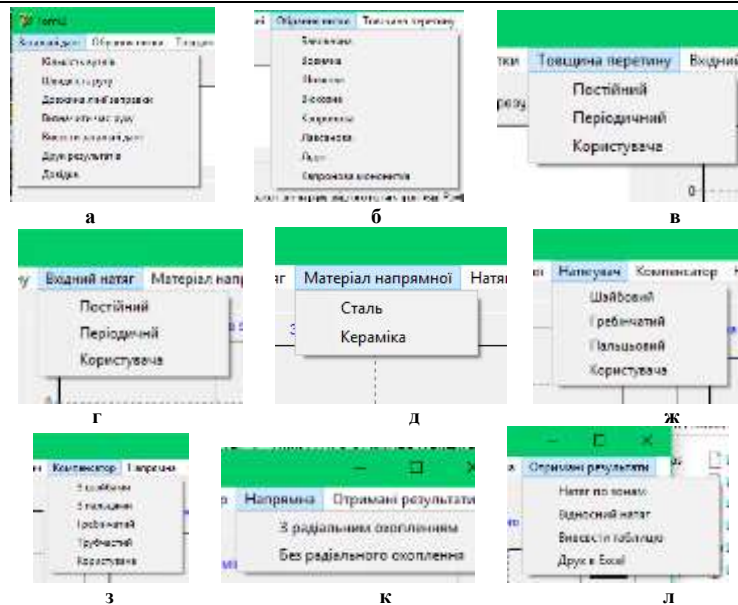


Рис. 4. Основні компоненти головного меню MainMenu1: TMainMenu програми

Графічна форма процедури procedure TForm2.N3Click товщини перетину представлена на рис. 4,в. Графічна форма процедури procedure TForm2.N4Click вхідного натягу представлена на рис. 4,г. Графічна форма процедури procedure TForm2.N42Click матеріалу напрямної представлена на рис. 4,д. Графічна форма процедури procedure TForm2.N5Click обрання пристрою для натягу нитки представлена на рис. 4,ж. Графічна форма процедури procedure TForm2.N6Click компенсатора натягу нитки представлена на рис. 4,з. Графічна форма процедури procedure TForm2.N7Click напрямної для нитки представлена на рис. 4,к. Графічна форма процедури procedure TForm2.N8Click розрахунку та представлення результату представлена на рис. 4,л.

На рис. 5 представлені результати розрахунку натягу нитки за зонами для 4 елементів системи подачі нити технологічної машини. На графічних діаграмах представлені відносний натяг за зонами, що дозволяє оцінювати напруженість процесу взаємодії нитки з елементами системи подачі та вносити відповідні корективи в параметри їх заправки.

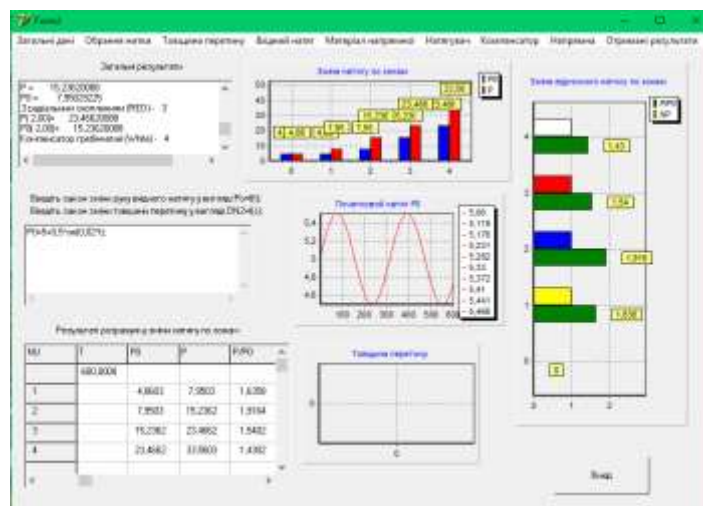


Рис. 5. Результати розрахунку натягу нитки по зонах для 4 елементів системи подачі нити технологічної машини

Висновки

На основі реалізації алгоритму визначення натягу нитки за зонами заправки на технологічному обладнанні, з використанням рекурсії, розроблена комп'ютерна програма, за допомогою якої, з урахуванням реальних фізико-механічних властивостей сировини, можна визначити натяг перед робочою зоною та оцінювати напруженість процесу за зонами заправки.

Література

1. Свідоцтво № 89242 про реєстрацію авторського права на твір «Комп'ютерна програма для реалізації чисельних методів» / 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 р.

2. Свідоцтво № 89243 про реєстрацію авторського права на твір «Комп'ютерна програма «Програмний комплекс для визначення оптимальної траєкторії нитки на трикотажних машинах»» / 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 р.
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. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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. Shcherban V.Yu., Kolisko O.Z., Makarenko Y.V., Melnyk G.V., Petko A.K., Sholudko M.I., Kalashnik V.Yu. Certificate No. 89242 on the registration of copyright for the work "Computer program for the implementation of numerical methods". Registration Date 03.06.2019.
2. Shcherban V.Yu., Kolisko O.Z., Makarenko Y.V., Melnyk G.V., Petko A.K., Sholudko M.I., Kalashnik V.Yu. 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". Registration Date 03.06.2019.
3. Shcherban V.Yu., Kolisko O.Z., Melnyk G.V., Sholudko M.I., Kalashnik V.Y. Computer systems design: software and algorithmic components. K.: Education of Ukraine, 2019. 902 p.
4. Scherban V.Yu. Mechanics of Threads. K.: Formation of Ukraine, 2018. 533 p.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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 : 21.1.2020 р.

Надрукована/Printed : 14.2.2020 р.
Рецензент: д.т.н., проф. В.Г. Здоренко

За зміст повідомлень редакція відповідальності не несе

Повні вимоги до оформлення рукопису
<http://vestnik.ho.com.ua/rules/>

Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол № 7 від 30.01.2020 р.

Підп. до друку 29.02.2020 р. Ум. друк. арк. 34,12 Обл.-вид. арк. 32,46
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