

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

# **ВІСНИК**

**КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ**

**№ 3 (134), 2019**

**Частина 2 (серія «Технічні науки»)**

**DOI:10.30857/1813-6796.2019.3**

Наукове фахове видання

Періодичність виходу: 6 разів на рік

Дата заснування: грудень 1999 р.

*Київ 2019*

**Засновником журналу «ВІСНИК Київського національного університету технологій та дизайну» є**

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ**

Науковий фаховий журнал є правонаступником видання «Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности», який видавався з березня 1958 року у Київському технологічному інституті легкої промисловості (СРСР)

**№3 (134), 2019**

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації: серія KB №19330–9130 ПР від 08.08.2012 р.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи: ДК № 993 від 24.07.2002 р.

**Журнал входить до переліку наукових фахових видань України.** Наказ МОН України від 18.12.2018 № 1412 (додаток 10, рішення щодо подовження) – фаховість із технічних наук ( категорія Б).

**ISSN 1813-6796 print**  
**ISSN 2617-9105 online**

Журнал зареєстровано в Міжнародному центрі періодичних видань (ISSN International Centre, Париж, Франція)

Журнал реферується та індексується у наступних міжнародних базах даних: Ulrich's Periodicals Directory, EBSCOhost, WorldCat, РИНЦ, Index Copernicus, Research Bible, SJIF, PBN, JIF, OAJI, InfoBase Index, ISI, UIF, CiteFactor, Google Scholar, Crossref

**Засновник і видавець:**

Київський національний університет технологій та дизайну  
Україна, 01011, м. Київ, вул. Немировича-Данченка, 2

**Головний редактор:**

**Грищенко І. М.**, д.е.н., професор, академік НАПН України

**Заступник**

**головного редактора:**

**Злотенко Б. М.**, д.т.н., професор

**Відповідальний секретар:**

**Василенко В. М.**, к.т.н.

Тематична спрямованість журналу «Вісник КНУТД»: Мехатронні системи. Ресурсозбереження та енергоефективність. Матеріалознавство індустрії моди, технологій виробництва текстилю, одягу та взуття. Хімічні та біофармацевтичні технології

Видання орієнтоване на науковців, викладачів, аспірантів, студентів, а також науково-практичних працівників і фахівців відповідних галузей промисловості.

**АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:**

01011, м. Київ, вул. Немировича-Данченка, 2, корп. 1, к. 1-0252

тел./факс: +38 (044) 256-29-86

e-mail: [vistnuk@knutd.edu.ua](mailto:vistnuk@knutd.edu.ua)

<http://vistnyk.knutd.edu.ua/>

**Рекомендовано до друку Вченою радою Київського національного університету технологій та дизайну, протокол № 11 від 25.06.2019 р.**

Матеріали друкуються мовою оригіналу. Відповідальність за переклад, достовірність фактів, цитат, власних імен, географічних назв, назв підприємств, організацій, установ та іншої інформації несуть автори статей. Передруки та переклади статей дозволяються лише за згодою автора (-ів) та редакції.

**MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE**

# **BULLETIN**

**of the KYIV NATIONAL UNIVERSITY  
of TECHNOLOGIES and DESIGN**

**Issue 3 (134), 2019 Part 2.  
Technical Science Series**

**DOI:10.30857/1813-6796.2019.3**

Scientific Specialized Edition

Issued: 6 times a year

Founded: December, 1999

*Kyiv 2019*

**The owner of «BULLETIN of the Kyiv National University of Technologies and Design» is**

**KYIV NATIONAL UNIVERSITY OF TECHNOLOGIES AND DESIGN**

This Scientific Specialized Journal is the successor of the edition «Proceedings of Higher educational establishments. Technology of the light industry», which was published by Kiev Technological Institute of Light Industry from March, 1958 (USSR)

**№3 (134), 2019** The state registration of print media is KB № 19330-9130 ПП, originating date 08.08.2012

License for publishing activity is ДК № 993, originating date 24.07.2002

The journal is listed & reregistered in Higher Attestation Commission of Ukraine: № 1412, originating date 18.12.2018. Fields: Technical Science.

---

**ISSN 1813-6796 print**  
**ISSN 2617-9105 online**

The journal is registered in ISSN International Centre, Paris.

The journal is abstracted and indexed by Ulrich's Periodicals Directory, EBSCOhost, WorldCat, РИИЦ, Index Copernicus, Research Bible, SJIF, PBN, JIF, OAJI, InfoBase Index, ISI, UIF, CiteFactor, Google Scholar, Crossref

---

**Owner and Publisher:**

Kyiv National University of Technologies and Design  
Ukraine, 01011, Kyiv, 2, Nemyrovych-Danchenka, Str.

---

**Editor-in- Chief:**

**Ivan M. Gryshchenko** - Dr., professor, Member of NAPS of Ukraine

**Deputy Editor:**

**Borys M. Zlotenko** - Dr., professor

**Executive secretary:**

**Viktoria M. Vasylenko** - PhD

---

Scientific fields: Mechatronic systems. Energy Efficiency and Resource-saving Technologies. Material science in the textile, clothing and footwear manufacturing industries. Chemical and biopharmaceutical technologies

The journal is aimed at a wide range of researchers, professors, students, and graduate students and to bring the results of scientific research carried out under a variety of intellectual traditions and organizations of procedures to the attention of a specialized readership.

**EDITORIAL OFFICE:**

01011, Ukraine, Kyiv, 2, Nemyrovych-Danchenka, Str., office 1-252

Tel./fax: +38 (044) 256-29-86

e-mail: [vistnuk@knutd.edu.ua](mailto:vistnuk@knutd.edu.ua)

<http://vistnyk.knutd.edu.ua/>

---

**Recommendations from Science Council of Kyiv National University of Technologies and Design, Protocol № 11, originating date 25.06.2019.**

---

Articles are published in the original language. The authors are responsible for the translation, authenticity of facts, quotations, proper names, geographic names, names of enterprises and other information.

The Editorial Office's and author's consent is needed prior to republishing or translating the articles.

## ЗМІСТ

### МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ. РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ

1. **ZALYUBOVSKIY M. G., PANASYUK I. V., SMIRNOV Y. I., KUZNETSOVA O. O., MALYSHEV V. V.** Analytical determination of the time of handling process of polymeric details in a machine with a complex movement of working container 9
2. **ВОЛЯНИК О. Ю., ГЛАДЧУК О. З.** Аналіз коливальних процесів у відцентровій барабанній пральній машині 18
3. **ДВОРЖАК В. М.** Силовий аналіз механізму коливального руху вушкових голок основов'язальної машини 26

### МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ІНДУСТРІЇ МОДИ, ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА ТЕКСТИЛЮ, ОДЯГУ ТА ВЗУТТЯ

4. **НОДА О. М., ЗАКОРА О. В., РЯЗАНОВА О. Ю., ФЕДОРЧЕНКО О. В.** Розробка принципу систематизації методів проектування дизайну тканин технологічними засобами 36
5. **КИЗИМЧУК О. П., АРАБУЛІ С. І., ВЛАСЕНКО В. І.** Текстиль для захисту від електромагнітного випромінювання 48
6. **ПЕРВАЯ Н. В.** Оцінювання формостійкості шкіряних матеріалів для верху взуття 62
7. **СІРКО З. С., ЗАПТАЛОВ Б. Й., СТАРИШ Є. А., ТОРЧИЛЕВСЬКИЙ Д. П., КОТЛЯРОВА І. І.** Розроблення модифікованого намету УСБ-56 73

### ХІМІЧНІ ТА БІОФАРМАЦЕВТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

8. **БАУЛА О. П., ЩЕНКО О. В., ЧЕРКАС С. С., БЕССАРАБОВ В. І., РЕСНИЦЬКИЙ І. В.** Розробка підходів до формування стратегії контролю трансдермальних терапевтичних систем 79
9. **КИСЛОВА О. В.** Інгібування амідами заміщених бензойних кислот цитоплазматичної алкогольдегідрогенази нечінки щурів 88
10. **КУЧЕРЕНКО Є. В., ПЛАВАН В. П., БУДАШ Ю. О., РОМАНЮК О. О.** Аналіз теплофізичних властивостей волокнистих нетканих матеріалів різного складу 94

УДК 621.924.7

ZALYUBOVSKIY M. G.<sup>1</sup>, PANASYUK I. V.<sup>2</sup>, SMIRNOV Y. I.<sup>3</sup>,  
KUZNETSOVA O. O.<sup>2</sup>, MALYSHEV V. V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Open University of Human Development «Ukraine»

<sup>2</sup> Kyiv National University of Technologies and Design

<sup>3</sup> National Aviation University

**ANALYTICAL DETERMINATION OF THE TIME OF  
HANDLING PROCESS OF POLYMERIC PARTS IN A  
MACHINE WITH A COMPLEX MOVEMENT OF WORKING  
CONTAINER**

**Purpose.** An analytical determination of the main technological parameters of polishing small polymer parts with a free abrasive in the form of granules in containers that perform a complex spatial movement, determination of the time of handling process of polymeric details in a machine with a complex movement of working container

**Methodology.** An analytical research was conducted of the processing of small polymeric parts by abrasive in the form of free granules in a machine whose working capacities performs a complex spatial movement to determine rational polishing conditions.

**Results.** On the basis of the conducted analytical research of the processing of small polymer parts in a machine with a complex spatial motion of a working container, mathematical dependencies were obtained that enable to predict the technological result at the design stage. It has been analytically established that in a container with proportional greater geometric parameters processing will take less time.

**Scientific novelty.** The regularities of the influence of the geometric parameters of the working container, which performs the complex spatial motion and the modes of motion of a friable working medium, are determined on the intensity of the process of polishing small polymer parts by abrasive in the form of free granules.

**Practical significance.** The mathematical dependences are obtained for the calculation of the processing time and instructions for realization of the corresponding mode of movement of a friable working medium, which provide intensive polishing of small polymer parts with a free abrasive in the form of granules, are obtained in a machine whose working capacities performs a complex spatial movement.

**Keywords:** polishing, working container, free abrasive in the form of granules, polymeric units.

**Introduction.** Formation of a large number of small polymer parts of various industries, including fittings of light industry, is caused by mechanical processing or casting. After that, the surface of the products has significant microniness and lack of gloss. Such parts are subjected to finishing, the essence of which is grinding and polishing their surface with a free abrasive in the form of granules, usually in the middle of the rotational container [1, 2] or in the capacities of vibrating machines [3]. These operations take up to 80% of the technological time [4]. Such processing in machines whose working capacities perform low-performance rotary motion [5] require a lot of time.

**Setting problem.** Reducing the processing time can be due to the intensification of polishing processes of polymeric products with a free abrasive in the form of granules using equipment in which the working container performs a complex spatial movement, due to the fact that the working environment in the processing process moves very rapidly.

However, to date, there are practically no guidelines for the processing of fine polymeric parts (grinding, polishing) with a free abrasive in the form of granules in a machine which working container is complicated by spatial motion [6], there is no scientifically substantiated information about the time required to perform the relevant technological operations.

Thus, the definition of the time required to perform the relevant technological operations, as well as the prediction of technological result at the design stage in the execution of the relevant technological operations, is an urgent task to date.

**Results of the study.** Intensification of polishing processes of polymeric products by free abrasive in the form of granules can occur in the course of increasing the friction path  $S$ , which passes a part in the middle of the working container for a complete cycle of processing. In turn, the path of friction passed will depend on the geometric parameters of the working container. It is known [7] that the main displacement, which performs a particle in the middle of the working container, is its displacement along the x-axis of the cylindrical container. In one full rotation of container there are two such movements along its axis  $x$ , with each change in the direction of displacement the particle stops near one of the ends of the container. The actual total displacement of the particle along the capacitive axis will be somewhat reduced due to the fact that a portion of the free volume of the container will fill the friable working environment. According to the work presented in [7], the trajectories of moving the particle in the working container, found that the actual friction path that passes the particle (product) in one revolution of the driving shaft of the machine is approximately equal to three distances  $l_{II}$  between opposite ends of the container:

$$S = 3l_{II}. \quad (1)$$

The friction path that the product passes over the entire processing process:

$$S = 3l_{II}q, \quad (2)$$

where  $q$  – number of revolutions carried out by the driving shaft for the entire period of processing.

In turn, the number of revolutions that executed the leading shaft for the entire period of processing can be determined as follows:

$$q = nt60, \quad (3)$$

where  $n$  – number of revolutions carried out by the driving shaft, rpm;  $t$  – time of treatment period, hours. Switch from the angular velocity  $\omega$  [rad/s] to the rotational speed  $n$  [rpm] by the known formula [8]:

$$n = \frac{30\omega}{\pi}. \quad (4)$$

Substituting expression (3) in the formula (2) and obtain:

$$S = 180l_{II}nt. \quad (5)$$

Thus, according to expression (5), a friction path passing through the part in the middle of the working tank, which performs a complex spatial movement for the corresponding period of processing, can be established.

In addition to the friction path that the part is passed, the force influence of the abrasive components on these parts should also be taken into account, which will occur in the force of slip

friction between the surface of the machined parts and abrasive material with a volume limited by a large surface of this part and its height of the bulk mass to this area.

In the process of operation of the machine, the modulus and the vector of the friction-slip force between the product and the abrasive will respectively change. However, the force of friction-slip will occur only when there is a movement of the abrasive material on the surface of the part. To simplify the theoretical hypothesis, we will arbitrarily assume that the immobilized part is located under the moving layer of the abrasive, which slides on the surface of the workpiece, which, in turn, is at a certain angle to the horizontal plane.

If you observe the movement of a loose working mass in relation to the product through the transparent walls of the working container of the experimental stand with the dimensional parameters corresponding to the mass ratio of  $n=1,0$  when filling by 40%, then it becomes clear that the greatest movement of the abrasive on the surface of the workpiece is at that moment, when she, moving from one end of the container to the opposite, stops, and then, on its surface, an array of abrasive, which slides on it, pours out. It is visually established that for a working container of an experimental stand, the bulk height of the abrasive is approximately equal to the radius of the end of the container. The calculation scheme for determining the force influence of the abrasive array on the machined surface of the part is shown in Fig.1.

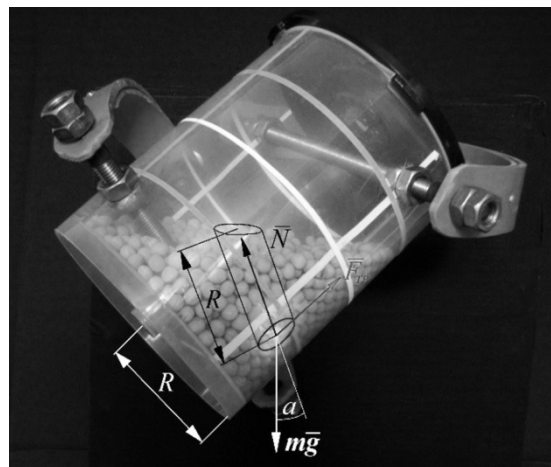


Fig. 1. Design scheme for determining the force influence of the abrasive array on the treated surface of the part in the middle of the working container of the test stand

However, the assertion that, for example, in a working tank with a volume of  $0,3 \text{ m}^3$  (300 liters) relative to the conditionally stationary surface of the workpiece will move a bulk array of approximately 0,3 m height, since this is the radius of the end face will have a container of  $0.3 \text{ m}^3$  (300 liters). The situation described above, may be valid only for working capacities with a relatively small volume. It is known [9] that the height of the moving layer of a bulk solid that moves along the surface of the immovable part of the friable medium does not exceed 0.1 m. We will use these guidelines for our own analytical research.

Thus, in determining the friction-slip force we will assume that when moving the abrasive material on the surface of the part, the bulk height of such an abrasive coating is approximately equal to the radius of the end of the working container, but not more than 0.1 m, since, in excess of

this height, the displacement of the abrasive on the treated surface will be practically absent or minimized.

We will then write down the law of Amonton-Coulon to determine the dynamic force of friction-slip that will occur between the processed surface of the part and the abrasive array:

$$F_{TP} = fN, \quad (6)$$

where:  $f$  – slip friction coefficient, which should be taken for the interaction between the materials of the parts and the abrasive between them;  $N$  – the strength of the support's normal reaction.

The strength of the support's normal reaction  $N$  is defined as:

$$N = mg \cos \alpha, \quad (7)$$

where:  $m$  – mass of abrasive material of a corresponding volume, which creates pressure on the surface of the part,  $g$  – free fall acceleration,  $\alpha$  – angle of inclination to the horizon of the treated.

In the process of polishing the parts occupy a variety of positions relative to the walls of the container and the horizontal plane, therefore the angle of inclination  $\alpha$  is constantly changing and, as a rule, different from zero degrees. However, taking into account that the maximum angle of inclination of the axis of the working container of the basic design of the machine to the horizontal plane is  $54^\circ$ , and also, that it is precisely at such a position of the working container that the greatest relative displacement of the abrasive on the surface of the workpiece is realized, we will accept the value of the angle  $\alpha$  equal to  $54^\circ$ .

We substitute expression (7) into equation (6):

$$F_{TP} = fmg \cos 54^\circ. \quad (8)$$

Thus, we can conclude that the proportional change in geometric parameters of the working container at the same time will change the following parameters: The distance traveled through the product in the middle of the container (friction path)  $S$  and the friction force  $F_{TP}$ . Therefore, consider these parameters in the complex, as a work of frictional force  $A_{Fmp}$ :

$$A_{F_{TP}} = F_{TP} S. \quad (9)$$

We substitute the equation (9) for expressions (5) and (8):

$$A_{F_{TP}} = 180 fmg \cos 54^\circ l_{II} n t. \quad (10)$$

By expression (10) one can determine the work of frictional force  $A_{Fmp}$  between the part and the abrasive material. In order to determine the time required for the processing of parts in the working container of another size with the corresponding angular velocity of the drive shaft, we shall express from the formula (10) the value  $t$ :

$$t = \frac{A_{F_{TP}}}{180 fmg \cos 54^\circ l_{II} n}, \text{ [hour]} \quad (11)$$

In order to determine the work of the frictional force  $A_{Fmp}$  between the part and the abrasive material that needs to be performed in order to allow the surface of the part to be processed, an additional experimental study of the polishing of the surface of the parts in the middle of the working container of the experimental installation, the essence of which is to achieve the required

value of the roughness parameter of the part's surface corresponding to the processed sample. After that, taking into account the most important parameters, according to expression (11), it is possible to determine the time spent on performing the polishing operations.

Then, based on the results and conditions of the experiment [10], we will check the correctness of the stated theoretical dependencies. We will record in general terms the equation obtained by using the Microsoft Excel-2016 equation obtained as a result of the approximation of experimental data describing the dependence of the roughness change on the  $R_a$  or  $R_{max}$  parameter from the time of processing under the exponential law:

$$R_x = R_0 e^{-xt}, \quad (12)$$

where:  $R_x$  – the value of the roughness of the surface of the part with the corresponding parameter,  $\mu\text{m}$ ;  $R_0$  – the value of the roughness of the surface of the rough part with the corresponding parameter,  $\mu\text{m}$ ;  $e$  – exponent;  $t$  – processing time, hour;  $x$  – dimensionless coefficient characterizing the intensity of the curve decay. We will express from the equation (12) the processing time and get a logarithmic dependence:

$$t = \frac{\ln(R_0 / R_x)}{x}. \quad (13)$$

By expression (13), it is possible to set the time required to achieve the corresponding value of the roughness parameter of the surface of the buttons, when processed in a working container with the corresponding geometric parameters. However, such an equation with the corresponding value of  $x$  can be obtained only after an experimental study of processing in a container with specific geometric parameters. To verify the validity of the theoretical dependencies, determine the work of frictional force between the surface of the button with a diameter of 28 mm and the abrasive material necessary for the surface of the part to be processed in the middle of the container at  $n=1,54$ , substituting all the necessary data in expression (10).

Taking into account the lack of information in the reference books, the coefficient of friction slipping  $f$  on the ceramic surface of the abrasive was determined experimentally on the moist surface of the polyester button, which was 0.2.

The mass of the abrasive material  $m$  of the corresponding volume, which creates the pressure on the surface of the product, will be determined as the multiplication number of the conventional volume, which is limited to the processed surface of the button and the height of the bulk mass that acts on this surface, multiplied by the bulk density of the abrasive material:

$$m = \pi r^2 h \cdot 1500, \quad (14)$$

where:  $r$  – radius of the processed surface of the button, m;  $h$  – height of the bulk mass, acting on the area of the treated surface, m; 1500 – bulk density of abrasive material  $\text{kg} / \text{m}^3$ .

Since it has been previously established that the height of the bulk mass is equal to the radius of the butt end of the vessel, but does not exceed 0.1 m, and the working container at  $n = 1.54$ , used in this experiment has a diameter equal to 0.2 m, then  $h=h_{pc}$ . We substitute into the equation (14):

$$m = \pi r^2 r_{pc} \cdot 1500. \quad (15)$$

Now we substitute equation (15) for expression (10):

$$A_{F_{TP}} = 27 \cdot 10^4 f \pi r^2 r_{pc} g \cos 54^\circ l_{II} n t, \quad (16)$$

where:  $f=0.2$ ;  $r=0,014\text{m}$ ;  $r_{PC} = 0.1\text{m}$ ;  $l_{II} = 0.26 \text{ m}$ ;  $n = 28 \text{ rpm}$ ; time  $t = 32 \text{ h}$  is taken according to the processing time in which the curve of the roughness change curve by the parameter  $R_a$  for buttons with a diameter of 28 mm, formed by approximation, reaches the value of the roughness of the surface of the processed button. We substitute all values in equation (16). As a result, the calculated value of the force of friction will be  $4467\text{J}$ .

Thus, in order to achieve a complete surface treatment of a button 28 mm in diameter, which occurs in the middle of the working tank at  $n = 1.54$ , it is necessary that the frictional force between the button and the abrasive material is approximately equivalent to  $4467\text{J}$ . Assume that the same value of the friction force is necessary for processing a button with a diameter of 28 mm in working container with any proportionally altered geometric parameters. Consequently, we define the time required to handle a button with a diameter of 28 mm with less geometric parameters  $n = 1.0$ . To do this, from equation (9) we will express the friction path  $S$ , which product goes through the entire processing process:

$$S = \frac{A_{F_{TP}}}{F_{TP}}. \quad (17)$$

Determine the frictional force  $F_{TP}$  between the button and the abrasive material that occurs when processing in a working container with a scale factor  $n = 1.0$ , substituting all the necessary data in expression (8), while: slip friction coefficient  $f=0.2$ ; the mass of the abrasive material  $m$  of the corresponding volume, which creates pressure on the surface of the button with a diameter of 28 mm when processed in a working tank with  $n = 1.0$ , according to the calculation of expression (16), will be:  $m = 0.057\text{kg}$ . The friction path  $S$ , calculated by the expression (17) will be:  $S=68724\text{m}$ .

Next, according to expression (11), we define the time required for processing buttons with a diameter of 28 mm in the working container at  $n = 1.0$ . According to the calculation for (11), the processing time will be at least  $t = 64.2 \text{ h}$ . Compare the analytically defined time with the experimental one [10]. After substituting the data into equation (13), it was experimentally established the time taken to handle the buttons with a diameter of 28 mm in a working container with smaller geometric parameters ( $n = 1.0$ ), which would be 69.2 hours, which is 7.8% more from the theoretically established time. Such a discrepancy can be explained by the fact that, firstly, when deducing theoretical dependencies, a large number of simplifications were adopted concerning the very, extremely complex in its essence, the process of processing parts by abrasive in the form of free granules. Second, because a significant number of factors that influence the change in the processing time can not be simultaneously taken into account in the deduced theoretical dependence.

In addition, when using a machine with a flexible working container to perform grinding or polishing operations on the surface of the parts and simultaneously reducing power consumption, it is not necessary to simultaneously process two or more types of parts, including buttons, with distinct geometric parameters. It is recommended that only one type of detail be processed in one machine.

### Conclusions:

1. The influence of geometric parameters of the working container on the intensity and quality of processing of small polymer parts is investigated. The mathematical dependencies of the

time spent on polishing small polymer parts from the angular velocity of the drive shaft of the machine and the dimensional parameters of the working container are obtained.

2. It is established that in order to perform technological operations of polishing small polymer parts, the equipment in which the working container performs a complex spatial movement is much more efficient than the equipment with a rotating drum. The processing time of the buttons in a machine with a complex movement of the working container may be less than one and a half times during processing in a rotary drum machine.

### Література

1. Першин В. Ф. Переработка сыпучих материалов в машинах барабанного типа / Першин В. Ф., Однолько В. Г., Першина С. В. // Монография – М.: Машиностроение, 2009. – 220 с;
2. Валуйский В. Я. Продвижение сыпучих продуктов через наклонный барабан / В.Я. Валуйский // Известия вузов. Пищевая технология. – 1965. – № 1. – С. 139 – 142;
3. Шумакова Т.А. Инструмент для виброабразивной обработки деталей: монография / Т. А. Шумакова, В. И. Шаповалов, Ю. И. Гутько; Восточноукр. нац. ун-т им. В. Даля. - Луганск: Ноулидж, 2011. - 59 с;
4. Бурмістенков О.П. Виробництво литих деталей та виробів з полімерних матеріалів у взуттєвій та шкіргалантерейній промисловості: монографія / Під заг. ред. В.П. Коновала. – Хмельницький: ХНУ, 2007. – 255 с;
5. Копин В.А., Макаров В.Л., Ростовцев А.М. Обработка изделий из пластмасс. - М.: Химия, 1988. - 176 с;
6. Патент №109083, МПК В01F 11/00, В24В 31/00. Машина для обработки деталей / Залюбовський М.Г., Панасюк І.В., заявник та патентовласник Київський національний університет технологій та дизайну - №u201601467; заяв. 18.02.2016, опуб. 10.08.2016, бюл. № 15;
7. M. Marigo. Discrete Element Method Modelling of Complex Granular Motion in Mixing Vessels: Evaluation and Validation: dissertation EngD / M. Marigo. - The University of Birmingham, UK., 2012;
8. M. Marigo, D. L. Cairns, M. Davies, M. Cook, A. Ingram, E. H. Stitt. Developing Mechanistic Understanding of Granular Behaviour in Complex Moving Geometry using the Discrete Element Method. Part A: Measurement and Reconstruction of TurbulaMixer Motion using Positron Emission Particle Tracking, CMES: Computer Modeling in Engineering & Sciences, Vol. 59, No. 3 (2010), pp. 217-238;
9. C. Mayer-Laigle. Mixing dynamics for easy flowing powders in a lab scale Turbula mixer / C. Mayer-

### References

1. Pershin, V., Odnolko, V., & Pershina, S. (2009). *Pererabotka sypuchikh materialov v mashinakh barabannogo tipa* [Processing bulk materials in drum type machines]. Moscow: Mashinostroenie [in Russian];
2. Valuiskii, V. (1965). *Prodvizhenie sypuchikh produktov cherez naklonnyi baraban* [Promotion of bulk products through an inclined drum]. *Izvestiia vuzov. Pishchevaia tekhnologiya – News of universities. Food technology*, 1, 139 – 142 [in Russian];
3. Shumakova, T., Shapovalov, V., & Gutko, Iu. (2011). *Instrument dlia vibroabrazivnoi obrabotki detalei: monografiia* [Vibro-abrasive machining tool: monograph]. Lugansk: Noulidzh [in Russian];
4. Burmistenkov, O. (2007). *Vyrobnytstvo lytykh detalei ta vyrobiv z polimernykh materialiv u vzuttievii ta shkirhalantereinii promyslovosti: monohrafiia* [Manufacture of cast details and articles of polymeric materials in the shoe and leather industry: monograph]. Khmelnytskyi: KhNU [in Ukraine];
5. Kopin, V., Makarov, V., & Rostovtcev, A. (1988). *Obrabotka izdelii iz plastmass* [Plastics processing]. Moscow: Khimiia [in Russian];
6. Zaliubovskiy MG, Panasiuk IV (2016). *Mashyna dlia obrobky detalei.* [Machine for processing parts]. Ukrainian patent, no. 109083;
7. Marigo, M. (2012). *Discrete Element Method Modelling of Complex Granular Motion in Mixing Vessels: Evaluation and Validation: dissertation EngD.* [in English];
8. Marigo, M., Cairns, D., Davies, M., Cook, M., Ingram, A., & Stitt, E. (2010). *Developing Mechanistic Understanding of Granular Behaviour in Complex Moving Geometry using the Discrete Element Method. Part A: Measurement and Reconstruction of TurbulaMixer Motion using Positron Emission Particle Tracking. CMES: Computer Modeling in Engineering & Sciences.* [in English];

Laigle, C., Gatumel, H., Berthiaux // Chemical Engineering Research and Design Volume 95, March 2015, P. 248-261;

10. I. Panasyuk. Driving machine shaft angular velocity impact on motion conditional change of granular medium in working reservoir for components compounding and process / Igor Panasyuk, Mark Zalyubovskiy // Metallurgical and Mining Industry – 2015. – №3. – P. 260-264.

9. Mayer-Laigle C., Gatumel, C., & Berthiaux, H. (2015). Mixing dynamics for easy flowing powders in a lab scale Turbula mixer. Chemical Engineering Research and Design. [in English];

10. Panasyuk, I., Zalyubovskiy, M. (2015). Driving machine shaft angular velocity impact on motion conditional change of granular medium in working reservoir for components compounding and process. Metallurgical and Mining Industry, Vol. 3, 260 – 264 [in English];

**ZALIUBOVSKIY MARK**

markzalubovskiy@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6258-0088>

Open University of Human Development «Ukraine»

**SMIRNOV YURIY**

ysmirnov.03@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2303-9832>

National Aviation Universit

**MALYSHEV VICTOR**

viktor.malyshev.igic@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2756-3236>

Open University of Human Development «Ukraine»

**IGOR PANASYUK**

panasjuk1961@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6671-4266>

ResearcherID: D-4255-2017

Kyiv National University of Technologies & Design

**KLAPTSOV YURIY**

klaptsov.y@knutd.com.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1731-5733>

Kyiv National University of Technologies & Design

**АНАЛІТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ ОБРОБКИ ДРІБНИХ ПОЛІМЕРНИХ  
ДЕТАЛЕЙ В МАШИНІ ЗІ СКЛАДНИМ ПРОСТОРОВИМ РУХОМ РОБОЧОЇ  
ЄМКОСТІ**

**ЗАЛЮБОВСЬКИЙ М. Г.<sup>1</sup>, ПАНАСЮК І. В.<sup>2</sup>, СМІРНОВ Ю. І.<sup>3</sup>, КУЗНЄЦОВА О. О.<sup>2</sup>,  
МАЛИШЕВ В. В.<sup>1</sup>,**

<sup>1</sup> Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна»

<sup>2</sup> Київський національний університет технологій та дизайну

<sup>3</sup> Національний авіаційний університет

**Мета.** Аналітичне визначення основних технологічних параметрів полірування дрібних полімерних деталей вільним абразивом у вигляді гранул у ємкостях, що виконують складний просторовий рух, визначення часу обробки дрібних полімерних деталей в машині зі складним просторовим рухом робочої ємкості

**Методика.** Проведено аналітичне дослідження процесу обробки дрібних полімерних деталей абразивом у вигляді вільних гранул в машині, робоча ємкість якої виконує складний просторовий рух, для визначення раціональних умов полірування.

**Результати.** На основі проведеного аналітичного дослідження процесу обробки дрібних полімерних деталей в машині зі складним просторовим рухом робочої ємкості отримано математичні залежності, що дають можливість прогнозувати технологічний результат на стадії проектування, отримано математичні вирази, що дозволяють розрахувати необхідний час виконання технологічної операції полірування полімерних деталей. Аналітично встановлено, що в робочій ємкості, яка має пропорційно більші геометричні параметри, процес обробки деталей займатиме менше часу.

**Наукова новизна.** Встановлені закономірності впливу геометричних параметрів робочої ємкості, що виконує складний просторовий рух та режимів руху сипкого робочого середовища на інтенсивність процесу полірування дрібних полімерних деталей абразивом у вигляді вільних гранул, встановлений взаємозв'язок між шляхом тертя, який проходить деталь в середині ємкості та необхідним їй часом обробки.

**Практична значимість.** Отримані математичні залежності для розрахунку часу обробки та настанови щодо реалізації відповідного режиму руху сипкого робочого середовища, що забезпечують інтенсивне полірування дрібних полімерних деталей вільним абразивом у вигляді гранул в машині робоча ємкості якої виконує складний просторовий рух.

**Ключові слова:** полірування, робоча ємкість, вільний абразив у вигляді гранул, дрібні полімерні деталі.

## АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ОБРАБОТКИ МЕЛКИХ ПОЛИМЕРНЫХ ДЕТАЛЕЙ В МАШИНЕ СО СЛОЖНОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ПОДВИЖНЫМ РАБОЧИМ ЕМКОСТИ

ЗАЛЮБОВСКИЙ М. Г.<sup>1</sup>, ПАНАСЮК И. В.<sup>2</sup>, СМИРНОВ Ю. И.<sup>3</sup>, КУЗНЕЦОВА Е. А.<sup>2</sup>,  
МАЛЫШЕВ В. В.<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Открытый международный университет развития человека «Украина»,

<sup>2</sup>Киевский национальный университет технологий и дизайна,

<sup>3</sup>Национальный авиационный университет

**Цель.** Аналитическое определение основных технологических параметров полирования мелких полимерных деталей свободным абразивом в виде гранул в емкостях, выполняющих сложное пространственное движение, определение времени обработки мелких полимерных деталей в машине со сложным пространственным движением рабочей емкости.

**Методика.** Проведено аналитическое исследование процесса обработки мелких полимерных деталей абразивом в виде свободных гранул в машине, рабочая емкость которой выполняет сложное пространственное движение, для определения рациональных условий полирования.

**Результаты.** На основе проведенного аналитического исследования процесса обработки мелких полимерных деталей в машине со сложным пространственным движением рабочей емкости получены математические зависимости, позволяющие прогнозировать технологический результат на стадии проектирования, получены математические выражения, позволяющие рассчитать необходимое время выполнения технологической операции полировки полимерных деталей. Аналитически установлено, что в емкости, которая имеет пропорционально большие геометрические параметры, процесс обработки будет занимать меньше времени.

**Научная новизна.** Установлены закономерности влияния геометрических параметров рабочей емкости, выполняющей сложное пространственное движение и режимов движения сыпучей рабочей среды на интенсивность процесса полирования мелких полимерных деталей абразивом в виде свободных гранул.

**Практическая значимость.** Полученные математические зависимости для расчета времени обработки и установки по реализации соответствующего режима движения сыпучего рабочей среды, обеспечивающие интенсивное полирование мелких полимерных деталей свободным абразивом в виде гранул в машине, рабочая емкость которой выполняет сложное пространственное движение.

**Ключевые слова:** полирование, рабочая емкость, свободный абразив в виде гранул, полимерные детали.

УДК 648.238

ВОЛЯНИК О. Ю., ГЛАДЧУК О. З.

Київський національний університет технологій та дизайну

## АНАЛІЗ КОЛИВАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ У ВІДЦЕНТРОВІЙ БАРАБАННІЙ ПРАЛЬНІЙ МАШИНИ

**Мета.** Розроблення та аналіз математичної моделі коливальних процесів, які виникають під час оброблення матеріалів у відцентрових барабанних пральних машинах, визначення умов відсутності контактних деформацій робочих органів та корпусу відцентрової машини.

**Методика.** У роботі використані методи математичного та динамічного моделювання електромеханічних систем з використанням спеціалізованих програмних засобів.

**Результатом** дослідження є розроблення та вдосконалення динамічної моделі для дослідження фізичних процесів, що відбуваються в коливальній системі підвіски барабанних машин і центрифуг. Розроблено математичну модель (шість ступенів свободи), яка описує площинний рух підвіски барабанної машини. Визначені умови, які відповідають за збереження контакту лівої і правої опор корпусу з основою. Також виокремлено умову, яка відповідає за збереження фрикційного зв'язку між корпусом і основою (підлогою). Додатково була здійснена перевірка на відсутність зіткнень та ударів виступаючих елементів підпружиненої системи бак-двигун-противаги з бічними, нижньою і верхньою стінками корпусу відцентрової барабанної пральної машини.

**Наукова новизна.** В роботі отримані аналітичні вирази, які встановлюють залежності сил, що впливають на робочі органи відцентрових автоматичних пральних машин. З використанням програмних засобів аналізу даних була проведена перевірка, чи зазнає розриву фрикційний зв'язок між основою корпусу і підлогою, а також, чи відбувається відрив ніжок корпусу від підлоги.

**Практична значимість.** Отримані результати досліджень можуть бути використані для розроблення конструкцій відцентрових машин аналогічного типу для різних галузей промисловості або побутового призначення.

**Ключові слова:** коливальні процеси, відцентровий пристрій, пральна машина, математичне моделювання, динамічна модель.

**Вступ.** Вимушений рух підвіски «бак-барабан» в динаміці описується системою диференціальних рівнянь, вирішення яких вимагає застосування складних комп'ютерних програм і значних обчислювальних потужностей [1]. Для істотного спрощення ситуації, розглядаємо рух підвісної частини в площині двох координат, що передбачає відсутність руху підвіски, який спрямовано на спостерігача. Це можливо при малих коливаннях бака відносно корпусу або наявності дуже м'якої манжети, що на практиці має місце при правильно спроектованій барабанній машині.

Крім того, експериментальні дані, отримані за результатами багатьох експериментів, дають можливість зробити висновок, що вимушений рух підвіски машини, з деякими обмеженнями, можна розглядати як плаский [4].

**Постановка завдання.** Побудова математичної моделі для дослідження плоско-паралельного руху у вертикальній площині, паралельній лицьовій і задній стінках корпусу пральної машини.

**Результати дослідження.** Математична модель підвіски барабанних машин. Розрахункова схема для дослідження руху барабанної пральної машини зображена на рисунку 1:

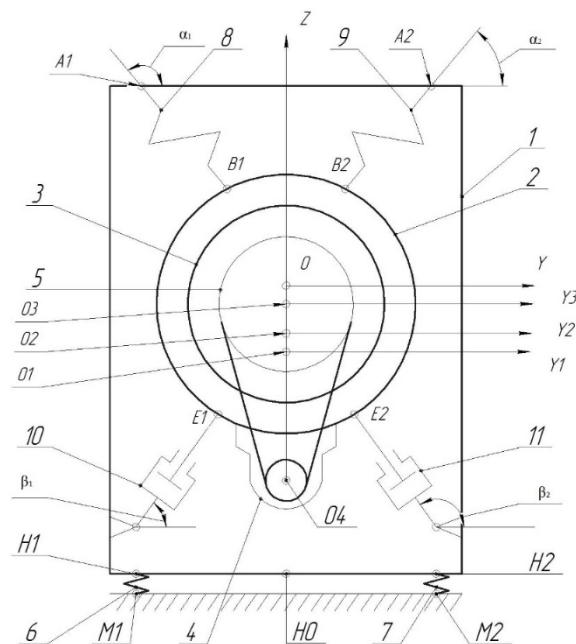


Рис. 1. Розрахункова схема барабанної машини

Інерційні елементи коливальної системи машини: 1 – корпус машини, 2 – бак, 3 – барабан з білизною і водою, 4 – двигун зі шківом і муфтою, 5 – шків пасової передачі. Корпус спирається через пружні елементи 6 і 7 на підлогу.

Бак підвішений до корпусу на двох пружинах 8 і 9. Крім того, корпус і бак мають кінематичний зв'язок через демпфери 10 і 11. Пружини 6, 7, 8 і 9 і демпфери 10 і 11 розглядаються як безінерційні ланки системи (реакція, що спричиняється ними, визначається вхідними координатами, а для демпферів – також швидкостями в поточний момент часу на вході).

Використовуються чотири системи координат:  $yOz$  – нерухома;  $y_1O_1z_1$  – нерухомо пов'язана з корпусом;  $y_2O_2z_2$  – нерухомо пов'язана з баком;  $y_3O_3z_3$  – нерухомо пов'язана з барабаном.

Центри  $O_i$  систем прямокутних координат знаходяться в центрах мас  $i$ -х інерційних тіл ( $i=1,3$ ). Центр  $O$  нерухомої системи координат розташуємо в геометричному центрі завантажувального вікна корпусу машини в статичному положенні. Вісь  $Oy$  горизонтальна. Зусилля пружин приймаємо лінійно залежними від деформації.

Маси корпусу (1) машини, бака (2), барабана (3), двигуна (4) і білизни з водою (а) позначимо відповідно, як  $m_1, m_2, m_3, m_4$  та  $m_a$ .

Моменти інерції корпусу, бака, барабана, двигуна, білизни щодо їх центрів мас позначимо:  $I_{O_1}, I_{O_2}, I_{O_3}, I_{O_4}, I_a$ .

Реакції демпферів ( $F_1, F_2, \dots, F_{N_2}$ ,  $N_2$  – кількість демпферів) вважаються залежними від сил сухого тертя і гідравлічного або пневматичного опору. Крім зазначених вище, візьмемо до уваги пружно-дисипативні властивості манжети між корпусом машини і баком, а також змінність маси і моменту інерції води, яка віджимается.

Вже згадана динамічна система, при розглянутому припущенні плоского руху, володіє

шістьма ступенями свободи, кількість яких розраховується виходячи з 3-х ступенів свободи для кожного вільного твердого тіла (1, 2, 3, 4), що рухається плоско-паралельно, та кількості визначених зв'язків. Корпус 1 має два ступені свободи, тому що третя виключається внаслідок наявності фрикційного зв'язку між опорами корпусу і основою (підлогою). При розриві цього фрикційної зв'язку (коли сила тертя досягає критичного значення) у корпусу буде три ступені свободи. Бак вносить в систему три ступені свободи. Барабан 3, що обертається відносно бака 2 в підшипниках, додає тільки одну ступінь свободи внаслідок наявності двох зв'язків в площині, що перпендикулярна осі обертання. Пасову передачу будемо розглядати як нерозтяжну.

Відповідно числу ступенів свободи введемо шість узагальнених координат:

$z_{H_O}$  – абсолютна координата точки  $H_O$  основи корпусу 1 (в системі  $yOz$ ), яка знаходиться на осі  $O_1z_1$ ;  $\phi_1$  – абсолютний кут повороту корпусу 1, який відраховується від горизонталі;  $y_{O_2}, z_{O_2}$  – координати центру мас  $O_2$  бака 2 в системі  $yOz$ ;  $\phi_2, \phi_3$  – абсолютні кути повороту бака 2 і барабана 3.

Для виведення рівнянь руху динамічної системи машини скористаємося рівняннями Лагранжа другого роду. Повна кінетична енергія системи складається з енергій її ланок 1, 2, 3, 4 та білизни (а):

$$T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_a \quad (1.1.)$$

Згідно з теоремою Кеніга [1] кінетична енергія твердого тіла, що рухається плоско-паралельно, дорівнює сумі кінетичних енергій його центру мас, в якому умовно зосереджена вся маса тіла, і обертального руху відносно центру мас. Таким чином, необхідно отримати аналітичні вирази для швидкостей центрів мас ланок, тобто  $V_{O_1}, V_{O_2}, V_{O_3}, V_{O_4}, V_{O_a}$  в функції узагальнених швидкостей і координат [2].

Швидкість  $\bar{V}_{O_1}$  центру мас корпусу 1 можна виразити через відносну швидкість  $\bar{V}_{H_O}$  точки  $H_O$ , що знаходиться на основі корпусу (рис. 1), і відносну швидкість  $\bar{V}_{O_1H_O}$  в обертальному русі навколо т.  $H_O$ .

Швидкість  $V_{H_O}$  спрямована перпендикулярно до опорної поверхні  $M_1M_2$ .

Виходячи з вищевикладеного маємо

$$\begin{aligned} \bar{V}_{O_1} &= \bar{V}_{H_O} + \bar{V}_{O_1H_O} = \bar{k}_1 \dot{z}_{H_O} + \bar{i} \dot{\phi}_1 \ell_{H_O O_1} \left[ \bar{k}_1 \cos \phi_1 - \bar{j}_1 \sin \phi_1 \right] = \\ &= \bar{k}_1 \left[ \dot{z}_{H_O} - \dot{\phi}_1 \ell_{H_O O_1} \sin \phi_1 \right] - \bar{j}_1 \dot{\phi}_1 \ell_{H_O O_1} \cos \phi_1, \end{aligned} \quad (1.2.)$$

де  $\bar{i}$  – одиничний вектор, спрямований уздовж осі абсолютної системи координат;  $\bar{j}_1$  та  $\bar{k}_1$  – одиничні вектори відповідно паралельної і перпендикулярної опорної поверхні ( $M_1M_2$ , рис. 1);  $\ell_{H_O O_1}$  – відстань між точками  $H_O$  та  $O_1$ ;  $\dot{z}_{H_O}$  – проекція абсолютної швидкості точки на вісь  $K_O z_H$ , яка перпендикулярна до підлоги.

Швидкість  $\bar{V}_{K_2}$  точки  $K_2$ , а також швидкості  $\bar{V}_{O_3}, \bar{V}_{O_4}, \bar{V}_{O_a}$  (центрів мас барабана, ротора двигуна і білизни) можуть бути знайдені в результаті геометричного складання швидкостей поступального і відносного рухів, тобто

$$\begin{aligned}\bar{V}_{K_2} &= \bar{V}_{O_2} + \bar{V}_{K_2 O_2}, \quad \bar{V}_{O_3} = \bar{V}_{K_2} + \bar{V}_{O_3 K_2}, \\ \bar{V}_{O_4} &= \bar{V}_{O_2} + \bar{V}_{O_4 O_2}, \quad \bar{V}_{O_a} = \bar{V}_{K_2} + \bar{V}_{O_a K_2}.\end{aligned}\tag{1.3}$$

Таким чином,

$$\begin{aligned}\bar{V}_{K_2 O_2} &= \ell_{K_2 O_2} \dot{\varphi}_2 \bar{i} \times [\bar{j} \cos(\varphi_2 + \varphi_{2,O}) + \bar{k} \sin(\varphi_2 + \varphi_{2,O})], \\ \bar{V}_{O_3 K_2} &= \ell_{O_3 K_2} \dot{\varphi}_3 \bar{i} \times [\bar{j} \cos(\varphi_3 + \varphi_{3,O}) + \bar{k} \sin(\varphi_3 + \varphi_{3,O})], \\ \bar{V}_{O_4 O_2} &= \ell_{O_4 O_2} \dot{\varphi}_2 \bar{i} \times [\bar{j} \cos \varphi_2 + \bar{k} \sin \varphi_2], \\ \bar{V}_{O_a K_2} &= \ell_{O_a K_2} \dot{\varphi}_3 \bar{i} \times [\bar{j} \cos(\varphi_3 + \psi_{3,O}) + \bar{k} \sin(\varphi_3 + \psi_{3,O})].\end{aligned}\tag{1.4}$$

На підставі (1.2), (1.3), (1.4), з урахуванням векторного множення:

$$\bar{i} \times \bar{j} = \bar{k}, \quad \bar{i} \times \bar{k} = -\bar{j}.\tag{1.5}$$

визначається кінетична енергія всієї системи машини:

$$\begin{aligned}T &= \frac{m_1 V_{O_1}^2}{2} + \frac{I_{O_1} \dot{\varphi}_1^2}{2} + \frac{m_2 V_{O_2}^2}{2} + \frac{I_{O_2} \dot{\varphi}_2^2}{2} + \frac{m_3 V_{O_3}^2}{2} + \frac{I_{O_3} \dot{\varphi}_3^2}{2} + \\ &+ \frac{m_4 V_{O_4}^2}{2} + \frac{I_{O_4} \dot{\varphi}_4^2 u_{43}^2}{2} + \frac{m_a V_{O_a}^2}{2} + \frac{I_{O_a} \dot{\varphi}_3^2}{2}.\end{aligned}\tag{1.6}$$

Виразивши кінетичну енергію через узагальнені координати і швидкості, за допомогою рівнянь Лагранжа другого роду отримаємо шість рівнянь плоскопаралельного руху системи.

Ці рівняння можуть бути представлені в матричному вигляді

$$A\ddot{X} = B.\tag{1.7}$$

де  $A$  – квадратна матриця розміром  $6 \times 6$ ,

$$\ddot{X} = [\ddot{z}_{O_1} \quad \ddot{\varphi}_1 \quad \ddot{y}_{O_2} \quad \ddot{z}_{O_2} \quad \ddot{\varphi}_2 \quad \ddot{\varphi}_3]^T,$$

( $T$  – операція транспонування,  $B$  – матриця-стовпець).

В результаті, узагальнені сили  $Q_i$ ,  $i=1,6$  визначаються залежностями:

$$\begin{aligned}
 Q_1 &= P_{H_1} + P_{H_2} - \sum_{i=1}^n [P_i \sin \alpha_i] + \sum_{j=1}^k [F_j \sin \beta_j] + p_m \sin \alpha_c, \\
 Q_2 &= -P_{H_1} [\ell_{H_1} \cos \phi_1 + z_{H_{O_1}} \sin \phi_1] + P_{H_2} [\ell_{H_2} \cos \phi_1 + z_{H_{O_1}} \sin \phi_1] - \\
 &\quad - \sum_{i=1}^n [(y_{A_i} - y_{O_1}) P_i \sin \alpha_i - (z_{A_i} - z_{O_1}) P_i \cos \alpha_i] - \\
 &\quad - \sum_{j=1}^k [(y_{D_j} - y_{O_1}) F_j \sin \beta_j - (z_{D_j} - z_{O_1}) F_j \cos \beta_j], \\
 Q_3 &= \sum_{i=1}^n (P_i \cos \alpha_i) - \sum_{j=1}^k (F_j \cos \beta_j) - p_m \cos \alpha_c, \\
 Q_4 &= -m_{2\Sigma} g + \sum_{i=1}^n (P_i \sin \alpha_i) - \sum_{j=1}^k (F_j \sin \beta_j) - p_m \sin \alpha_c, \\
 Q_5 &= \sum_{i=1}^n [(y_{B_i} - y_{O_2}) P_i \sin \alpha_i - (z_{B_i} - z_{O_2}) P_i \cos \alpha_i] + M_{TP} \text{sign}(\dot{\phi}_3 - \dot{\phi}_2) + \\
 &\quad + \sum_{j=1}^k [(y_{E_j} - y_{O_2}) F_j \sin \beta_j - (z_{E_j} - z_{O_2}) F_j \cos \beta_j] - M_D, \\
 Q_6 &= M_D u_{43} - M_b - M_{TP} \text{sign}(\dot{\phi}_3 - \dot{\phi}_2) - M_A.
 \end{aligned} \tag{1.8}$$

де  $P_{H_1}$  та  $P_{H_2}$  – пружно-дисипативні реакції опорних елементів 6 і 7;

$P_i$  – сили пружності пружин підвіски бака 2 до корпусу 1;

$F_j$  – діюче на бак поздовжнє зусилля в демпферах;

$P_M$  – зусилля в манжеті завантажувального вікна машини;

$M_D$  – момент, що розвивається електродвигуном;

$M_{TP}$  – момент сил тертя на валу барабана.

Момент сил аеродинамічного опору, що діють на барабан, визначимо за емпіричною формулою Пфлейдерера [3], яка в перетвореному вигляді в системі одиниць СІ матиме вигляд:

$$M_A = \beta \rho \omega_3^2 \left[ D^5 \left( 1 + 5 \frac{H}{D} \right) + D_a^5 \left( 1 + \frac{H_1}{D_a} \right) \right] H_m, \tag{1.9}$$

де  $\beta = 3 \cdot 10^{-6}$  (постійний коефіцієнт),  $\rho$  – густина повітря ( $\rho = 1,196 \text{ кг/м}^3$ ),  $D$  – зовнішній діаметр барабана,  $D_a$  – внутрішній діаметр кільця, утвореного ущільненою білизною,  $H$  – довжина барабана,  $H_1$  – довжина кільця білизни.

Інтегрування системи диференціальних рівнянь, що описують пласкі коливання корпусу 1 і бака 2, здійснювалося з використанням стандартного пакета MATLAB.

В якості вихідних умов системи (при  $t=0$ ) використовувалися:

$$z_{H_1}(0) = \frac{\varphi_1(0)c_H(\ell_{H_1} - \ell_{H_2}) - \gamma c_H(\ell_{H_1} - \ell_{H_2}) - Mg \cos \gamma}{2c_H},$$

$$\varphi_1(0) = \frac{\gamma c_H \ell_H^2 - Mg(\ell_H \cos \gamma - 2\ell_{H_2})}{c_H \ell_H^2 - 2Mg\ell_{O_1}}, \quad (1.10.)$$

$$\varphi_3(0) = 0,$$

де  $M$  – сумарна маса машини: її центр мас умовно вважаємо розташованим в точці  $O_1$ .

За результатом інтегрування перевірялося, чи зазнає розриву фрикційний зв'язок між основою корпусу 1 і підлогою, а також, чи відбувається відрив ніжок корпусу від підлоги, відповідно до умов.

$$R_{H_1} = \frac{1}{\ell_{H_2} + \ell_{H_1}} \left[ -(y_{A_1} - y_{H_2})P_1 \sin \alpha_1 + (z_{A_1} - z_{H_2})P_1 \cos \alpha_1 - (y_{A_2} - y_{H_2})P_2 \sin \alpha_2 + (z_{A_2} - z_{H_2})P_2 \cos \alpha_2 + (y_{D_1} - y_{H_2})F_1 \sin \beta_1 - (z_{D_1} - z_{H_2})F_2 \cos \beta_1 + (y_{D_2} - y_{H_2})F_2 \sin \beta_2 - (z_{D_2} - z_{H_2})F_2 \cos \beta_2 + m_1g(y_{O_1} - y_{H_2}) \right] \geq 0, \quad (1.11.)$$

$$R_{H_2} = \frac{1}{\ell_{H_2} + \ell_{H_1}} \left[ (y_{A_1} - y_{H_1})P_1 \sin \alpha_1 - (z_{A_1} - z_{H_1})P_1 \cos \alpha_1 + (y_{A_2} - y_{H_1})P_2 \sin \alpha_2 - (z_{A_2} - z_{H_1})P_2 \cos \alpha_2 - (y_{D_1} - y_{H_1})F_1 \sin \beta_1 + (z_{D_1} - z_{H_1})F_1 \cos \beta_1 - (y_{D_2} - y_{H_1})F_2 \sin \beta_2 + (z_{D_2} - z_{H_1})F_2 \cos \beta_2 - m_1g(y_{O_1} - y_{H_1}) \right] \geq 0, \quad (1.12.)$$

$$(R_{H_1} + R_{H_2})f \geq | +P_1 \cos(\alpha_1 - \gamma) - P_2 \cos(\alpha_2 - \gamma) + F_1 \cos(\beta_1 - \gamma) - F_2 \cos \beta_2 + m_1g + m_1l |. \quad (1.13.)$$

Тут  $R_{H_1}, R_{H_2}$  – реакції опорних елементів в точках  $H_1$  та  $H_2$ .

Позначаючи праву, ліву, верхню і нижню виступаючі точки підпружиненої системи через  $w_{\dot{i}}, w_{\ddot{e}}, w_{\hat{a}}, w_{\dot{i}}$  на підставі нормальних рівнянь прямих (проекцій площин стінок корпусу машини на площину  $yOz$ ) отримуємо наступні умови відсутності зіткнень:

$$\begin{aligned} y_{w_{\dot{i}}} \cos \varphi_1 + z_{w_{\dot{i}}} \sin \varphi_1 &< \ell_{\dot{i}}, \quad \ell_{\dot{i}} = \ell_{\dot{i}1} + y_{O_1}, \\ -y_{w_{\hat{a}}} \sin \varphi_1 + z_{w_{\hat{a}}} \cos \varphi_1 &< \ell_{\hat{a}}, \quad \ell_{\hat{a}} = \ell_{\hat{a}1} + z_{O_1}, \\ y_{w_{\ddot{e}}} \cos \varphi_1 + z_{w_{\ddot{e}}} \sin \varphi_1 &< \ell_{\ddot{e}}, \quad \ell_{\ddot{e}} = \ell_{\ddot{e}1} + y_{O_1}, \\ y_{w_{\dot{i}}} \sin \varphi_1 + z_{w_{\dot{i}}} \cos \varphi_1 &< \ell_{\dot{i}}, \quad \ell_{\dot{i}} = \ell_{\dot{i}1} + z_{O_1}. \end{aligned} \quad (1.14.)$$

де  $\ell_{\dot{i}1}, \ell_{\ddot{e}1}$  – відстані від точок  $w_{\dot{i}}$  та  $w_{\ddot{e}}$  до осі  $O_1z_1$  системи координат  $O_1y_1z_1$ ;  $\ell_{\hat{a}1}, \ell_{\dot{i}1}$  – відстані від точок  $w_{\hat{a}}, w_{\dot{i}}$  до осі  $O_1y_1$  цієї ж системи координат.

**Висновки.** Розроблено математичну модель (шість ступенів свободи), яка описує площинний рух підвіски барабанної машини. Умови (1.12) і (1.13) відповідають збереженню контакту лівої ( $H_1$ ) і правої ( $H_2$ ) опор корпусу 1 з основою; умова (1.14) відповідає

збереженню фрикційного зв'язку між корпусом 1 і основою (підлогою). Додатково здійснюється перевірка на відсутність зіткнень виступаючих елементів підпружиненої системи бак-двигун-противаги з бічними, нижньою і верхньою стінками корпусу 1 машини.

#### Література

1. Бухгольц Н.Н. Основной курс теоретической механики. – М.: Рипол Классик, 2013. – 474 с.
2. Ключев В.И. Теория электропривода. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 560 с.
3. Алешин В. Разработка рекомендаций для уменьшения уровня вибрации и шума. – М.: МИТ, 1987. – 142 с.
4. Антонюк Е.Я. Динамическая модель для исследования переходных и установившихся колебаний барабанной машины с упругой подвеской / Е.Я. Антонюк, С.В. Орчинский // Вісник КНУТД. – 2005. – №3. – С. 19-25.
5. Сергиенко Ю.М. Расходные характеристики малогабаритной арматуры. / Ю.М. Сергиенко, С.В. Орчинский // Промислова гідравліка і пневматика. – 2004. – № 3(5). – С. 38-41.
6. Петко І. В. Електропобутова техніка / І. В. Петко, О. П. Бурмістенков, Т. Я. Біла, М. Є. Скиба. – Хмельницький: ХНУ, 2017. – 213 с.
7. ДСТУ 2721-94. Машини пральні побутові. Загальні технічні умови. Київ. Дата введення 1995-01-09.
8. Inman, D. J., & Singh, R. C. (1994). *Engineering vibration* (Vol. 3). Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
9. Steinberg, D. S. (2000). *Vibration analysis for electronic equipment*.
10. Myklestad, N. O. (2018). *Fundamentals of vibration analysis*. Courier Dover Publications.

#### References

1. Buchholz N. (2013) *Osnovnoy kurs teoreticheskoy mekhaniki* [Basic course of theoretical mechanics]. Moscow [in Russian].
2. Klyuchev V. (1985) *Teoriya elektroprivoda* [Theory of electric drive]. Moscow [in Russian].
3. Alyoshin V. (1987) *Razrabotka rekomendatsiy dlyz umesheniya urovnya vibratsii i shuma* [Development of recommendations for reducing noise and vibration]. Moscow [in Russian].
4. Antonyuk E., Orchinsky S., Petko I. (2005) *Dinamicheskaya model dlya issledovaniya kolebaniy barabannoy mashini* [Dynamic model for the study of transient oscillations of a drum machine with elastic suspension]. *Visnyk KNUVD. – Bulletin of KNUVD*, 3, 19-25 [in Russian]
5. Sergienko Y., Orchinsky S. (2004) *Raskhodniye kharakteristiki malogabaritnoy armature* [Flow characteristics of small-sized armature]. *Promislova gidravlika i pnevmatika – Manufacture hydraulics and pneumatics*, 3 (5). 38-41. [in Ukrainian]
6. Petko I. V., Burmistenkov O. P., Bila T. Y., Skyba M. Y. (2017). *Elektropobutova tekhnika* [Electrical household appliances]. Khmel'nyts'kyu: KhNU [in Ukrainian]
7. DSTU 2721-94. *Mashyny pralni pobutovi. Zagalni tekhnichni umovy* [State Standard 2721-94. Household washing machines. General technical conditions]. *Kyiv, Derzhstandart Publ., 1995. 108 p.*
8. Inman, D. J., & Singh, R. C. (1994). *Engineering vibration* (Vol. 3). Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
9. Steinberg, D. S. (2000). *Vibration analysis for electronic equipment*.
10. Myklestad, N. O. (2018). *Fundamentals of vibration analysis*. Courier Dover Publications.

**VOLIANYK OLEKSII**

*oleksiivolianyuk@gmail.com*

*ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7278-0910*

*ResearcherID: I-7967-2018*

*Kyiv National University of Technologies & Design*

**GLADCHUK OLEKSANDR**

*ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9921-0299*

*Kyiv National University of Technologies & Design*

## АНАЛИЗ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЦЕНТРОБЕЖНОЙ БАРАБАННОЙ СТИРАЛЬНОЙ МАШИНЕ

**ВОЛЯНИК А. Ю., ГЛАДЧУК А. З.**

*Киевский национальный университет технологий и дизайна*

*Цель. Разработка и анализ математической модели колебательных процессов, возникающих при обработке материалов в центробежных барабанных стиральных машинах, определение отсутствия контактных деформаций рабочих органов и корпуса центробежной машины.*

**Методика.** В роботі використані методи математичного і динамічного моделювання електромеханічних систем з використанням спеціалізованих програмних засобів.

**Результатом** дослідження являється розробка і удосконалення динамічної моделі для дослідження фізичних процесів, що відбуваються в колибальній системі підвіски барабанних машин і центрифуг. Розроблена математична модель (шість степеней свободи), яка описує плоскі рухи підвіски барабанної машини. Визначені умови, що відповідають за збереження контакту лівої і правої опор корпусу з основою. Також виділено умову, яка відповідає за збереження фрикційної зв'язки між корпусом і основою (полом). Додатково була виконана перевірка на відсутність зіткнень і ударів виступаючих елементів пружинної системи бак-двигатель-протилежес з боковими, нижньою і верхньою стінками корпусу центробежної барабанної стиральної машини.

**Научна новизна.** В роботі отримані аналітичні вирази, які встановлюють залежності сил, що впливають на робочі органи центробежних стиральних машин. З використанням програмних засобів аналізу даних була проведена перевірка, чи відбувається розрив фрикційної зв'язки між основою корпусу і полом, а також, чи відбувається відірвання ніжок корпусу від підлоги.

**Практична значимість.** Отримані результати досліджень можуть бути використані для розробки конструкцій центробежних машин аналогічного типу для різних галузей промисловості або побутового призначення.

**Ключові слова:** колибальні процеси, центробежне пристрій, стиральна машина, математичне моделювання, динамічна модель.

## ANALYSIS OF VIBRATIONAL PROCESSES IN A CENTRIFUGAL DRUM WASHING MACHINE

VOLIANYK O., GLADCHUK O.

Kyiv National University of Technologies and Design

**Purpose.** Development and analysis of mathematical model of oscillation processes that occur during material processing in centrifugal drum washing machines, determination of absence conditions of contact deformations of working bodies and body of centrifugal machine.

**Methodology.** The methods of mathematical and dynamic modeling of electromechanical systems using specialized software are used.

**Result** of the study is the development and improvement of a dynamic model for the study of physical processes occurring in the oscillating suspension system of drum machines and centrifuges. A mathematical model (six degrees of freedom) was developed to describe the plane motion of the suspension of a drum machine. The conditions that are responsible for maintaining contact between the left and right body supports with the base are defined. The condition responsible for maintaining the friction bond between the housing and the base (floor) is also highlighted. Additionally, a check was made for the absence of collisions and shocks of the protruding elements of the spring-loaded tank counterbalance system with the lateral, lower and upper walls of the center of the centrifugal drum washer.

**Scientific novelty.** The analytical expressions that determine the dependencies of forces affecting the working bodies of centrifugal automatic washing machines are obtained in the work. The data analysis software was used to check whether the friction connection between the base of the case and the floor is broken, and whether the legs of the case are detached from the floor.

**Practical significance.** The results of the research can be used to develop designs of centrifugal machines of the same type for different industries or domestic applications.

**Key words:** oscillatory processes, centrifugal device, washing machine, mathematical modeling, dynamic model.

УДК 677.055

ДВОРЖАК В. М.

Київський національний університет технологій та дизайну

## СИЛОВИЙ АНАЛІЗ МЕХАНІЗМУ КОЛИВАЛЬНОГО РУХУ ВУШКОВИХ ГОЛОК ОСНОВОВ'ЯЗАЛЬНОЇ МАШИНИ

**Мета.** Вдосконалення методів дослідження цільових механізмів технологічних машин легкої промисловості із застосуванням прикладних CAD-програм.

**Методика.** Використані апарат векторної алгебри; аналітичний метод силового розрахунку плоских механізмів третього класу третього порядку на основі методу векторного перетворення координат; чисельний метод для розрахунку функцій положення характерних та особливих точок механізму третього класу третього порядку з оберतालними кінематичними парами.

**Результати.** Отримані математичні моделі, що описують силові характеристики механізму вушкових голок основов'язальної машини, побудованого на базі механізму третього класу третього порядку з оберतालними кінематичними парами, у вигляді векторів сил (реакцій) взаємодії ланок у місцях їх стикання та складових векторів цих реакцій у функції кута повороту ведучого кривошипа. Визначені вектори сил взаємодії ланок у місцях їх стикання та миттєві й граничні значення навантажень в кінематичних парах плоского шестиланкового механізму коливального руху вушкових голок основов'язальної машини, побудованого на базі механізму третього класу третього порядку з оберतालними кінематичними парами; визначені гранично допустимі діаметри цапф кінематичних пар ланок механізму в CAD-програмі; визначений момент, що врівноважує сили, які діють на ланку приведення.

**Наукова новизна.** Запропонований алгоритм аналітичного силового дослідження роботи плоского шестиланкового шарнірно-важільного механізму вушкових голок основов'язальної машини, синтезованого на базі механізму третього класу третього порядку з оберतालними кінематичними парами, з використанням апарату векторної алгебри. Створені програмні блоки для автоматизованого комп'ютерного розрахунку радіус-векторів особливих точок механізму, векторів тангенціальних, нормальних та результуючих сил взаємодії ланок у місцях їх стикання в CAD-програмі.

**Практична значимість** роботи полягає у використанні одержаних результатів при конструюванні механізмів третього класу третього порядку з оберतालними кінематичними парами та динамічному дослідженні подібних цільових механізмів машин легкої промисловості.

**Ключові слова:** силовий аналіз, механізм третього класу, механізм вушкових голок, основов'язальна машина.

**Вступ.** Одним із шляхів вдосконалення технологічних машин легкої промисловості є використання в них функціонально-досконалих механізмів здатних відтворювати складні закони руху робочих органів. У сучасних основов'язальних машинах використовуються переважно плоскі багатоланкові шарнірно-важільні механізми другого класу. Для забезпечення відтворення робочими органами законів руху із зупинками впродовж циклу петлетворення інколи застосовуються механізми вищих класів. Такі механізми, зокрема і механізми третього класу, є доволі гнучкими з точки зору реалізації різноманітних задач кінематики, оскільки при зміні деяких своїх геометричних параметрів вони дозволяють одержати різні закони руху веденої ланки, у тому числі закони її руху із зупинкою.

Успішному проведенню силового аналізу роботи побідних механізмів упродовж тривалого часу перешкоджала відсутність відповідних комп'ютерних методів дослідження; разом з тим комп'ютерному дослідженню кінематики механізмів третього класу з оберतालними кінематичними парами присвячено ряд робіт [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Визначення сил, що діють на ланки механізмів має велике практичне значення для розрахунків на міцність, жорсткість, вібростійкість, зносостійкість, довговічність, для визначення втрат енергії на тертя, енергетичного балансу машини тощо [7].

Ця робота є продовженням досліджень плоского шестиланкового механізму третього класу для приводу вушкових голок основов'язальної машини, синтез та кінематичний аналіз якого розглядався в роботі [5] з використанням програми Mathcad, і присвячується силовому аналізу механізму з використанням апарату векторної алгебри, який дозволяє зберегти алгоритм графічного методу дослідження з притаманною йому наочністю. Інструментом для силового дослідження механізму є аналітичний метод, що базується на векторному представленні параметрів, з його реалізацією в програмі Mathcad.

**Постановка завдання.** Завданням цього дослідження є створення математичних моделей векторів сил (реакцій) взаємодії ланок у місцях їх стикання для визначення миттєвих та граничних значень навантажень в кінематичних парах плоского шестиланкового механізму коливального руху вушкових голок основов'язальної машини, побудованого на базі механізму третього класу третього порядку; створення програмного коду на основі отриманих математичних моделей в програмі Mathcad.

**Результати дослідження.** Приймемо, що механізм розміщується у вертикальній площині  $XU$  правої декартової системи координат (далі ПСК) з початком в точці  $P_1$  (рис. 1). Структуру механізму приймемо отриману в роботі [5]. Механізм зобразимо в положенні початку руху вушкових голок вперед після завершення зупинки за спинками крючкових голок (початок етапу прокладання ниток основи). До ланок механізму прикладемо: сили ваги  $G_i$  ( $i = 1, 2..5$ ) та сили інерції  $F_i$  у відповідних точках центрів мас ланок  $S_i$ , моменти від сил інерції  $M_i$ . Узагальненою координатою механізму є кут  $\varphi_1$  повороту ведучого кривошипа  $I$ .

Силовий аналіз механізму проводиться на основі кінематичного розрахунку, результати якого отримані в роботі [5], а саме отримані радіус-вектори характерних точок механізму (радіус-вектори центрів кінематичних пар ланок  $P_j$  ( $j = 1, 2..7$ ) та точок центрів мас ланок  $S_i$ ), вектори лінійних прискорень точок центрів мас ланок  $V_i$ , вектори кутових прискорень ланок  $\varepsilon_i$ ,

Силовий аналіз механізму проводиться за такою послідовністю: визначення векторів сил інерції  $F_i$  та векторів моментів сил інерції  $M_i$ , що діють на рухомі ланки; складання обчислювальних блоків для визначення: радіус-векторів особливих точок  $SP_k$ , тангенціальних  $R_{\tau_j}$  та нормальних  $R_{n_j}$  складових реакцій в обертальних кінематичних парах; визначення моменту  $M_{\Sigma I}$ , що врівноважує прикладені сили до ведучого кривошипа; визначення граничних значень реакцій в кінематичних парах  $R_{max_j}$  та моменту  $M_{\Sigma I\_max}$ ; конструювання обертальних кінематичних пар механізму (визначення діаметрів  $d_{u_j}$  та довжин цапф  $l_{u_j}$ ).

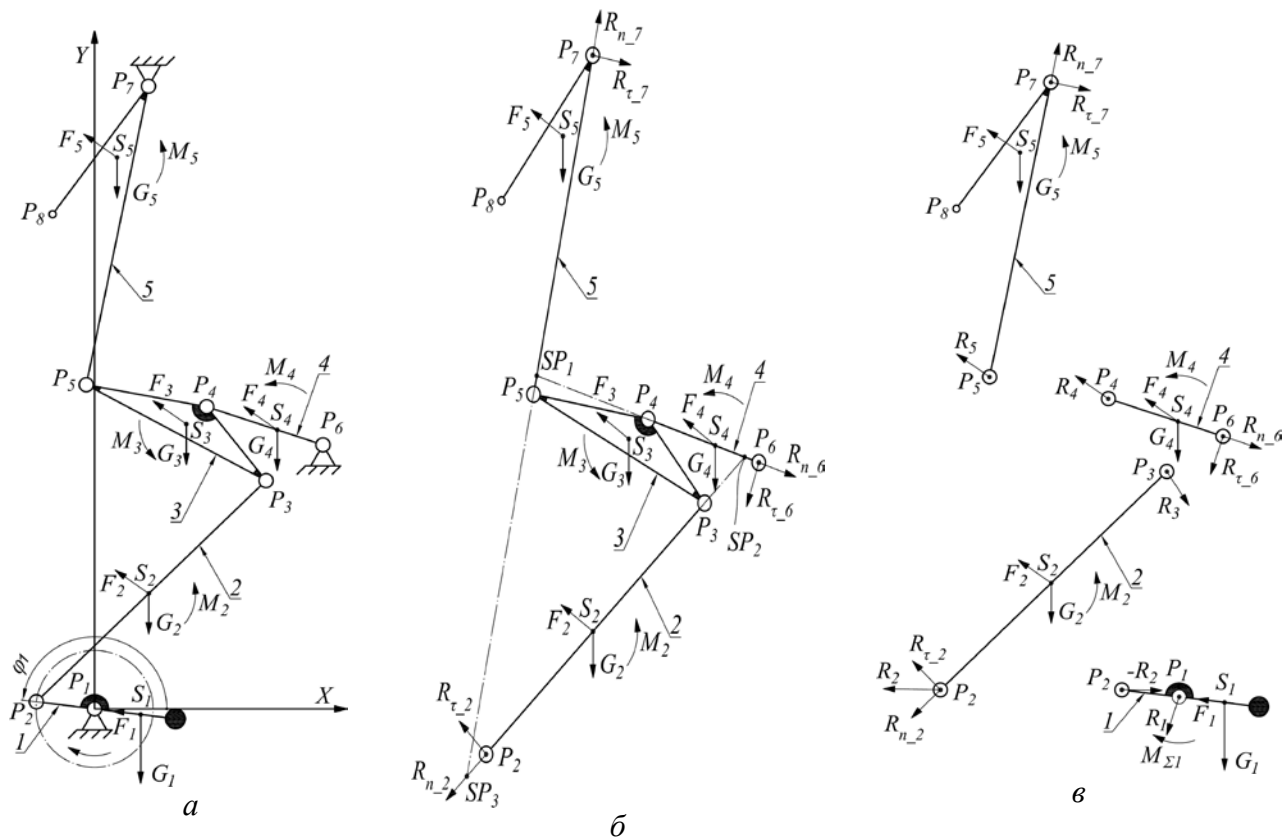


Рис. 1. Схеми плоского шестиланкового механізму третього класу для приводу вушківих голок основ'язальної машини: а – кінематична з прикладеними силами та моментами; б – для визначення особливих точок механізму та тангенціальних та нормальних складових реакцій  $R_{\tau_j}$  та  $R_{n_j}$ , що діють в крайніх кінематичних парах  $P_2$ ,  $P_6$  та  $P_7$  групи третього класу; в – для визначення реакцій  $R_j$ , що діють в кінематичних парах, утворених шатуном 3 з ланками 2, 4 та 5, та визначення реакції  $R_1$  в кінематичній парі кривошипа 1 зі стояком та моменту  $M_{\Sigma 1}$

Вектори сил тяжіння  $G_i$ , прикладених до ланок механізму, визначаються за загальним виразом (індекс  $i$  в позначенні параметрів вказує на номер ланки,  $i = 1, 2, \dots, 5$ ):

$$G_i(\varphi_1) := -e_y \cdot m_i \cdot g; \quad (1)$$

де  $e_y := (0 \ 1 \ 0)^T$  – орт осі ординат ПСК;

$m_i$  – маса ланки;

$g$  – прискорення вільного падіння.

Вектори сил інерції  $F_i(\varphi_1)$  моментів від сил інерції  $M_i(\varphi_1)$ , що діють на ланки, визначаються за загальними виразами:

$$F_i(\varphi_1) := -m_i \cdot A_{Si}(\varphi_1); \quad M_i(\varphi_1) := -J_{Si} \cdot \varepsilon_i(\varphi_1); \quad (2)$$

де  $A_{Si}(\varphi_1)$  – вектор лінійного прискорення центра мас ланки;

$J_{Si}$  – центральний осьовий момент інерції ланки;

$\varepsilon_i(\varphi_1)$  – вектор кутового прискорення ланки.

Вектори реакцій  $R_j(\varphi_1)$  прикладаються в центрах кінематичних пар механізму та розкладаються на складові: тангенціальні  $R_{\tau_j}(\varphi_1)$ , які спрямовуються перпендикулярно до ліній ланок, та нормальні  $R_{n_j}(\varphi_1)$ , які спрямовуються уздовж ліній ланок (індекс  $j$  в позначенні параметрів вказує на номер радіус-вектора кінематичної пари  $P_j$ ,  $j = 1, 2, \dots, 7$ ).

Для визначення тангенціальних складових реакцій в кінематичних парах механізму

$R_{\tau_j}(\varphi_1)$  складемо програмний блок, користуючись рекомендаціями [9]:

$$R_{\tau}(P_1, P_2, S, F, M) := \begin{cases} P_{1_2} \leftarrow P_2 - P_1 \\ m \leftarrow \text{rows}(S) \\ \text{for } i \in 1..m \\ P_{1_{-S_i}} \leftarrow S_i - P_1 \\ eR_{\tau} \leftarrow \rho_Z(P_{1_2}, -90^\circ, 1) \\ M_{\Sigma} \leftarrow \left[ \sum_{i=1}^m (P_{1_{-S_i}} \times F_i) \right] + M \\ R_{\tau} \leftarrow eR_{\tau} \cdot \frac{(M_{\Sigma})_Z}{|P_{1_2}|} \end{cases} ; \quad (3)$$

Використовуючи вираз програмного блоку (3), записуються вирази для визначення векторів тангенціальних складових реакцій, що діють в точках  $P_2$ ,  $P_6$  та  $P_7$ , окремо розглядаючи рівновагу ланок 2, 4 та 5 під дією моментів від сил, що діють на ланки, відносно відповідних точок  $P_3$ ,  $P_4$  та  $P_5$ :

$$R_{\tau_2}(\varphi_1) := R_{\tau}(P_3(\varphi_1), P_2(\varphi_1), PS_2(\varphi_1), PF_2(\varphi_1), M_2(\varphi_1)); \quad (4)$$

$$R_{\tau_6}(\varphi_1) := R_{\tau}(P_4(\varphi_1), P_6, PS_4(\varphi_1), PF_4(\varphi_1), M_4(\varphi_1)); \quad (5)$$

$$R_{\tau_7}(\varphi_1) := R_{\tau}(P_5(\varphi_1), P_7, PS_5(\varphi_1), PF_5(\varphi_1), M_5(\varphi_1)); \quad (6)$$

де  $PS_2(\varphi_1)$ ,  $PS_4(\varphi_1)$ ,  $PS_5(\varphi_1)$  – тензори координат точок прикладання сил, що діють на ланки (компонентами тензорів є радіус-вектори точок прикладання сил тяжіння та сил інерції, тобто  $S_2(\varphi_1)$ ,  $S_4(\varphi_1)$  та  $S_5(\varphi_1)$ ):

$$PS_2(\varphi_1) := \begin{pmatrix} S_2(\varphi_1) \\ S_2(\varphi_1) \end{pmatrix}; \quad PS_4(\varphi_1) := \begin{pmatrix} S_4(\varphi_1) \\ S_4(\varphi_1) \end{pmatrix}; \quad PS_5(\varphi_1) := \begin{pmatrix} S_5(\varphi_1) \\ S_5(\varphi_1) \end{pmatrix};$$

$PF_2(\varphi_1)$ ,  $PF_4(\varphi_1)$ ,  $PF_5(\varphi_1)$  – тензори сил, що діють на ланки:

$$PF_2(\varphi_1) := \begin{pmatrix} G_2 \\ F_2(\varphi_1) \end{pmatrix}; \quad PF_4(\varphi_1) := \begin{pmatrix} G_4 \\ F_4(\varphi_1) \end{pmatrix}; \quad PF_5(\varphi_1) := \begin{pmatrix} G_5 \\ F_5(\varphi_1) \end{pmatrix}.$$

Для визначення нормальних складових реакцій  $R_{n_j}(\varphi_1)$  в кінематичних парах механізму спочатку складемо програмний блок для визначення радіус-вектора так званої особливої точки механізму [10]. В якості особливої точки механізму приймемо точку миттєвого центра обертання шатуна 3 (базисної ланки). Програмний блок для визначення радіус-вектора особливої точки механізму має вигляд [8]:

$$SP(P_1, P_2, P_3, P_4) := \begin{cases} P_{1_2} \leftarrow P_2 - P_1 \\ P_{3_4} \leftarrow P_4 - P_3 \\ P_{1_3} \leftarrow P_3 - P_1 \\ x \leftarrow \frac{-P_{1_2X} \cdot P_{3_4X} \cdot P_{1_3Y} - P_{1_2Y} \cdot P_{3_4X} \cdot P_{1X} + P_{1_2X} \cdot P_{3_4Y} \cdot P_{3X}}{P_{1_2X} \cdot P_{3_4Y} - P_{1_2Y} \cdot P_{3_4X}} \\ y \leftarrow \frac{P_{1_2Y} \cdot P_{3_4Y} \cdot P_{1_3X} + P_{1_2X} \cdot P_{3_4Y} \cdot P_{1Y} - P_{1_2Y} \cdot P_{3_4X} \cdot P_{3Y}}{P_{1_2X} \cdot P_{3_4Y} - P_{1_2Y} \cdot P_{3_4X}} \\ SP \leftarrow (x \quad y \quad 0)^T \end{cases} \quad (7)$$

З використанням виразу (7) визначається радіус-вектор особливої точки  $SP_1(\varphi_1)$  – точка перетину ліній ланок 4 та 5:

$$SP_1(\varphi_1) = SP(P_6, P_4(\varphi_1), P_7, P_5(\varphi_1)). \quad (8)$$

Слід зазначити, що вираз програмного блоку (7) також дозволяє визначити радіус-вектори й інших двох особливих точок:  $SP_2(\varphi_1)$  – точки перетину ліній ланок 2 та 4;  $SP_3(\varphi_1)$  – точки перетину ліній ланок 2 та 5:

$$SP_2(\varphi_1) = SP(P_2(\varphi_1), P_3(\varphi_1), P_6, P_4(\varphi_1)); \quad SP_3(\varphi_1) = SP(P_2(\varphi_1), P_3(\varphi_1), P_7, P_5(\varphi_1)).$$

Складемо програмний блок для визначення векторів нормальних складових реакцій  $R_{n_j}(\varphi_1)$  в кінематичних парах механізму, розглядаючи рівновагу всієї групи третього класу під дією моментів сил відносно особливої точки:

$$RSP_n(SP, P_1, P_2, S, F, M) := \begin{cases} P_{SP\_2} \leftarrow P_2 - SP \\ P_{1\_2} \leftarrow P_2 - P_1 \\ m \leftarrow \text{rows}(S) \\ \text{for } i \in 1..m \\ P_{SP\_S_i} \leftarrow S_i - P_{SP} \\ M_\Sigma \leftarrow \left[ \sum_{i=1}^m (P_{SP\_S_i} \times F_i) \right] + M \\ RSP_n \leftarrow \text{Ort}(P_{1\_2}) \cdot \frac{(M_\Sigma)_Z}{\left| (P_{SP\_2} \times \text{Ort}(P_{1\_2}))_Z \right|} \end{cases} \quad (9)$$

Використовуючи програмний блок (9), визначимо вектор нормальної складової реакції  $R_{n_2}(\varphi_1)$  в кінематичній парі  $P_2$ :

$$R_{n_2}(\varphi_1) := RSP_n(SP_1(\varphi_1), P_3(\varphi_1), P_2(\varphi_1), PS_\Sigma(\varphi_1), PF_\Sigma(\varphi_1), M_\Sigma(\varphi_1)); \quad (10)$$

де  $PS_\Sigma(\varphi_1)$  – тензори координат точок прикладання сил, що діють на ланки групи третього класу;  $PF_\Sigma(\varphi_1)$  – тензори сил, що діють на ланки групи третього класу:

$$PS_\Sigma(\varphi_1) := [S_2(\varphi_1) \ S_3(\varphi_1) \ S_4(\varphi_1) \ S_4(\varphi_1) \ S_2(\varphi_1) \ S_3(\varphi_1) \ S_4(\varphi_1) \ S_5(\varphi_1) \ P_2(\varphi_1) \ P_6 \ P_7]^T;$$

$$PF_\Sigma(\varphi_1) := [G_2 \ G_3 \ G_4 \ G_5 \ F_2(\varphi_1) \ F_3(\varphi_1) \ F_4(\varphi_1) \ F_5(\varphi_1) \ R_{\tau_2}(\varphi_1) \ R_{\tau_6}(\varphi_1) \ R_{\tau_7}(\varphi_1)]^T.$$

З виразів (4) та (10) визначаємо вектор реакції  $R_2(\varphi_1)$  в кінематичній парі  $P_2$ :

$$R_2(\varphi_1) := R_{\tau_2}(\varphi_1) + R_{n_2}(\varphi_1). \quad (11)$$

Для визначення нормальних складових векторів реакцій  $R_{n_j}(\varphi_1)$  в інших кінематичних парах ( $P_6$  та  $P_7$ ) складемо програмний блок, розглядаючи рівновагу всієї групи третього класу під дією всіх сил, користуючись рекомендаціями [9]:

$$R_n(P_1, P_2, P_3, R_\Sigma, P) := \begin{cases} P_{1_2} \leftarrow P_2 - P_1 \\ P_{1_3} \leftarrow P_3 - P_1 \\ \text{if } P = P_2 \\ Rn_2 \leftarrow \frac{(R_\Sigma \times \text{Ort}(P_{1_3}))_Z}{(\text{Ort}(P_{1_2}) \times \text{Ort}(P_{1_3}))_Z} \cdot \text{Ort}(P_{1_2}) \\ Rn_2 \\ \text{if } P = P_3 \\ Rn_3 \leftarrow \frac{(R_\Sigma \times \text{Ort}(P_{1_2}))_Z}{(\text{Ort}(P_{1_3}) \times \text{Ort}(P_{1_2}))_Z} \cdot \text{Ort}(P_{1_3}) \\ Rn_3 \end{cases} \quad (12)$$

Використовуючи програмний блок (12), визначимо вектори нормальних складових реакцій  $R_{n_6}(\varphi_1)$  та  $R_{n_7}(\varphi_1)$  в кінематичних парах  $P_6$  та  $P_7$ :

$$R_{n_6}(\varphi_1) := R_n(SP_1(\varphi_1), P_6, P_7, R_\Sigma(\varphi_1), P_6); \quad (13)$$

$$R_{n_7}(\varphi_1) := R_n(SP_1(\varphi_1), P_6, P_7, R_\Sigma(\varphi_1), P_7); \quad (14)$$

де  $R_\Sigma(\varphi_1)$  – вектор всіх сил, які діють на групу третього класу (за винятком  $R_{n_6}(\varphi_1)$  та  $R_{n_7}(\varphi_1)$ ):

$$R_\Sigma(\varphi_1) := -(R_2(\varphi_1) + R_{\tau_6}(\varphi_1) + R_{\tau_7}(\varphi_1) + G_2 + G_3 + G_4 + G_5 + F_2(\varphi_1) + F_3(\varphi_1) + F_4(\varphi_1) + F_5(\varphi_1)).$$

З відповідних виразів (5) та (13) і (6) та (14) визначаємо вектори реакцій  $R_6(\varphi_1)$  та  $R_7(\varphi_1)$  в кінематичних парах  $P_6$  та  $P_7$ :

$$R_6(\varphi_1) := R_{\tau_6}(\varphi_1) + R_{n_6}(\varphi_1). \quad (15)$$

$$R_7(\varphi_1) := R_{\tau_7}(\varphi_1) + R_{n_7}(\varphi_1). \quad (16)$$

Вектори реакцій  $R_3(\varphi_1)$ ,  $R_4(\varphi_1)$  та  $R_5(\varphi_1)$  в кінематичних парах  $P_3$ ,  $P_4$  та  $P_5$  визначаються з рівнянь сил, що діють на окремі ланки 2, 4 та 5 відповідно:

$$R_3(\varphi_1) := -(R_2(\varphi_1) + G_2 + F_2(\varphi_1)). \quad (17)$$

$$R_4(\varphi_1) := -(R_6(\varphi_1) + G_4 + F_4(\varphi_1)). \quad (18)$$

$$R_5(\varphi_1) := -(R_7(\varphi_1) + G_5 + F_5(\varphi_1)). \quad (19)$$

Перевіркою коректного розрахунку реакцій може служити рівняння сил, що діють на шатун 3 (базисну ланку), сума яких має дорівнювати нулю, тобто:

$$-R_3(\varphi_1) - R_4(\varphi_1) - R_5(\varphi_1) + G_5 + F_5(\varphi_1) = (0 \ 0 \ 0)^T. \quad (20)$$

Розглянемо рівновагу ведучої ланки та визначимо реакцію  $R_1(\varphi_1)$  з боку стояка кривошипа I:

$$R_1(\varphi_1) := -(G_1(\varphi_1) + F_1(\varphi_1) - R_{\tau_2}(\varphi_1)). \quad (21)$$

Визначимо момент  $M_{\Sigma I}(\varphi_1)$ , що врівноважує сили, що діють на кривошип I:

$$M_{\Sigma I}(\varphi_1) := S_1(\varphi_1) \times G_1(\varphi_1) + S_1(\varphi_1) \times F_1(\varphi_1) - P_2(\varphi_1) \times R_{\tau_2}(\varphi_1). \quad (22)$$

Слід зауважити, що векторний добуток  $M_{F_1}(\varphi_1) = S_1(\varphi_1) \times F_1(\varphi_1)$  у випадку

рівномірного обертання кривошипа  $I$  дорівнює:  $M_{F_1}(\varphi_1) = (0 \ 0 \ 0)^T$ .

Конструювання кінематичних пар попередньо вимагає визначення мінімально допустимих діаметрів цапф рухомого з'єднання ланок. Цапфу представимо у вигляді консольної балки круглого перерізу. Прийmemo довжини цапф  $l_{u_j}$  для  $j$ -ої кінематичної пари. Тоді діаметри цапф кінематичних пар  $d_{u_j}$  визначимо з виразу відомої з опору матеріалів умовою міцності на згин:

$$d_{u_j} := \sqrt[3]{\frac{32 \cdot R_{\max_j} \cdot \frac{l_{u_j}}{2}}{\pi \cdot [\sigma]}}. \quad (23)$$

де  $R_{\max_j}$  – максимальне значення реакції в  $j$ -й кінематичній парі;

$\sigma$  – допустиме напруження на згин.

$$R_{\max_j} := R_j(\text{Maximize}(R_{j\_max}, \varphi_{R1})), \quad (24)$$

де *Maximize* – функція в Mathcad [11] для визначення екстремуму функції;

$R_{j\_max}$  – модуль вектора реакції в  $j$ -й кінематичній парі,  $R_{j\_max}(\varphi_1) := |R_j(\varphi_1)|$ ,

$\varphi_{Rj}$  – аргумент функції *Maximize*, який визначає початкове значення кута кривошипа  $I$ , в околиці якого здійснюється пошук  $R_{\max_j}$ .

З використанням синтезованих та визначених в роботі [5] метричних та кінематичних параметрів механізму, що досліджується, визначені миттєві та максимальні значення реакцій в семи кінематичних парах за виразами (11), (15) – (19), (21) та (24):  $R_{\max_1} = 232,74$  Н;  $R_{\max_2} = 1039,52$  Н;  $R_{\max_3} = 647,28$  Н;  $R_{\max_4} = 299,37$  Н;  $R_{\max_5} = 161,28$  Н;  $R_{\max_6} = 286,49$  Н;  $R_{\max_7} = 146,43$  Н, а також мінімально допустимі діаметри цапф за виразом (23):  $d_{u_1} = 4,91$  мм;  $d_{u_2} = 8,09$  мм;  $d_{u_3} = 6,91$  мм;  $d_{u_4} = 5,34$  мм;  $d_{u_5} = 4,35$  мм;  $d_{u_6} = 5,26$  мм;  $d_{u_7} = 4,21$  мм. Таким чином, найбільш навантаженою є кінематична пара  $P_2$ , утворена кривошипом  $I$  та шатуном 2.

З використанням функції *Maximize* та відповідно до графіка на рис. 1 визначене максимальне значення моменту  $M_{\Sigma I\_max}$  та кут кривошипа  $I$ , на якому він досягається.

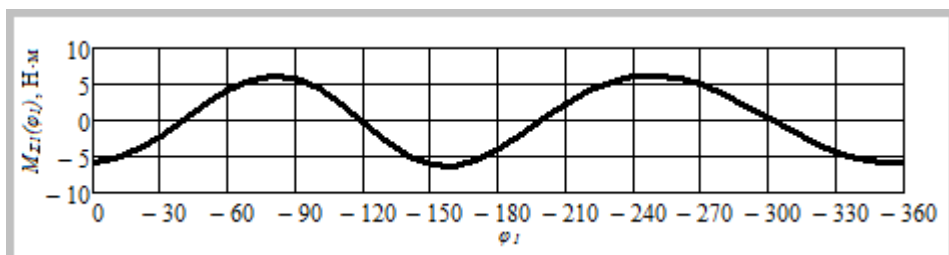


Рис. 2. Графік моменту  $M_{\Sigma I}(\varphi_1)$ , що врівноважує сили, що діють на кривошип 1

Максимальний за модулем момент  $M_{\Sigma I}(\varphi_1)$ , що врівноважує сили, що діють на кривошип  $I$ , становить  $M_{\Sigma I\_max} = -6,34$  Н·м, та досягається на куті повороту кривошипа  $\varphi_1 = -157,21^\circ$ . Отримані результати можуть бути використані при динамічному аналізі механізму при визначенні узагальненої сили в рівнянні руху механізму.

**Висновки.** Представлений метод комп'ютерного розрахунку дозволяє просто та наочно описувати силові характеристики роботи шарнірно-важільних механізмів вушкових

голок, побудованих на базі плоского шестиланкового механізму третього класу з обертальними кінематичними парами. Для врахування технологічних та інших зусиль, які можуть бути прикладені до ланок механізму, достатньо їх представити у вигляді векторів сил або векторів моментів та включити до відповідних виразів (4) – (6), (11), (13), (14), (17) – (19), (21), (22). Метод легко піддається формалізації та алгоритмізації в будь-яких сучасних математичних пакетах та мовах програмування та дозволяє застосовувати різні методи оптимізації для поставленого технічного завдання.

Результати можуть використовуватись для дослідження динаміки подібних механізмів в САД-програмах та розрахунків на міцність, жорсткість, вібростійкість, зносостійкість, довговічність, для визначення втрат енергії на тертя та енергетичного балансу.

### Література

1. Кіницький Я. Т. Аналітичне дослідження кінематики механізмів III класу з використанням системи Mathcad / Я. Т. Кіницький, М. В. Марченко, В. О. Харжевський // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2013. – № 6. – С. 7-10.
2. Дворжак В. М. Схемотехнічне моделювання механізмів основов'язальних машин зі структурними групами III класу. Повідомлення 1. [електронний ресурс] / В. М. Дворжак, Б. В. Орловський, Б. М. Петрів, М. Г. Залюбовський // Технології та дизайн. – 2012. – № 4. – Режим доступу до журн.: [http://archive.nbu.gov.ua/ejournals/td/2012\\_4/index.html](http://archive.nbu.gov.ua/ejournals/td/2012_4/index.html).
3. Дворжак В. М. Схемотехнічне моделювання механізмів основов'язальних машин зі структурними групами III класу. Повідомлення 2. [електронний ресурс] / В. М. Дворжак, Б. В. Орловський, Б. М. Петрів, М. Г. Залюбовський // Технології та дизайн. – 2013. – № 2. – Режим доступу до журн.: [http://archive.nbu.gov.ua/ejournals/td/2013\\_2/index.html](http://archive.nbu.gov.ua/ejournals/td/2013_2/index.html).
4. Орловський Б. В. Схемотехнічне моделювання механізмів основов'язальних машин з трьома ступенями вільності зі структурними групами III класу IV порядку / Б. В. Орловський, В. М. Дворжак, І. В. Савченко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2013. – № 3. – С. 174-181.
5. Дворжак В. М. Розробка і дослідження механізму коливального руху вушкових голок для основов'язальної машини / В. М. Дворжак, Ю. Ю. Чудінович, С. Г. Чмихало. //

### References

1. Kinytskyy, Ya. T., Marchenko, M. V. & Kharzhevskyy, V. O. (2013). *Analitychne doslidzhennya kinematyky mekhanizmiv III klasu z vykorystannnyam systemy Mathcad*. [Analytical study of kinematics of mechanisms of the III class using the system Mathcad]. Khmelnytsky: KhNU. Tekhnichni nauky, 6, 7-10 [in Ukrainian].
2. Dvorzhak, V. M., Orlovskyy, B. V., Petriv, B. M. & Zaliubovskyy, M. H. (2012). *Skhemotekhnichne modeliuвання mekhanizmiv osnovoviazalnykh mashyn zi strukturnymy hrupamy III klasu*. Povidomlennia 1. [Circuit modeling of the mechanisms of warp machines with third-class structural groups. Priority 1]. Kyiv: Tekhnolohiyi ta dyzayn, 4. Retrieved from: [http://archive.nbu.gov.ua/ejournals/td/2012\\_4/index.html](http://archive.nbu.gov.ua/ejournals/td/2012_4/index.html) [in Ukrainian].
3. Dvorzhak, V. M., Orlovskyy, B. V., Petriv, B. M. & Zaliubovskyy, M. H. (2013). *Skhemotekhnichne modeliuвання mekhanizmiv osnovoviazalnykh mashyn zi strukturnymy hrupamy III klasu*. Povidomlennia 2. [Circuit modeling of the mechanisms of warp machines with third-class structural groups. Priority 2]. Kyiv: Tekhnolohiyi ta dyzayn, 2. Retrieved from: [http://archive.nbu.gov.ua/e-journals/td/2013\\_2/index.html](http://archive.nbu.gov.ua/e-journals/td/2013_2/index.html) [in Ukrainian].
4. Orlovskyy, B. V., Dvorzhak, V. M. & Savchenko, I. V. (2013). *Skhemotekhnichne modeliuвання mekhanizmiv osnovoviazalnykh mashyn z tromya stupeniamy vilnosti zi strukturnymy hrupamy III klasu IV poriadku*. [Schematic modeling of the mechanisms of three-degree-knotting machines with fourth-order third-class structural groups]. Khmelnytsky: KhNU. Tekhnichni nauky, 3, 174-181 [in Ukrainian].
5. Dvorzhak, V. M., Chudinovych, Yu. Yu., & Chmykhalo, S. H. (2017). *Rozrobka i doslidzhennia mekhanizmu kolyvalnoho rukhu vushkovykh holok dlia osnovoviazalnoi mashyny* [Design and study of the mechanism of oscillatory movement of ear needles for the knitting machine]. Kyiv: Tekhnolohiyi ta dyzayn, 3.

Технології та дизайн. – 2017. – № 3. – Режим доступу:

[http://nbuv.gov.ua/UJRN/td\\_2017\\_3\\_14](http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2017_3_14).

6. Мацюк И. Н. Кинематический анализ плоских рычажных механизмов высоких классов в программе Mathcad. [электронный ресурс] / И. Н. Мацюк, В. М. Третьяков, Э. М. Шляхов // Теория механизмов и машин. – 2012. – № 1. Том 10. – С. 65-70. – Режим доступа до журн.: <http://tmm.spbstu.ru/journal.html>.

7. Кіницький Я. Т. Теорія механізмів і машин в системі Mathcad / Я. Т. Кіницький, В. О. Харжевський, М. В. Марченко. – Хмельницький : ХНУ, 2014. – 295 с.

8. Орловський Б. В. Метричний синтез оберненого кулісного механізму ниткопритягувача швейної машини. Повідомлення 1 [електронний ресурс] / Б. В. Орловський, В. М. Дворжак, Є. С. Радченко // Технології та дизайн. – 2011. – № 1. – Режим доступу до журн.: [http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/td/2011\\_1/2011-1.html](http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/td/2011_1/2011-1.html).

9. Котов А. В. Применение векторного анализа при проектировании рычажных механизмов / А.В. Котов, Ю.В. Чупрынин // Научно-технический прогресс в с.-х. производстве: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Минск, 2007. – С. 32–37.

10. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин / И. И. Артоболевский – М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 640 с.

11. Макаров Е. Г. Инженерные расчеты в MathCAD. / Е. Г. Макаров – СПб. : Питер, 2005. – 448 с.

Retrieved from: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/td\\_2017\\_3\\_14](http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2017_3_14) [in Ukrainian].

6. Matsyuk, I. N., Tretyakov, V. M. & Shlyahov, E. M. (2012). *Kinematicheskiy analiz ploskih ryichazhnyih mehanizmov vyisokih klassov v programme Mathcad [Kinematic analysis of flat lever mechanisms of high classes in the Mathcad program]*. Theory of mechanisms and machines, 1, V 10, 65-70. Retrieved from: <http://tmm.spbstu.ru/journal.html> [in Russian].

7. Kinytskyi, Ya. T., Kharzhevskiy, V. O. & Marchenko, M. V. (2014). *Teoriia mekhanizmv i mashyn v systemi Mathcad [Theory of mechanisms and machines in the Mathcad system]*. Khmel'nitsky: KhNU [in Ukrainian].

8. Orlovskyy, B. V., Dvorzhak, V. M. & Radchenko, Ye. S. (2011). *Metrichnyy syntez obrnenoho kulisnoho mekhanizmu nytkoprytyahuvacha shveynoi mashyny. Povidomlennya 1 [Metric synthesis is wrapped in a wedge-shaped manner to the mechanism of the sewing machine. Priority 1]*. Kyiv: Tekhnolohiyi ta dyzayn, 1. Retrieved from: [http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/td/2011\\_1/2011-1.html](http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/td/2011_1/2011-1.html) [in Ukrainian].

9. Kotov, A.V. & Chupryinin, Yu.V. (2007). *Primenenie vektornogo analiza pri proektirovanii ryichazhnyih mehanizmov [Application of vector analysis in the design of link mechanisms]*. Scientific and technical progress in agricultural production '07: Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (2007) – Int. scientific-practical conf. (pp 32-37) - Minsk [in Russian].

10. Artobolevskiy, I. I. (1988). *Teoriya mehanizmov i mashin [Theory of mechanisms and machines]*. Moscow: Nauka [in Russian].

11. Makarov, E. G. (2005). *Inzhenernye raschety v MathCAD. [Engineering calculations in MathCAD]*. St. Petersburg: Piter [in Russian].

DVORZHAK VOLODYMYR

ORCID <http://orcid.org/0000-0002-1693-9106>

Researcher ID <http://www.researcherid.com> P-5907-2018

Kyiv National University of Technologies and Design

## СИЛОВОЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМА КАЧАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ УШКОВЫХ ИГЛ ОСНОВОВЯЗАЛЬНЫХ МАШИН ДВОРЖАК В. М.

Київський національний університет технологій і дизайну

**Цель.** Совершенствование методов проектирования целевых механизмов технологических машин легкой промышленности с применением прикладных САД-программ.

**Методика.** Используются аппарат векторной алгебры; аналитический метод силового расчета плоских механизмов третьего класса третьего порядка на основе метода векторного преобразования координат; численный метод для расчета функций положения характерных и особых точек механизма третьего класса третьего порядка с вращательными кинематическими парами.

**Результаты.** Получены математические модели, описывающие силовые характеристики

механизма ушковых игл основовязальных машины, построенного на базе механизма третьего класса третьего порядка с вращательными кинематическими парами, в виде векторов сил (реакций) взаимодействия звеньев в местах их соприкосновения и составляющих векторов этих реакций в функции угла поворота ведущего кривошипа. Определены векторы сил взаимодействия звеньев в местах их соприкосновения и мгновенные и предельные значения нагрузок в кинематических парах плоского шестиланкового механизма колебательного движения ушковых игл основовязальных машин, построенного на базе механизма третьего класса третьего порядка с вращательными кинематическими парами; определены предельно допустимые диаметры цапф кинематических пар звеньев механизма в САД-программе; определен момент, уравновешивающий силы, действующие на звено приведения.

**Научная новизна.** Предложен алгоритм аналитического силового исследования работы плоского шестизвенного шарнирно-рычажного механизма ушковых игл основовязальных машины, синтезированного на базе механизма третьего класса третьего порядка с вращательными кинематическими парами, с использованием аппарата векторной алгебры. Созданы программные блоки для автоматизированного компьютерного расчета радиус-векторов особых точек механизма, векторов тангенциальных, нормальных и результирующих сил взаимодействия звеньев в местах их соприкосновения в САД-программе.

**Практическая значимость** работы заключается в использовании полученных результатов при конструировании механизмов третьего класса третьего порядка с вращательными кинематическими парами и динамическом исследовании подобных целевых механизмов машин легкой промышленности.

**Ключевые слова:** силовой анализ, механизм третьего класса, механизм ушковых игл, основовязальная машина.

## POWER ANALYSIS OF THE MECHANISM OF THE PUMPING MOVEMENT OF THE EARTH NEEDLES OF BASIC KNITTING MACHINES DVORZHAK V. M.

Kyiv National University of Technologies and Design

**Purpose.** Improving methods of designing technological machines mechanisms of light industry in CAD-programs.

**Methodology.** Used vector algebra apparatus; analytical method for the force calculation of planar mechanisms of the third class of the third order on the basis of the method of vector transformation of coordinates; a numerical method for calculating the position functions of characteristic and singular points of a third-class third-order mechanism with rotating kinematic pairs.

**Findings.** Mathematical models were obtained describing the power characteristics of the mechanism of the ear needles of a basic machine, based on the mechanism of the third class of the third order with rotating kinematic pairs, in the form of force vectors (reactions) of the interaction of the links at the points of their contact and the constituent vectors of these reactions in the function of the leading crank. The vectors of the forces of interaction of the links at the points of their contact and the instantaneous and limiting values of the loads in the kinematic pairs of the flat six-link mechanism of oscillatory motion of the ear needles of the basic knitting machine, based on the mechanism of the third class of the third order with rotating kinematic pairs, are determined; the maximum permissible diameters of the axes of the kinematic pairs of mechanism members in the CAD program are determined; defined moment that balances the forces acting on the link of the cast.

**Originality.** The algorithm of analytical force study of the work of a flat six-link articulated lever mechanism of ear needles of a basic knitting machine synthesized on the basis of a third-class third-order mechanism with rotating kinematic pairs using a vector algebra apparatus is proposed. Software blocks have been created for the automated computer calculation of the radius vectors of the special points of the mechanism, the vectors of the tangential, normal, and the resultant forces of the interaction of the links at the points of contact in the CAD program.

**Practical Value** is to use the results obtained in the design of third-class third-order mechanisms with rotary kinematic pairs and the dynamic study of similar target mechanisms of light industry machinery.

**Keywords:** force analysis, third-class mechanism, mechanism of eye needles, warp knitting machine.

УДК 677.024.01

НОДА О. М., ЗАКОРА О. В., РЯЗАНОВА О. Ю.,  
ФЕДОРЧЕНКО О. В.

Херсонський національний технічний університет

## РОЗРОБКА ПРИНЦИПУ СИСТЕМАТИЗАЦІЇ МЕТОДІВ ПРОЕКТУВАННЯ ДИЗАЙНУ ТКАНИН ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ЗАСОБАМИ

**Мета.** Визначити принцип розподілу на групи методів проектування дизайну тканин технологічними засобами.

**Методика.** Використані загальнонаукові методи дослідження: загальнологічні (аналіз і синтез), теоретичні (узагальнення і метод системного підходу), візуально-аналітичний та метод класифікації.

**Результати.** На основі аналізу наукових досліджень з'ясовано, що особливості структури тканого полотна, одержаної при певних параметрах тканино формування, в поєднанні з кольоровим оформленням створюють художньо-виразний образ тканини, тобто методи проектування структури тканини, як технологічні засоби, у підсумку і є методами проектування її дизайну. Виявлено недостатність вивчення ролі технологічних факторів у формуванні дизайну тканин, що є наслідком відсутності систематизації у даному питанні. Запропоновано принцип систематизації методів проектування дизайну тканин, який полягає в розподілі методів на чотири групи в залежності від способу отримання дизайнерського ефекту: колір волокон і ниток, структура і сировинний склад ниток, вид переплетення, параметри ткацтва. Наведено коротку характеристику впливу технологічних засобів на дизайн тканин, з яких останнім часом більше уваги приділяється параметрам ткацтва, та надано приклади отриманих дизайнерських ефектів на поверхні тканин.

**Наукова новизна.** Вперше проведений аналіз методів проектування дизайну тканин технологічними засобами, які застосовуються в процесі десинаторської підготовки ткацького виробництва, та розроблена їх класифікація в залежності від способу отримання дизайнерського ефекту на поверхні тканого полотна.

**Практична значимість.** Можливість використання розробленої класифікації для оперативного вибору методів проектування з метою одночасного забезпечення заданої структури тканини, оптимального режиму її виготовлення та сучасного дизайну.

**Ключові слова.** Технологічні засоби, дизайн тканин, методи проектування, класифікація.

**Вступ.** Дизайнерський пошук нових композиційних рішень сучасних текстильних виробів пов'язаний з удосконаленням, систематизацією і розробкою нових способів декорування [1], окремим напрямком яких являється декорування тканин. Технологічні можливості отримання різноманітних дизайнерських ефектів на поверхні тканих виробів на сьогодні дуже широкі, але досягнення бажаного результату і його оцінка ускладнені необхідністю виготовлення дослідних зразків, що призводить до підвищення виробничих витрат, і є наслідком неповноти теоретичної бази відомостей про роль технологічних засобів у створенні дизайну тканин. Повноцінне використання технологічних прийомів при оформленні тканин вимагає глибокого вивчення методик проектування і виявлення взаємозв'язків між ними, що можливо при системному підході до процесу проектування і виготовлення для гарантованого отримання якісних текстильних виробів з високими естетичними показниками та дозволяє скоротити виробничі витрати.

Питанням дизайнерського оформлення тканин присвячено багато наукових праць, серед яких можна відокремити два основних напрямки: дизайн як результат кольорового оформлення тканин і дизайн як результат проектування нових і комбінації існуючих видів

ткацьких переплетень. Теоретичні і практичні дослідження основ кольорового оформлення тканин розглядаються в роботах [2-8], де акцент робиться або на гармонійному сполученні кольорів засобами опоряджувального виробництва [7], або на оптимальному поєднанні кольорових ниток у пістрявотканому виробництві [8]. Але такі підходи, як правило, не проєцируються на структуру тканого полотна і його вплив на результат художнього оформлення. Дизайн тканин технологічними засобами, як результат праці десинатора, в основному представлений розробкою нових видів переплетень [9-13], які останнім часом доповнені дослідженнями впливу структури ниток на дизайн поверхні [14-16] та параметрів виготовлення тканин на ткацькому верстаті [17-22]. Подальший розвиток теорії і практики дизайну тканин у світі сучасних вимог до інноваційного текстилю [23-25] обумовлює актуальність комплексного підходу до дослідження взаємозв'язку між означеними факторами впливу, який не можливий без розробки систематизації набутих попередньо знань про методи проєктування дизайну тканин технологічними засобами.

**Постановка завдання.** Теорія і практика побудови тканин має в своєму арсеналі широкий вибір методик проєктування структурних параметрів тканин різного асортименту і призначення. Першочерговою задачею десинатора при цьому є проєктування тканини заданої структури, яка б забезпечувала відповідні властивості тканин і умови її виготовлення на ткацькому верстаті з найменшою напруженістю [26-29]. Але особливості структури тканого полотна, одержаної при певних параметрах тканиноформування, що обумовлюють рельєф поверхні, в поєднанні з кольоровим оформленням саме і створюють художньо-виразний образ тканини. Тобто методи проєктування структури тканини в сучасному розумінні створення нового текстильного виробу – у підсумку і є методами проєктування його дизайну, систематизація яких з метою подальшого об'єднання їх у групи та створення класифікації є основним завданням даної роботи.

**Результати дослідження.** Проєктування дизайну тканин – це розрахунковий та творчий процес досягнення єдності зовнішнього вигляду, форми та структури [15-16], який вимагає врахування багатьох факторів впливу, реалізованих окремими методами проєктування, які базуються як на простих залежностях впливу товщини ниток на рельєф тканини, так і на складних закономірностях гармонійного поєднання особливостей переплетення з кольором і структурою ниток. На основі теоретичних досліджень впливу технологічних факторів на дизайн зовнішнього оформлення тканин полотен [3,4,7,14,16,22] визначений принцип систематизації методів проєктування дизайну тканин. В якості основного критерію віднесення методів проєктування дизайну до певної групи класифікації обрані способи отримання дизайнерського ефекту, які характеризуються наступними технологічними факторами: колір ниток, структура ниток, переплетення, параметри ткацтва [30]. В результаті зміни одного фактору можливо урізноманітнити зовнішній вигляд тканини, а при комбінуванні декількох факторів одержати нову фактуру тканини [31]. Враховуючи дані фактори та упорядковуючи методи проєктування дизайну тканин технологічними засобами була створена класифікація [32], принцип побудови якої у вигляді блок-схеми представлений на рис. 1.

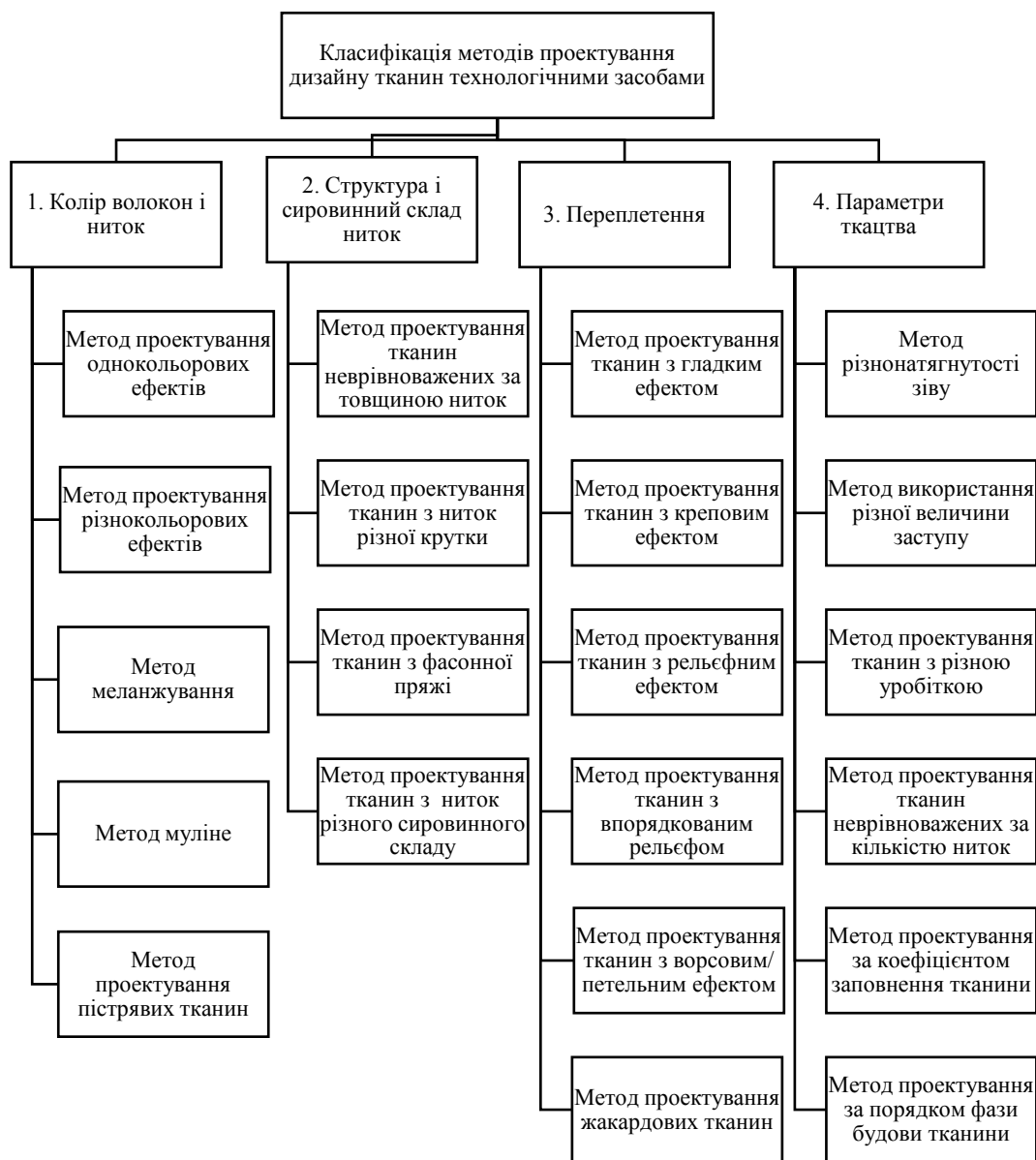


Рис.1. Блок-схема класифікації методів проектування дизайну тканин технологічними засобами

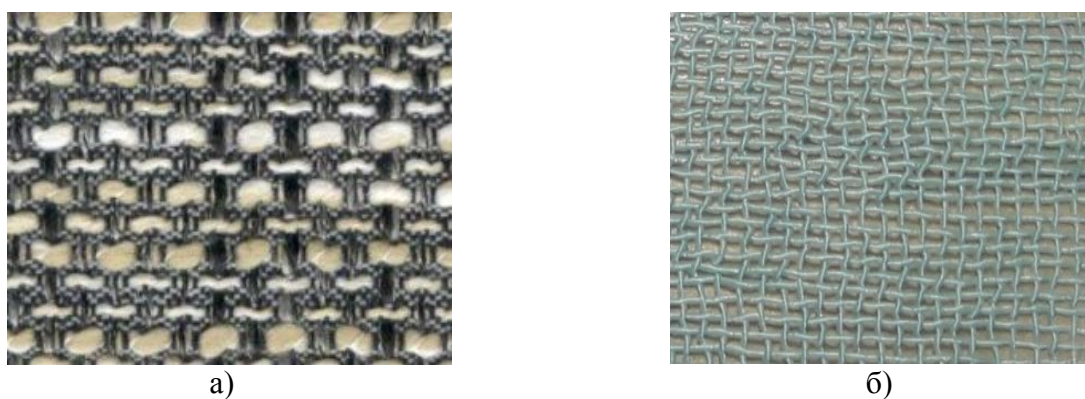
Дана класифікація має дворівневу ступінчасту ієрархію [33]. Перший рівень структурно відображає технологічні фактори впливу на зовнішній вигляд тканин, за якими здійснюється поділ обсягу поняття «методи проектування дизайну тканин» з метою їх систематизації. Другий рівень, що складають самі поняття, – це методи проектування дизайну тканин технологічними засобами, які класифікуються.

Методи проектування кольорових ефектів в тканинах передбачають як використання фарбованих ниток в різному сполученні, так і отримання дизайнерських ефектів за рахунок використання волокон різного кольору [34]. Приклади дизайнерського оформлення тканин, одержаних за допомогою даних методів, представлені на рис. 1.



Рис. 2. Тканини, одержані з використанням волокон і ниток різного кольору:  
а) метод проектування однокольорових ефектів; б) метод проектування різнокольорових ефектів; в) метод меланжування; г) метод муліне; д) метод проектування пістрявих тканин

Методи проектування тканин, які використовують структурні і сировинні особливості ниток, дозволяють одержувати тканини з оригінальним дизайном на базі, як правило, простих переплетень. Дизайнерський ефект утворюється за рахунок сполучень основних і утокових ниток з великою нерівномірністю за товщиною, з різною величиною і напрямленням крутки, з фасонною круткою або наявністю неспових ефектів, з вмістом волокон, які мають різне походження або значно відрізняються за товщиною і довжиною, та ін. [35]. Але використання даних методів повинно узгоджуватись з вимогами процесів підготовки ниток до ткацтва та технологічними умовами виготовлення їх на ткацькому верстаті [4,16,27]. Приклади тканин, які одержані з ниток різної структури і сировинного складу, представлені на рис. 3.



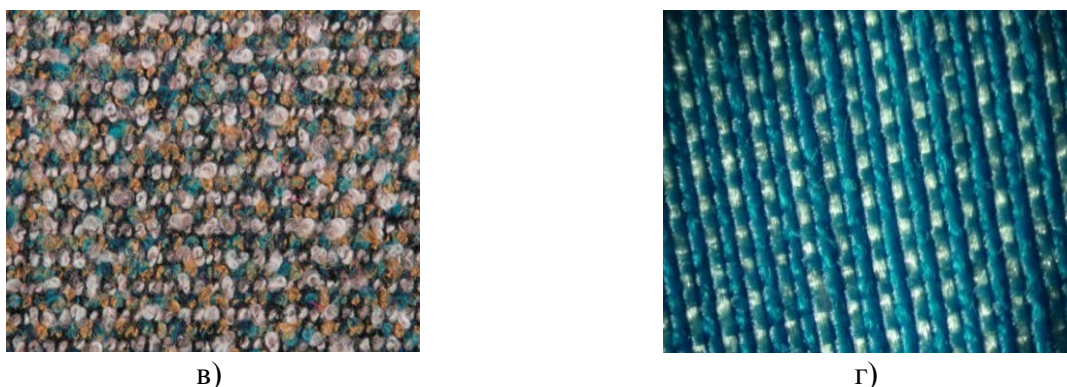


Рис. 3. Тканини, одержані з використанням ниток різної структури і сировинного складу: а) метод проектування тканин невідножених за товщиною ниток; б) метод проектування тканин з ниток різної крутки; в) метод проектування тканин з фасонної пряжі; г) метод проектування тканин з ниток різного сировинного складу

Багато можливостей для створення певного дизайну зовнішньої поверхні тканин надають методи проектування ткацьких переплетень [9]. Десинатори для досягнення бажаного ефекту можуть проектувати як відомі і поширені переплетення, так і розробляти нові з врахуванням взаємовпливу параметрів переплетення, структурних і кольорових показників ниток на художнє оформлення тканин. При цьому широкий діапазон дизайнерських нюансів можливо отримати на базі одного переплетення, що дозволяє ефективно використовувати можливості технологічного обладнання та скоротити виробничі витрати. Приклади дизайну тканин, створених різними переплетеннями, представлені на рис. 4.

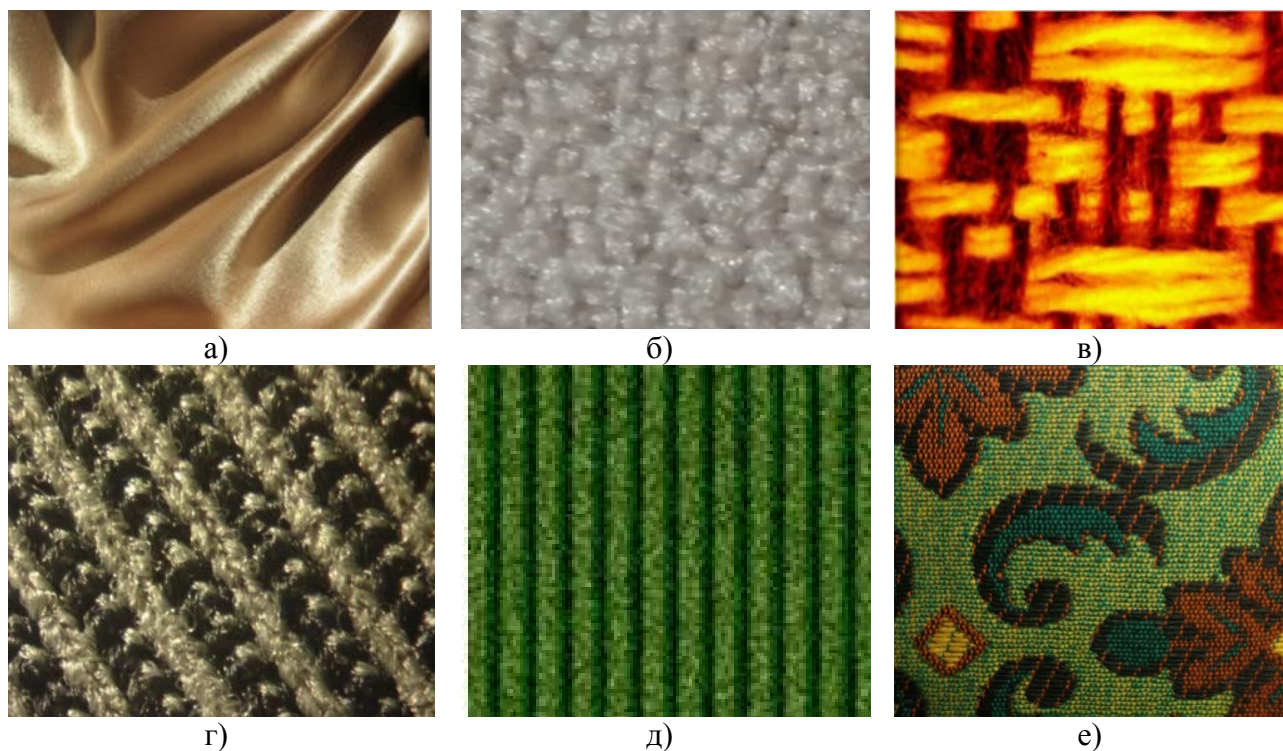


Рис. 4. Тканини різних переплетень: а) метод проектування тканин з гладким ефектом; б) метод проектування тканин з креповим ефектом; в) метод проектування тканин з рельєфним ефектом; г) метод проектування тканин з впорядкованим рельєфом; д) метод проектування тканин з ворсовим/ петельним ефектом; е) метод проектування жакардових тканин

Вплив параметрів роботи ткацького верстата на дизайн зовнішньої поверхні тканини на сьогоднішній день вивчений недостатньо. Але необхідність його врахування і можливість використання для створення певної структури тканин і одержання дизайнерських ефектів доведена в роботах сучасних теоретиків-технологів ткацького виробництва [17-22]. Навіть одного і того ж ефекту можливо отримати на ткацькому верстаті різними способами, що спрощує деякі питання десинаторської діяльності і забезпечує високу якість тканин. На рис. 5 представлені зразки тканин, дизайнерський ефект яких отриманий за допомогою корегування параметрів роботи деяких механізмів ткацького верстата: зівуютьворюючого механізму, основного і товарного регуляторів, а також шляхом зміни циклової діаграми роботи ткацького верстата та шляхом використання спеціальних пристроїв [36].

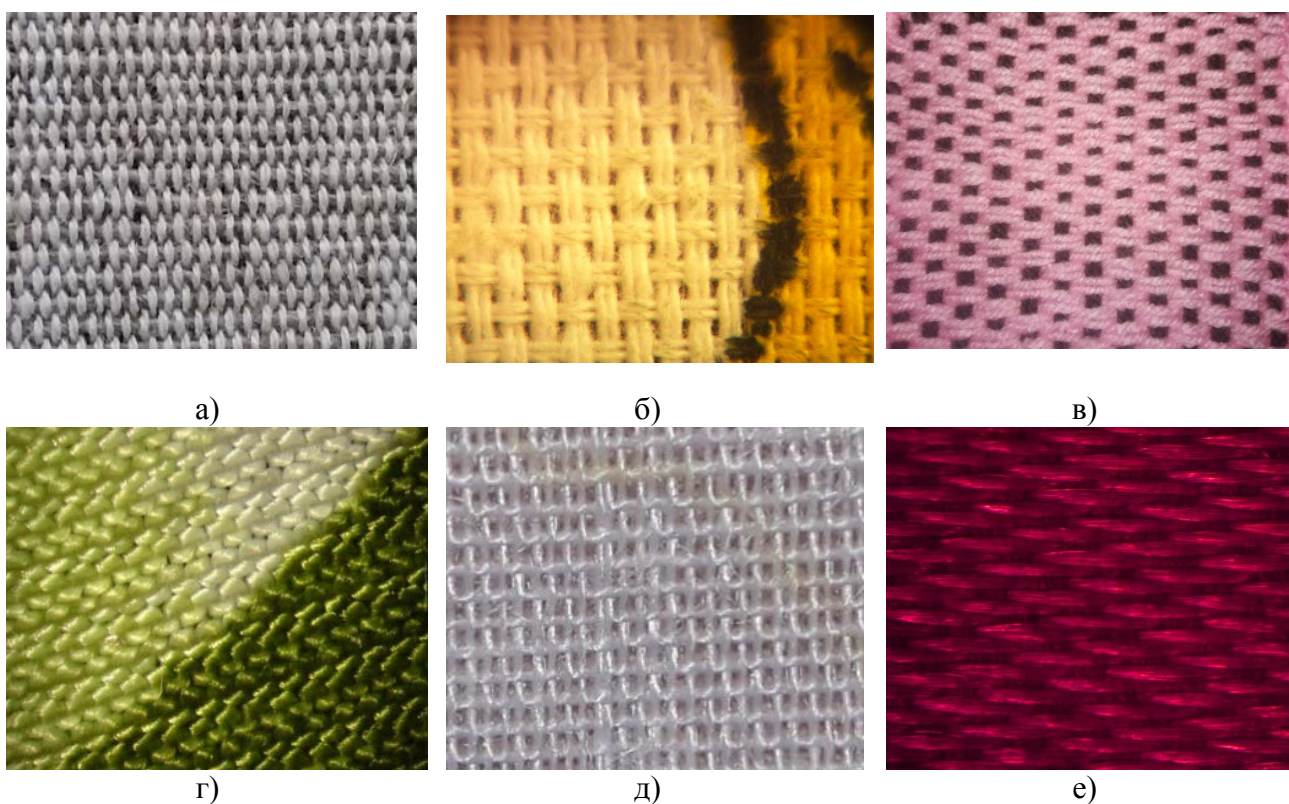


Рис. 5. Тканини, дизайнерський ефект яких отриманий шляхом зміни технологічних параметрів ткацтва: а) метод різнонацягнутості зіву; б) метод використання різної величини заступу; в) метод проектування тканин з різною уробіткою; г) метод проектування тканин невірноважених за кількістю ниток; д) метод проектування за коефіцієнтом заповнення тканини; е) метод проектування за порядком фази будови тканини

Класифікація методів проектування дизайну тканин технологічними засобами має важливе практичне значення для вивчення принципів дизайнерського оформлення текстильних полотен. Наявність такої класифікації надасть можливість оперативно зробити вибір серед існуючих методів проектування, який одночасно забезпечить одержання заданої структури тканини, оптимального режиму її виготовлення та сучасного дизайну, що в подальшому створить основу успіху при дизайн-проектуванні одягу та інших текстильних виробів різного призначення.

**Висновки.** Проведений аналітичний огляд наукової літератури показав, що вплив структурних параметрів тканин та технологічних засобів ткацтва на дизайнерське оформлення тканин вивчений недостатньо, що є наслідком відсутності систематизації в даному питанні.

Дослідження дизайну зовнішнього оформлення тканих полотен дозволило сформулювати обсяг поняття «методи проектування дизайну тканин технологічними засобами» для створення їх класифікації.

Визначений принцип систематизації методів проектування дизайну тканин технологічними засобами, який дозволяє віднести методи проектування дизайну до певної групи класифікації за способом отримання дизайнерського ефекту, до яких відносяться колір ниток, структура ниток, переплетення, параметри ткацтва.

Результатом класифікації є система підпорядкованих понять, що дозволяє в подальшому систематизувати, поглиблювати і отримувати нові знання про методи дизайнерського оформлення тканин та ефективно використовувати їх в процесах проектування текстильних виробів і розробки їх сучасного дизайну.

#### Література

1. Михайлюк О.Ю. Узагальнена систематизація різновидів фактур матеріалів для дизайн-проектування одягу / О.Ю. Михайлюк, М.В. Колосніченко, Н.В. Остапенко та ін. // «Art and Design» науковий фаховий журнал. – 2018. – №1. – С. 103 – 113.
2. Борзунов Г.И. Теоретические и прикладные аспекты автоматизации технической подготовки производства цветных тканых узоров: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / Борзунов Г.И. – Москва, 2010.
3. Быстрова, О.И. Структура основных средств художественного оформления ткани / О.И. Быстрова // Вісник ХДАДМ. – 2010. – № 3 – С. 25 – 33.
4. Лейтес Л.Г. Оформление тканей в ремизном ткачестве – Гизлегпром, 1957. – 276 с.
5. Романенко Н.Г. Цвет в дизайне текстиля / Н.Г. Романенко, И.А. Яковец, Ю.П. Ищенко // Вісник ХДАДМ. – 2005. – № 9. – С. 91 – 96.
6. Шагина Н.А. Способ крашения шерстяной ткани растительными красителями / Н.А. Шагина, Г.Е. Кричевский // Дизайн и технологии. – 2015. – №46 (88). – С. 48 – 52.
7. Никитин М.Н. Художественное оформление тканей – М.: Легкая индустрия, 1971. – 280 с.
8. Николаев С.Д. Пестроткани. Особенности

#### References

1. Mykhailiuk, O.Yu., Kolosnichenko, M.V., Ostapenko, N.V. et al. (2018) Uzahalnena systematyzatsiia riznovydiv faktur materialiv dlia dyzain-proektuvannia odiahu [Generalized system ratings of surface of the materials for design of clothes]. «Art and Design» naukovyi fakhovyi zhurnal – «Art and Design» scientific professional journal, 1, 103-113 [in Ukrainian].
2. Borzunov, G.I. (2010) Teoreticheskie i prikladnye aspekty avtomatizatsii tekhnicheskoy podgotovki proizvodstva tsvetnykh tkanykh uzorov [Theoretical and applied aspects of automation of technical preparation for the production of colored woven patterns]. Candidate's thesis. Moscow [in Russian].
3. Bystrova, O.I. (2010) Struktura osnovnykh sredstv khudozhestvennogo oformleniya tkani [The structure of the basic methods of decorating fabric]. Visnyk KhDADM – Bulletin KSADA, 3, 25-33 [in Russian].
4. Leytes, L.G. (1957) Ofornlenie tkaney v remiznom tkachestve [Decoration of fabrics is in fine weaving]. Gizlegprom [in Russian].
5. Romanenko, N.G., Yakovets, I.A., Ishchenko, Yu.P. (2005) Tsvet v dizayne tekstilya [Color in textile design]. Visnyk KhDADM – Bulletin KSADA, 9, 91-96 [in Russian].
6. Shagina, N.A., Krichevskiy, G.E. (2015) Sposob krasheniya sherstyanoj tkani rastitel'nymi krasitelyami [Method of dyeing of wool fabric vegetable dyes]. Dizayn i tekhnologii – Design and technology, 46, 88, 48-52 [in Russian].
7. Nikitin, M.N. (1971) Khudozhestvennoe ofornlenie tkaney [Decorative design of fabrics]. Moscow: Legkaya industriya [in Russian].

- строения и технологии выработки / С.Д. Николаев, С.В. Малецкая // Учебное пособие для вузов. – М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2005. – 248 с.
9. Євдокименко О.М. Переплетення як основний технологічний засіб проектування дизайну тканин / О.М. Євдокименко, О.В. Загора, О.В. Федорченко // Матеріали IV-ої Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології промислового комплексу: базові процесні інновації – 2018», (12 – 16 вересня 2018 р.) випуск 4. – Херсон: ХНТУ. – 2018. – С. 38 – 39.
10. Кольцов С.С. Создание на ткани эффекта объемных полос с помощью шашечных переплетений / С.С. Кольцов, Н.А. Коробков, Г.И. Толубеева // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2014. – №1. – С.56 – 60.
11. Малецкий В.В. Разработка новых способов построения комбинированных переплетений с использованием информационных технологий: автореф. дис. на соискание учен. степени канд. техн. наук: 05.19.02 / В.В. Малецкий – Москва: МГТА им. Косыгина. – 2011. – 16 с.
12. Мальгунова Н.А. Разработка информационных методов для художественного проектирования и оформления эксклюзивных изделий способом ткачества: дис. ... канд. техн. наук: 17.00.06 / Мальгунова Надежда Александровна – Санкт-Петербург, 2012.
13. Мирошниченко Д.А. Новые комбинированные переплетения, имитирующие выпуклые и вогнутые диагонально симметричные поверхности на однослойной ткани / Д.А. Мирошниченко, Г.И. Толубеева, Н.А. Коробов, Е.Н. Никифорова // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017. – №5. – С. 104 – 107.
14. Лагунова, А. В. Дизайн текстильных изделий / А.В. Лагунова // Вісник ХДАДМ. – 2011. – № 2 – С. 34 – 37.
15. Прохорова И. А. Совершенствование ассортимента шерстяных тканей в современных условиях их проектирования / И.А. Прохорова, Е.В. Чепелюк, О.В. Жук, А.А. Корнева // Вісник ХДАДМ – 2008. – № 2. – С. 84 – 90.
16. Прохорова І.А. Проектування тканин.
8. Nikolaev, S.D., & Maletskaya S.V. (2005) *Pestrotkani. Osobennosti stroeniya i tekhnologii vyrabotki* [Multi-colored. Features of structure and technology of making]. Moscow [in Russian].
9. Yevdokymenko, O.M., Zakora, O.V., Fedorchenko, O.V. (2018) *Perepletennia yak osnovnyi tekhnolohichniy zasib proektuvannia dyzainu tkanyn* [Interlacing as the main technological means of designing fabric design]. *Materialy IV-oi Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii "Suchasni tekhnolohii promyslovoho kompleksu: bazovi protsesni innovatsii – 2018"* (12 – 16.03.2018r.) – 4nd International Scientific and Practical Conference, 4, 38-39. Kherson [in Ukraine].
10. Koltsov, S.S., Korobkov, N.A., Tolubeeva, G.I. (2014) *Sozdanie na tkani efekta obemnykh polos s pomoshchyu shashechnykh perepletений* [Creation on fabric of effect of by volume strips by the checker interlacings]. *Izv.vuzov Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti – Information of institutes of higher is Technology of textile industry, 1, 56-60* [in Russian].
11. Maletskiy, V.V. (2011) *Razrabotka novykh sposobov postroeniya kombinirovannykh perepletений s ispol'zovaniem informatsionnykh tekhnologiy* [Development of new methods of construction of the combined interlacings with the use of information technologies]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Moscow [in Russian].
12. Malgunova, N.A. (2012) *Razrabotka informatsionnykh metodov dlya khudozhestvennogo proektirovaniya i oformleniya eksklyuzivnykh izdeliy sposobom tkachestva* [Development of informative methods for the artistic planning and registration of exclusive wares the method of weaving]. *Candidate's thesis*. St. Petersburg [in Russian].
13. Miroshnichenko, D.A., Tolubeeva, G.I., Korobov, N.A., Nikiforova, E.N. (2017) *Novye kombinirovannye perepleteniya, imitiruyushchie vypuklye i vognutye diagonalno simmetrichnye poverkhnosti na odnosloynoy tkani* [New combined interlacings, imitating protuberant and concave diagonally symmetric surfaces on single layer fabric]. *Izv.vuzov Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti – Information of institutes of higher is Technology of textile industry, 5, 104-107* [in Russian].
14. Lahunova, A.V. (2011) *Dyzain tekstylnykh yzdelyi* [Design of textile product]. *Visnyk KhDADM – Bulletin KSADA, 2, 34-37* [in Russian].
15. Prokhorova, I. A., Chepelyuk, E.V., Zhuk, O.V., Korneva, A.A. (2008) *Sovershenstvovanie assortimenta sherstyanykh tkaney v sovremennykh usloviyakh ikh proektirovaniya* [Perfection of assortment of woollens is in the modern terms of their planning]. *Visnyk KhDADM – Bulletin KSADA, 2, 84-90* [in Russian].
16. Prokhorova, I.A. & Zakora, O.V. (2012)

- Навчальний посібник / І.А. Прохорова, О.В. Загора / Під ред. І.А. Прохорової – Херсон: ХНТУ, 2012. – 342 с.
17. Чепелюк Е.В. Определение дизайна ткани на стадии проектирования // Материалы межвузовской научно-технической конференции «Проблемы легкой и текстильной промышленности». – Херсон. – 2001. – № 5. – С. 296.
18. Чепелюк О.В. Сучасні тенденції художнього оформлення тканин / О.В. Чепелюк, І.А. Прохорова // Вісник ХДАДМ. – 2007. – № 9. – С. 135 – 146.
19. Чепелюк О.В. Интегральная напряженность основы при формуванні рапорту переплетення тканини // Вісник КНУТД. – 2002 – №1. – С. 26 – 31.
20. Чепелюк О.В. Розробка технології проектування структури тканини та умов заправлення ниток основи на ткацьких верстатах: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.19.03 / О.В. Чепелюк – Херсон, 2002. – 20 с.
21. Чугин В.В. Прогнозирование технологичности структуры ткани: Монография для специалистов в области технологии ткани. / В.В. Чугин, Е.В. Чепелюк // Херсон; изд-во государственного технического университета, 2003. – 180 с.
22. Чугин В.В. Технология ткацкого производства / В.В. Чугин, Л.Ф. Кахраманова, М.Н. Недовизий // Учебник для студентов технологических специальностей высших учебных заведений всех форм обучения. Херсон, изд-во государственного технического университета, 2003. – 317 с.
23. Dimitrovski K. Influence of Weave and Densities on Visual Appearance of Woven Fabrics Made From Two Colored Yarns / Krste Dimitrovski, Ursa Grum, Klara Kostajnssek / Textile & Leather Review. 2018.- №1(1)-P.8-17
24. Quinn, B. Textile futures: Fashion, design and technology / B. Quinn. – London: Oxford: Berg, 2010. – 320 p.
25. Федорченко Е.В. Инновационный подход к проектированию тканей комбинированных переплетений с длинными прокидками / Е.В. Федорченко, О.В. Загора, И.Е. Кирильчук // Материалы и технологии. Витебск. – 2018. – №1(1) – С. Proektuvannia tkanyn. Navchalnyi posibnyk [Design of fabrics. Tutorial]. Kherson: KhNTU [in Ukraine].
17. Chepelyuk, E.V. (2001) Opredelenie dizayna tkani na stadii proektirovaniya [Determination of design of fabric on the stage of planning]. *Materialy mezhvuzovskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Problemy legkoy i tekstil'noy promyshlennosti» – Materials of the interuniversity scientific and technical conference «Problems of light and textile industry»*, 5, 296. Kherson [in Russian].
18. Chepeliuk, O.V., Prokhorova, I.A. (2007) Suchasni tendentsii khudozhnoho oformlennia tkanyn [Modern tendencies of decoration of fabrics]. *Visnyk KhDADM – Bulletin KSADA*, 9, 135-146 [in Ukraine].
19. Chepeliuk, O.V. (2002) Intehralna napruzhenist osnovy pry formuvanni raportu perepletennia tkanyny [The integral tension of the base during the formation of the rapport of the weave of fabric]. *Visnyk KNUVD – Bulletin KNUVD*, 1, 26-31 [in Ukraine].
20. Chepeliuk O.V. Rozrobka tekhnolohii proektuvann struktury tkanyny ta umov zapravlennia nytok osnovy na tkatskykh verstatakh [Projection of fabric structure and mounting conditions of warp threads on the looms]. Extended abstract of candidate's thesis. Kherson [in Ukrainian].
21. Chugin, V.V. & Chepelyuk, E.V. (2003) *Prognozirovanie tekhnologichnosti struktury tkani* [Prognostication of technologicalness of structure of fabric: Monograph for specialists in area of technology of fabric]. Kherson [in Russian].
22. Chugin, V.V., Kakhramanova, L.F. & Nedoviziy, M.N. (2003) *Tekhnologiya tkatskogo proizvodstva* [Technology of weaving production]. Kherson [in Russian].
23. Dimitrovski, K., Ursa, G., Klara K. (2018) Influence of Weave and Densities on Visual Appearance of Woven Fabrics Made From Two Colored Yarns, *Textile & Leather Review*, 1, 1, 8-17 [in English]
24. Quinn, B. (2010) *Textile futures: Fashion, design and technology*, London: Oxford: Berg, 320 [in English]
25. Fedorchenko, E.V., Zakora, O.V., Kirilchuk, I.E. (2018) Innovatsionnyy podkhod k proektirovaniyu tkaney kombinirovannykh perepleteniy s dlinnymi prokidkami [An innovative approach to designing fabrics of combined weaves with long stitches]. *Materialy i tekhnologii. Vitebsk- Materials and technologies. Vitebsk*, 1, 1, 28-32 [in Russian].
26. Nikolaev, S.D., Mikhaeva, N.A., Parfenov, O.V. (2008) Vliyanie vida perepleteniya na parametry stroeniya tkaney [Influence of type of interlacing on the parameters of structure of fabrics]. *Izv.vuzov Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti – Information of institutes of higher is Technology of textile industry*, 2, 59 [in Russian].

- 28-32.
26. Николаев С.Д. Влияние вида переплетения на параметры строения тканей / С.Д. Николаев, Н.А. Михалева, О.В. Парфенов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности, 2008. – №2 – С. 59.
27. Сурнина Н.Ф. Строение ткани и современные методы ее проектирования / Н.Ф. Сурнина, Г.Б. Дамянов, Ц.З. Бачев // М.: Легкая и пищевая пром-ть, 1984. – 235 с.
28. Федорченко О.В. Дослідження динаміки зміни структури тканин полотняного переплетення у процесі формування / О.В. Федорченко, О.В. Загора, О.Ю. Рязанова // Восточно-европейский журнал передовых технологий. Серия: Материаловедение. – Харьков: ЧП «Технологический центр». – 2015. – №6/11 (78). – С. 15 – 20.
29. Федорченко О.В. Особливості методу визначення порядку фази будови тканин комбінованих переплетень // Вісник Херсонського національного технічного університету. – Херсон: ХНТУ. – 2015. – № 4(55). – С. 130 –135.
30. Загора О.В. Аналіз методів проектування дизайну тканин / О.В. Загора, О.М. Євдокименко, О.В. Петіна // Актуальні проблеми економіки і торгівлі в сучасних умовах євроінтеграції: матеріали щорічної наукової конференції професорсько-викладацького складу та аспірантів Львівського торговельно-економічного університету / Львів: вид-во ЛТЕУ. – 2017. – С. 198 – 200.
31. Євдокименко О.М. Поняття фактури тканини в технології ткацтва / О.М. Євдокименко, О.В. Загора, О.В. Петіна / Соціокультурні тенденції розвитку сучасного мистецтва та дизайну // Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції (5-9 листопада 2018р.), ХНТУ/ за ред. Якимчук Е.В. – Херсон: ХНТУ, 2018. – С. 123 – 124.
32. Загора О.В. Класифікація методів проектування дизайну тканин технологічними засобами / О.В. Загора, О.М. Євдокименко, О.Ю. Рязанова, О.В. Федорченко // Свідोцтво про реєстрацію авторського права на твір №79574. Заявлено 05.05.18, опубліковано 04.06.2018.
33. Шинкарук В.І. Філософський
27. Surnina, N. F., Damyanov, G.B. & Bachev, Ts.Z. (1984) Stroenie tkani i sovremennye metody ee proektirovaniya [The structure of the fabric and modern methods of its design]. Moscow [in Russian].
28. Fedorchenko, O.V., Zakora, O.V., Ryzanova, O.Yu. (2015) Doslidzhennya dinamiki zmini strukturi tkanin polotnyanogo perepletennya u protsesi formuvannya [Research of the dynamics of the fabric structure of the interlacing in the process of forming]. *Vostochno-evropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy. Seriya: Materialovedenie – East European Journal of Advanced Technology. Series: Materials Science*, 6/11, 78, 15-20. Kharkov [in Ukrainian].
29. Fedorchenko, O.V. (2015) Osoblyvosti metodu vyznachennia poriadku fazy budovy tkanyn kombinovanykh perepletien [Features of the method of determining the order of the phase structure of fabrics of combined weaves] *Visnyk KhNTU – Bulletin KhNTU*, 4, 55, 130 –135. Kherson [in Ukrainian].
30. Zakora, O.V., Yevdokymenko, O.M., Petina, O.V. (2017) Analiz metodiv proektuvannia dyzainu tkanyn [Analysis of design methods of fabric design]. *Aktualni problemy ekonomiky i torhivli v suchasnykh umovakh yevrointehratsii: materialy shchorichnoi naukovoi konferentsii profesorsko-vykladatskoho skladu ta aspirantiv Lvivskoho torhovelnno-ekonomichnoho universytetu – Topical Problems of Economics and Trade in Modern Conditions of European Integration: Proceedings of the Annual Scientific Conference of the Faculty and Graduate Students of Lviv Trade and Economic University*. Lviv [in Ukrainian].
31. Yevdokymenko, O.M., Zakora, O.V., Petina, O.V. (2018) Poniattia faktury tkanyny v tekhnolohii tkatstva [The concept of fabric texture in weaving technology]. *Sotsiokulturni tendentsii rozvytku suchasnoho mystetstva ta dyzainu. Materialy IV Mizhnarodnoi naukovopraktychnoi konferentsii (5-9 lystopada 2018r.) – Socio-cultural trends in the development of contemporary art and design. IV International scientific and practical conference (November 5-9, 2018)*. Kherson [in Ukrainian].
32. Zakora, O.V., Yevdokymenko, O.M., Ryzanova, O.Yu., Fedorchenko, O.V. Klyasyfikatsiia metodiv proektuvannia dyzainu tkanyn tekhnolohichnymy zasobamy [Classification of methods of design of fabric design by technological means] *Svidotstvo pro reiestratsiiu avtorskoho prava na tvir №79574*. Zaiavleno 05.05.18, opublikovano 04.06.2018 [in Ukrainian].
33. Shynkaruk, V.I. (2002) *Filosofskyi entsyklopedychnyi slovnyk [Encyclopedic Dictionary of Philosophy]* NAN Ukrainy, In-t filosofii imeni H. S. Skovorody. Kyiv [in Ukrainian].
34. Noda, O.M., Antonova, A.S., Zakora, O.V. (2019)

енциклопедичний словник / НАН України, Ін-т філософії імені Г.С. Сковороди; [редкол.: В.І. Шинкарук (голова) та ін.]. – Київ: Абрис, 2002. – VI, 742 с.

34. Нода О.М. Методы проектирования цветных эффектов в тканях / О.М. Нода, А.С. Антонова, О.В. Загора / Conferința tehnico-științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor, 26-29 martie 2019: [în 2 vol.] / Univ. Tehn. a Moldovei. – Chișinău: Tehnica-UTM, 2019. – С. 345–347.

35. Загора О.В. Структура ниток як фактор впливу на якість художнього оформлення тканин / О.В. Загора, О.М. Євдокименко // Шляхи вдосконалення системи технічного регулювання в Україні та світі: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, (12-14 вересня 2018 р.) – Херсон, 2018. – С.59–61.

36. Євдокименко О.М. Технологічні параметри ткацтва як фактор впливу на дизайн тканин / О.М. Євдокименко, О.В. Загора, Л.В. Коваленко // Збірник матеріалів II Міжнародної наукової конференції текстильних та фешн технологій KyivTex&Fashion – Київ, 2018 р. – С.46–48.

**NODA OLGA**

Department of Expertise, Technology and Textile Design,  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0563-2467>

Kherson National Technical University

**FEDORCHENKO OLENA**

Department of Expertise, Technology and Textile Design,  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8802-0836>

Kherson National Technical University

Metody proektirovaniya tsvetnykh effektov v tkanyakh [Design methods for color effects in tissues] Conferința tehnico-științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor, 26-29 martie 2019: [în 2 vol.], Univ. Tehn. a Moldovei. – Chișinău: Tehnica-UTM [in Russian].

35. Zakora, O.V., Yevdokymenko, O.M. (2018) Struktura nytok yak faktor vplyvu na yakist khudozhnoho oformlennia tkanyn [Thread structure as a factor influencing the quality of fabric decoration]. *Shliakhy vdoskonalennia systemy tekhnichnoho rehuliuivannia v Ukraini ta sviti: materialy Mizhnarodnoi naukovopraktychnoi konferentsii, (12-14 veresnia 2018r) – Ways of Improving the Technical Regulation System in Ukraine and the World: Materials of the International Scientific-Practical Conference (12-14 September 2018), 59-61. Kherson [in Ukrainian].*

36. Yevdokymenko, O.M., Zakora, O.V., Kovalenko, L.V. (2018) Tekhnolohichni parametry tkatstva yak faktor vplyvu na dyzain tkanyn [Technological parameters of weaving as a factor of influence on fabric design]. *Zbirnyk materialiv II Mizhnarodnoi naukovoi konferentsii tekstylnykh ta feshn tekhnolohii KyivTex&Fashion – Proceedings of the 2nd International Scientific Conference of Textile and Fashion Technologies KyivTex&Fashion, 46-48. Kyiv [in Ukrainian].*

**ZAKORA OKSANA**

Department of Expertise, Technology and Textile Design,  
zoksw@ukr.net  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6760-2370>

Kherson National Technical University

**RYAZANOVA ELENA**

Department of Expertise, Technology and Textile Design,  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7582-5504>

Kherson National Technical University

**РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПА СИСТЕМАТИЗАЦИИ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
ДИЗАЙНА ТКАНЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ СПОСОБАМИ**

**НОДА О. Н., ЗАГОРА О. В., РЯЗАНОВА Е. Ю., ФЕДОРЧЕНКО Е. В.**

*Херсонский национальный технический университет*

**Цель.** Определить принцип распределения на группы методов проектирования дизайна тканей технологическими способами.

**Методика.** Используются общенаучные методы исследования: общелогические (анализ и синтез), теоретические (обобщение и метод системного подхода), визуально-аналитический и метод классификации.

**Результаты.** На основе анализа научных исследований установлено, что особенности структуры тканого полотна, полученной при определенных параметрах тканеформирования, в

сочетании с цветовым оформлением создают художественно-выразительный образ ткани, то есть методы проектирования структуры ткани, как технологические средства, в итоге и являются методами проектирования ее дизайна. Выявлена недостаточность изучения роли технологических факторов в формировании дизайна тканей, что является следствием отсутствия систематизации в данном вопросе. Предложен принцип систематизации методов проектирования дизайна тканей, который заключается в распределении методов на четыре группы в зависимости от способа получения дизайнерского эффекта: цвет волокон и нитей, структура и сырьевой состав нитей, вид переплетения, параметры ткачества. Приведена краткая характеристика влияния на дизайн тканей технологических факторов, из которых в последнее время больше внимания уделяется параметрам ткачества, и наведены примеры полученных дизайнерских эффектов на поверхности тканей.

**Научная новизна.** Впервые проведен анализ методов проектирования дизайна тканей технологическими способами, которые применяются в процессе дессинаторской подготовки ткацкого производства, и разработана их классификация в зависимости от способа получения дизайнерского эффекта на поверхности тканого полотна.

**Практическая значимость.** Возможность использования разработанной классификации для оперативного выбора методов проектирования с целью одновременного обеспечения заданной структуры ткани, оптимального режима ее изготовления и современного дизайна.

**Ключевые слова.** Технологические средства, дизайн тканей, методы проектирования, классификация.

## THE DEVELOPMENT OF THE PRINCIPLE OF PROJECT METHODS' SYSTEMATIZATION FOR FABRIC DESIGN BY TECHNOLOGICAL MEANS NODA O., ZAKORA O., RYAZANOVA O., FEDORCHENKO O.

Kherson National Technical University

**Purpose.** Determine the principle of project methods' distribution for fabric design by technological means in order to group them.

**Methodology.** The scientific methods of research are used such as general (analysis and synthesis), theoretical (generalization and the method of systematic approach), visual-analytical and the method of classification.

**Results.** It is set based on analysis of scientific researches that features of the structure of the woven, got at the certain parameters of weaving, in combination with color registration create artistically expressive character of fabric. Methods of planning of structure of fabric, as technological facilities, in the total and are the methods of planning of her design. Insufficiency of study of role of technological factors is educed in forming of design of fabrics, which is investigation of absence of systematization in this question. The principle of project methods' systematization for fabric design has been proposed. It means the methods' distribution into four groups according to the obtaining the design effect. These groups are the color of fibers and filaments, the structure and raw composition of the filaments, the type of weaving, and the weaving parameters. A brief description of technological means' influence on the fabric design and the examples of the received design effects on the surface of fabrics have been conducted.

**Scientific novelty.** For the first time the analysis of the project methods of fabrics design during the designer preparation of weaving production was conducted and their classification was developed depending on the method of obtaining design effects on the surface of the woven fabric

**Practical significance.** The possibility of using the developed classification for operative choice of design techniques to simultaneously provide the desired tissue structure, an optimum mode of manufacturing and modern design.

**Keywords.** Technological means, fabric design, project methods, classification.

УДК 677.53

КИЗИМЧУК О. П., АРАБУЛІ С. І., ВЛАСЕНКО В. І.

Київський національний університет технологій та дизайну

## ТЕКСТИЛЬ ДЛЯ ЗАХИСТУ ВІД ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

**Мета.** Аналіз існуючих текстильних матеріалів, які використовують для захисту від електромагнітного випромінювання, їх систематизація та основні способи отримання.

**Методика.** В статті використано методи аналізу наукової літератури та систематизації результатів за напрямом «текстильні матеріали для захисту від електромагнітного випромінювання».

**Результати.** Для захисту від електромагнітного випромінювання (ЕМВ), що випромінюється діючими електричними та електронними пристроями, широко використовують екрануючі матеріали (екрани) на основі текстильних матеріалів. Методи надання екрануючих властивостей текстильним матеріалам можна класифікувати за двома напрямками: поверхнева обробка і наповнювачі. Розчини, що застосовують для додавання провідності текстилю, дуже різноманітні і залежать від області застосування екранів. Однак, обробка поверхні часто вимагає багато часу, трудомістка і дорога. Отже, для захисту від електромагнітного випромінювання дедалі більше використовують провідні наповнювачі у вигляді частинок, ниток і тканин. Текстильні захисні матеріали виготовляють з провідних полімерів, металевих волокон (вуглець, нержавіюча сталь, мідь тощо), металевих дрітків, ниток з металевим покриттям або комплексних ниток. Загалом, електропровідність і ефективність екранування ЕМВ всіх форм текстильних матеріалів (ткани, трикотажні, неткани) поліпшують шляхом включення в них металевих волокон, частинок металу або провідних полімерів на різних стадіях виробництва.

**Наукова новизна.** В роботі наведено детальний аналіз текстильних матеріалів для захисту від електромагнітного випромінювання, які створені у різних країнах світу та систематизовано основні способи отримання текстильних екранів.

**Практична значимість.** Ознайомлення широкого кола спеціалістів із сучасним станом проблеми захисту від електромагнітного випромінювання, в результаті чого виявлено основні тенденції та перспективи розвитку текстильних матеріалів для захисту від ЕМВ.

**Ключові слова.** електромагнітне випромінювання, текстильні екрани, металеві волокна, поверхнева обробка.

**Вступ.** Електромагнітне поле - це особлива форма матерії, за допомогою якої здійснюється взаємозв'язок між електрично зарядженими частинками. Фізичні причини існування електромагнітного поля пов'язані з тим, що електричне поле, яке змінюється в часі, породжує магнітне поле; а магнітне поле, яке також змінюється, – вихрове електричне поле. Обидва поля, безперервно змінюючись, збуджують один одного, в результаті чого відбувається прискорення часток. Формування електромагнітного поля залежно від відстані від джерела відбувається в два етапи. На першому етапі, воно знаходиться в зоні індукції і має статичні властивості. Подальше формування електромагнітного поля зі зростанням інтенсивності (швидкість заряджених часток) переводить його в зону електромагнітної хвилі, де формується випромінювання.

Останніми роками забрудненість середовища від електромагнітного випромінювання (ЕМВ) зростає не менше ніж у мільйон разів і набула глобального характеру переважаючи за значенням вплив хімічних та радіаційних факторів. Рівень електромагнітного випромінювання значно перевищує природний рівень, який був встановлений у процесі розвитку біосистем [1]. Високий ступінь загроз посилюється тим, що наслідки можуть

виявитися через достатньо довгий період часу та негативно впливати на стан імунної та генетичної стійкості поколінь.

Джерелами електромагнітних полів є потужні радіопередавальні пристрої, електрифіковані транспортні засоби, повітряні лінії електропередавання та інші об'єкти електроенергетики. За походженням ЕМВ джерела поділяють на природні та антропогенні. Слід зазначити, що живі організми на клітковому рівні або адаптувалися до природного ЕМВ, або набули систем протидії їм. Антропогенні джерела своєю наявністю та постійним розвитком створюють зростаючий динамічний вплив збільшуючи загрозу життєдіяльності.

Проф. Слукін В.М. пропонує [1] поділити антропогенні (техногенні) джерела на два види залежно від частоти коливань енергетичної складової: низько частотні ЕМВ (0-3 кГц) та високочастотні (3-300 кГц). До першої групи відносять системи виробництва, передачі та розподілу електроенергії; побутова електрична та електронна техніка; електротранспорт та його інфраструктура; автомобільний транспорт. Друга група більш потужна: радіо- та телекомунікація; виробничі та індивідуальні засоби зв'язку; засоби спрямованого зв'язку; навігаційні та радіолокаційні системи; технологічне обладнання з СВЧ-випромінюванням; медична техніка; сонячні батареї; системи використання іоносфери та розвиток протиповітряної та протиракетної оборони.

Захист від електромагнітного випромінювання походить від клітки Фарадея. У 1836 р. Майкл Фарадей використав відкриття Бенджаміна Франкліна 1755 року щодо можливості блокування електричних зарядів. Фарадей побудував першу клітку як кімнату, повністю покриту металевою фольгою. На сьогодні захист людини від ЕМВ здійснюють, здебільшого, шляхом використання наступних чотирьох принципів: захист у часі (дотримання дози гігієнічних нормативів шляхом обмеження тривалості перебування у місцях підвищеного рівня електромагнітного поля), захист відстанню (збільшення відстані від джерела тривалого електромагнітного випромінювання), використання засобів індивідуального та колективного захисту (використання персоналом радіо екрануючих матеріалів), використання захисних екранів (екранування безпосередньо місця перебування людини) [2].

Електромагнітне екранування – це процес зменшення дисперсії електромагнітних хвиль у простір за допомогою створення щита для хвиль із провідного матеріалу. Ефективна робота електричних приладів переривається, погіршується, утруднюється або обмежується через електромагнітні перешкоди. У матеріалі основними механізмами послаблення ЕМВ є відбиття, поглинання і множинне відбиття [3].

Відбиття є основним механізмом екранування ЕМВ. Для відбиття матеріал повинен мати рухливі носії заряду, такі як вільні електрони, які взаємодіють з електромагнітним випромінюванням. Метали є найпоширенішим матеріалом для екранування ЕМВ, а наявні вільні електрони в металах взаємодіють з електромагнітними хвилями. Якщо матеріал сильно провідний, то через механізм відбиття відбуватиметься захист від ЕМ (електромагнітних) хвиль. Проте провідність не є умовою для екранування ЕМВ, але вона посилює механізм відбиття захисного матеріалу ЕМВ. Механізм відбиття, як правило, притаманний металам або тканинам з покриттям з металу

Вторинним механізмом екранування ЕМВ є поглинання, яке вимагає наявності електричних або магнітних диполів для взаємодії з електромагнітним випромінюванням. Він залежить від товщини екрану. Електричні і магнітні диполі можуть бути забезпечені  $\text{BaTiO}_3$  і

$Fe_3O_4$  відповідно. Поле розсіюється внаслідок випромінювання в різних напрямках, хоча картина випромінювання пов'язана з сигнальним зарядом осцилюючої антени. Енергія постійно втрачається у вигляді тепла, оскільки заряд вібрує в середовищі. Ця втрата сигналу називається ослабленням через поглинання. Матеріали з високою діелектричною константою забезпечують електричні диполі та матеріали з високою магнітною проникністю забезпечують магнітні диполі для екранування ЕМВ поглинанням.

Третім механізмом є багаторазові відбиття, які є відбиттями на різних поверхнях або на межі розділу матеріалу. Матеріали, які мають великі специфічні ділянки внутрішньої поверхні або композити з наповнювачами, реалізують механізм багаторазового відбиття. Коли відбиття відбуваються на різних поверхнях або краях екрану, то частина хвилі реплікується, а інша частина розповсюджується і зменшується при її проходженні через середовище. Цей механізм вимагає наявності великої інтерфейсної області в екрані, наприклад пористий матеріал або піна.

Отже для захисту від ЕМВ матеріал повинен відбивати або поглинати електромагнітну хвилю. На підставі цього, базовими компонентами систем захисту від ЕМВ є дифракційні екрани та поглиначі електромагнітних хвиль [4]. При розробці дифракційних екранів враховують здебільшого три фактори: рівень відбиття, наскрізне затухання та наявність бокового дифракційного зв'язку (при обмежених розмірах екрану). Слід зазначити, що суцільні металеві листи мають дуже високий рівень затухання, який здебільшого не потрібен на практиці. Тому доцільно використовувати тонкі або перфоровані металеві листи, провідні плівки або металеві сітки, які мають достатній рівень захисту і значно меншу вагу та вартість. Радіопоглинаючі матеріали призначені для зменшення відбиття радіохвиль всередині екранованих об'єктів, а також для забезпечення електрогерметичності. В даному випадку перспективним є застосування багатошарових матеріалів, що дозволяє розширити діапазон частот екранування та оптимізувати товщину покриття.

До засобів захисту від електромагнітного випромінювання відносять: огорожі, покриття, фільтри, прокладки, поглиначі радіочастот та провідні фільтри. Існує велике різноманіття матеріалів, що використовують для екранування [5]. Однак процес екранування ЕМВ потребує провідної поверхні, тому для його створення обов'язково використовують метал. Метали, які використовуються для захисних екранів, повинні також мати високу магнітну проникність і гарне поглинання магнітної енергії.

*Мідь* - чудовий і неймовірно поширений магнітний матеріал. Він дуже ефективний в блокуванні і зниженні ЕМВ, а також має відмінну здатність до формування. Єдиний його недолік в тому, що він дорожчий за інші. *Сталь* традиційно міцна і довговічна. Як захисний матеріал, вона більш цінується за свою проникність, оскільки дозволяє ефективно блокувати низькочастотні електромагнітні випромінювання. Особливо це стосується нержавіючої і вуглецевої сталі. У екранування від електромагнітного випромінювання *алюміній* цінується завдяки характеристикам притаманним кольорових металів: легкості і високої провідності. *Нікель* є популярним захисним матеріалом завдяки його магнетизму, довговічності, твердості і електропровідності. По-перше, його можна використовувати, як щит, а по-друге, він може бути частиною легованого електромагнітного матеріалу екрану.

Провідні каучуки, які використовують в екрануванні від електромагнітного і радіочастотного випромінювання, включають силікон і неопрен. Силікон відомий своєю

здатністю зберігати гнучкість, міцність на розрив і пружність у широкому діапазоні температур, в той час, як неопрен має гарну компресію і загальну корисність.

Велику наукову та промислову зацікавленість привертають провідні полімерні нанокompозити, враховуючи економічну ефективність, легку технологічність та їх можливе застосування у багатьох областях, включаючи захист від електромагнітного випромінювання. Полімерні нанокompозити на основі вуглецеві нанотрубки (CNT), сажі (CB), графену, металевих наночастинок, вуглецевих волокон, піни та магнітних наночастинок демонструють гарну захисну здатність проти електромагнітного випромінювання.

**Постановка завдання.** Електромагнітні екрануючі текстильні матеріали використовують для виробництва багатофункціональних та інтерактивних структур нового покоління, оскільки вони блокують радіацію низької щільності та радіовипромінювання пристроїв мобільного зв'язку, а також захищають електронне обладнання від втрати сигналу. Крім того, вони мають переваги завдяки малій вазі, гнучкості та комфорту [6,7]. Метою роботи є аналіз існуючих текстильних матеріалів, які використовують для екранування ЕМВ, їх систематизація та основні характеристики.

**Результати дослідження.** До текстильних матеріалів, які застосовують для захисту від ЕМВ висувають вимоги стосовно ефективності екранування (табл.) залежно від сфери їхнього використання: професійний захист або загальне користування [8]. До першої групи відносять медичне обладнання, карантинний матеріал, захисний спецодяг для робітників електронної галузі, електронний комплект або інші новітні застосування. До другої групи потрапили повсякденний одяг, офісна форма, одяг для вагітних, фартухи, споживчі електронні товари та товари для спілкування тощо.

Таблиця

**Вимоги до ефективності екранування текстильних матеріалів [8]**

Застосування	Ступінь екранування				
	5 відмінне	4 дуже добре	3 добре	2 середнє	1 низьке
Професійний захист	$SE > 60\text{dB}$	$60\text{dB} \geq SE > 50\text{dB}$	$50\text{dB} \geq SE > 40\text{dB}$	$40\text{dB} \geq SE > 30\text{dB}$	$30\text{dB} \geq SE > 20\text{dB}$
Загальне використання	$SE > 30\text{dB}$	$30\text{dB} \geq SE > 20\text{dB}$	$20\text{dB} \geq SE > 10\text{dB}$	$10\text{dB} \geq SE > 7\text{dB}$	$10\text{dB} \geq SE > 7\text{dB}$

Текстиль сам по собі не захищає від ЕМВ, однак, він може бути успішно перетворений в захисний матеріал після зміни сировинного складу матеріалів, створення нового виробничого процесу або адаптування технології, які можуть зробити їх електропровідними. Текстильні захисні матеріали виготовляють з провідних полімерів, металевих волокон, металевих дротів, ниток з металевим покриттям або комплексних ниток. Комплексні нитки виготовляють обкручуванням або здвоєнням тонких металевих дротів з бавовняними, поліефірними або вовняними нитками.

Матеріали для екранування ЕМВ повинні демонструвати більш високу електропровідність, ніж традиційні гнучкі матеріали, такі як антистатичний текстиль. Але висока ефективність екранування не потребує високої поверхневої провідності [9], адже

гнучкі екрани не повинні бути такими ж провідними, як метали, але очевидна потреба у підвищених провідності в порівнянні з антистатичним текстилем.

Високопровідні матеріали і висока діелектрична проникність забезпечують гарну захисну ефективність від електромагнітних полів при високій частоті випромінювання. Але для низьких частот дуже важке згасання магнітного поля. Саме тому матеріали, що використовуються для низьких частот, повинні мати високе значення магнітної проникності. Традиційно це отримують використанням феромагнітних матеріалів, однак електропровідні полімери також є ефективними завдяки притаманним їм властивостям.

Провідну тканину виготовляють з металевих волокон або ниток, з металевим покриттям усього переплетення, або зі звичайних непровідних ниток з металевою сіткою. Композитні матеріали з полімер-матрицями з провідними наповнювачами також все частіше використовують для екранування ЕМВ. Наповнювачі часто металеві, але також можуть бути виготовлені з вуглецю або інших матеріалів. Застосування таких електромагнітних екранів – це захисний одяг для працівників, які піддаються впливу високочастотних електромагнітних полів; захист військових будівель, захист електронних пристроїв, а також у медичній сфері.

Провідні текстильні тканини виготовляють також за рахунок введення частки провідних волокон (вуглець, нержавіюча сталь, мідь тощо) разом з текстильними волокнами. Це робиться або на стадії виготовлення пряжі шляхом змішування волокон, або на стадії виготовлення тканини. В такому випадку провідні нитки (тонкий дріт) прокладаються паралельно впритул одна до одної, або з певною відстанню (набирання основи за рапортом: металеві та звичайні нитки). Такі тканини, які використовують для виготовлення ЕМВ екранів, відносять до класу малих апертур [7].

Інший підхід до подолання проблем ваги та корозії полягає у використанні різних типів провідних композитів, що складаються з непровідної полімерної матриці та провідних наповнювачів, таких як металеві частинки, металеві наповнювачі, сажа та вуглецеві волокна (CF). Основними перевагами полімерних композитів є їх низька вартість виготовлення і високе відношення міцності до ваги. Але ці звичайні полімерні композити не мають бажаної ефективності екранування, особливо в мікрохвильовому діапазоні.

В даний час у дослідженнях електромагнітних захисних матеріалів перейшли на використання легких, тонких і м'яких тканин, шляхом вставки металевих волокон [10], металевої піни [11] і методів металевого покриття [12]. Проте такі електромагнітні екрануючі тканини не мають потрібної еластичності, а отже їх застосування обмежене.

Як було сказано вище, ЕМВ екрануючі властивості змінюються і залежать від провідності екрануючого матеріалу. Традиційні текстильні матеріали відносять до групи діелектриків. Це впливає з особливостей сировини, з якої виготовляються волокна і нитки. Для надання провідності текстильним матеріалам використовують різні методи, такі як покриття текстильної поверхні провідними полімерами, введення частинок металу в текстильний шар тощо.

Отже, найпоширенішими методами створення текстильних матеріалів для захисту від електромагнітного випромінювання є:

1) додавання провідних наповнювачів, таких як електропровідні сажі, вуглецеві волокна, вуглецеві нанотрубки, металізовані волокна, металеві волокна (SS, Al, Cu), металевий порошок і пластівці (Al, Cu, Ag, Ni) до ізоляційного текстильного матеріалу;

- 2) використання провідних матеріалів, а саме волокон, ниток або пряжі;
- 3) введення в тканину провідних волокон або ниток;
- 4) покриття текстилю провідними матеріалами;
- 5) ламінування провідних шарів на поверхню тканини: розпилення цинкової фарби, провідні фарби, іонне покриття, електролітичне покриття, вакуумна металізація, катодне розпилення тощо;
- 6) використанням дійсно провідних полімерів (ICP).

Зазначені вище методи можна класифікувати за двома напрямками, а саме: поверхнева обробка і наповнювачі. Обробка поверхні часто вимагає багато часу, трудомістка і дорога. Отже, для захисту від електромагнітного випромінювання дедалі більше використовують провідні наповнювачі у вигляді частинок, ниток і тканин.

**ЕМВ екрани на основі провідних наповнювачів**. Одним із способів створення провідних тканин є використання електропровідних волокон. Електропровідні нитки можуть бути екструдовані шляхом додавання в полімерні матеріали вуглецевих або срібних нанотрубок і вуглецевого нановолокна. Моно-, мульти-філаментні або двокомпонентні волокна можуть бути виготовлені з використанням методу прядіння з розплаву; крім того, провідні штапельовані волокна можуть бути поєднані з традиційними непровідними волокнами для створення пряжі різної провідності. Ці процеси засновані на змішуванні полімерного волокна з металевими наповнювачами під час хімічних процесів, таких як розплав або мокрого прядіння; або шляхом скручування з використанням механічних процесів. Однак ці технології рідше використовують через властиві їм складності.

Сьогодні на ринку існують два основних структурних типи волокон: поверхнево-провідні і серцевино-провідні. Іноді також застосовують термін частково поверхнево-провідне волокно – це волокна, де провідний компонент частково знаходиться на поверхні і частково усередині волокна:

- волокна, які містять метал, утворюють велику групу різних типів електропровідних волокон, провідність яких заснована на проводі з нержавіючої сталі, металевих сплавів, оксидах і солях металів. Такі волокна нарізають з проволки на довжину штапельного волокна. Провідні волокна, що містять метали, можуть мати різну будову:

1 *нитки з провідною серцевиною* отримують за допомогою дрібного металевого дроту в якості серцевини, яку покрито непровідними волокнами; текстильне покриття захищає основний метал, допомагає йому витримувати фізичні навантаження і забезпечує ізоляцію;

2 *комплексні нитки з провідною серцевиною* – отримують обкручуванням тонкої металеві проволки однією або декількома непровідними текстильними нитками;

3 металовмісна пряжа – металеве волокно не утворює серцевину, розташовується в пряжі у вигляді пасм частково виходячи на поверхню.

Металеві волокна та волокна з покриттям з металу мають явні переваги перед іншими типами наповнювачів. По-перше, оскільки волокна є тонкими, зазвичай діаметром 6–8 мкм, високе співвідношення сторін легко досягається при відносно короткій довжині волокна. Це забезпечує високий ступінь провідності при низькому об'ємному заповнюванні. Іншою перевагою є інертний характер деяких вибраних сплавів, таких як нікель і нержавіюча сталь.

Хоча більш активні сплави алюмінію, міді та заліза можуть окислюватися або кородувати при контакті з їдкими речовинами, нікель і СС зберігають свою провідність.

- вуглецеві волокна – майже всі провідні волокна засновані на електропровідному вуглецеві, отриманому в ацетиленовому процесі. Різні види струмопровідних волокон виготовляють з використанням таких вуглеводів як добавки. Найбільш ранні продукти виготовляли покриттям волокон смолою, що містить високу концентрацію вуглецю. Існуючі зараз продукти в основному засновані на включенні вуглецю в волокнистий матеріал: в ядро двокомпонентного волокна оболонки-серцевини; в один з компонентів модифікованого бікомпонентного волокна тощо.

- провідні полімери, що містять волокна, були розроблені Mattes з колегами. [13]. Можливе нанесення і просочення звичайних волокон провідними полімерами, а також виробництво волокон з провідних полімерів окремо або в сумішах з іншими полімерами. Роботи з розробки ґрунтуються головним чином на поліанілінових, поліпірольних та політіофенових структурах. Провідні волокна також можуть бути отримані шляхом зрізання полімерної плівки і нанесення золота поверх зрізів.

**ЕМВ екрани з текстильних полотен.** Основні способи виробництва текстильних матеріалів такі як ткацтво [14], в'язання [15], виготовлення нетканого полотна, або комбінування ткацтва та в'язання можуть бути використані для виготовлення електромагнітного екрануючого полотна. Тканини з покриттям провідним матеріалом і провідні композити армовані текстилем також можуть бути застосовані в якості текстильних захисних матеріалів.

Металеві волокна, вуглецеві або електропровідні полімери можуть бути включені в текстильну структуру як нитки основи, так і нитки утку під час ткацтва. Ефективність екранування таких тканин залежить від вмісту провідного наповнювача. Так нитки з мідною серцевиною для виготовлення тканих екранів забезпечують згасання у 20–66 дБ у середньому діапазоні частот 200–4000 МГц.

Існує можливість отримання захисних екранів шляхом переробки провідних ниток на в'язальному обладнанні [16, 17]; однак, в'язання вимагає більшої гнучкості металевих волокон, що інколи важко забезпечити.

Зшивання струмопровідними нитками комплексних тканин або вишивання поверхні тканини металевими нитками також є можливими способами включення провідних ниток в структури для отримання екрануючої поверхні.

Структури нетканих матеріалів, виготовлені з комбінованої змішаної пряжі (не тільки з металів, але можуть бути змішані волокна, такі як вуглець, базальт і політетрафторетилен), утворюються для отримання тканини з електропровідністю в дисипативному діапазоні. Необхідно звернути увагу на товщину тканини, оскільки вона є дуже важливим параметром для ефективності екранування; для отримання нетканого матеріалу з більш високою товщиною і поверхневою густиною краще використовувати технологію голкового пробивання.

Провідні ткані або трикотажні полотна з огляду на їх структуру і здатність згинатися і відповідати найбільш бажаним формам надають гарну можливість розробити нове покоління багатофункціональних та інтерактивних текстильних матеріалів [10]. Такі тканини мають

бажані властивості, такі як гнучкість, ESD, захист ЕМІ, захист від радіочастотних перешкод, узгодження термічного розширення, і, поряд з тим, малу вагу.

**ЕМВ екрани на основі модифікації поверхні матеріалів.** Іншими способами отримання ЕМВ захисних текстильних матеріалів є застосування провідних матеріалів на поверхні самої тканини способом ламінування, нанесення покриттів, розпилення, іонного покриття, електролітичного покриття, вакуумної металізації, катодного напилення або хімічного осадження з парової фази. Традиційно найпростіші системи складаються з дрібних металевих частинок, які дисперговані у ізоляційну полімерну матрицю:

*Провідні фарби.* Композити можна безпосередньо обприскувати фарбами, які містять провідні частинки наповнювача, що суспендовані у смолі.

*Покриття електролітом:* Цей метод полягає у застосуванні хімічних ванн для нанесення металевої плівки на поверхні полімерів. Матеріал занурюють у ряд ванн, які включають травлення поверхні і осадження металевої плівки. Один з найбільш розповсюджених способів досягнення електропровідності заснований на покритті ниток дрібним шаром металу. За допомогою електрохімічного процесу на поверхню волокон може бути нанесений тонкий шар срібла, міді або золота, що надає матеріалу високу поверхневу провідність [18]. Перевага цього процесу полягає в тому, що досягається дуже хороший електричний опір. За допомогою цього методу виготовляють поліамідні волокна, покриті сріблом [7].

*Гальваніка.* Це процес нанесення за допомогою напруги металевої плівки на пластик. Підкладка також повинна бути струмопровідною, а додатковий металевий шар може бути нанесений, що неможливо отримати за допомогою електролітного методу. Деякі з цих металів включають хром, родій, цинк, олов'яні сплави та срібло, а також інші сплави. Проте, стічні води методу гальванізації є основним недоліком для широкого застосування.

*Теплове випаровування.* Найбільш поширеним методом є використання вакуумної технології для нанесення провідного шару на поверхню матеріалу [19]. Зразок поміщають у вакуум, піддають впливу плазми інертного газу для підготовки (очищення) поверхні, а потім бажаний метал випарюють на поверхню зразка. Для даної методики осадження зазвичай використовують алюміній. Срібло, мідь, нікель, хром, олово або їх сплави також можуть бути нанесені. Однак основною проблемою способу є те, що матеріали, які випаровують, можуть перебувати в різних фазах порівняно з початковим станом.

*Метод розпилення.* Цей метод використовує позитивно заряджені молекули аргону для бомбардування металевого диска, як правило, хромового або хромового сплаву, в результаті чого метал розпилюється з мішені і осідає на підкладці. Хоча розпилення здійснюється у вакуумній камері, процес повністю відрізняється від вакуумної металізації тим, що склад металевих відкладень на підкладці такий же, як і мішень. У процесі ж вакуумної металізації відбувається процес пароутворення і конденсації, і склад конденсованого шару відрізняється від вихідного складу сплаву. Оскільки електричний розряд підвищує температуру підкладки у вакуумному процесі, краще використовувати термостійкі пластмаси, такі як конструкційні термопластичні піноматеріали.

*Іонне покриття.* Цей метод використовує високошвидкісне зіткнення іонів і притягання іонів для нанесення провідного покриття на підкладку. За цим процесом можна наносити будь-який метал з утворенням тонкого шару або багатошарового покриття, такого

як покриття з міді / алюмінію з накладенням хрому для запобігання корозії. Вироби складної форми також можуть бути покриті.

Однак всі ці методи мають недоліки: вимагають багато часу, трудомісткі та дорогі. Головною альтернативою є змішування полімерної смоли з провідними наповнювачами для отримання пластичного корпусу, електропровідного для забезпечення бажаного ефекту екранування ЕМВ.

Покриття може бути нанесено на волокно, пряжу або тканину. Ці методи допомагають надавати питомий опір в діапазоні електропровідних матеріалів  $> 10 \Omega$ . Найбільш поширеними є металеві та електропровідні полімерні покриття [20]. Для надання захисних властивостей текстилю металізація тканин хімічними методами є підходом, придатним для промислових об'ємів. Іншою можливістю є включення провідних наповнювачів у вигляді волокон, що вводяться в синтетичні смоли на стадії формування. Наявність наповнювачів дозволяє полімеру захищати від електромагнітних хвиль. Насправді, нові інноваційні полімери є іскропровідними, що означає, що саме полімер може бути провідним, а наповнювачі в даному випадку не потрібні.

Фактично, металізовані тканини не можуть бути використані як поглиначі електромагнітних хвиль, оскільки висока провідність робить їх захисними з поверхневим відбиттям. Інноваційні матеріали, такі як ICP, здатні поглинати, а також відбивати електромагнітні хвилі, що демонструє певні переваги перед металевими. Існує ряд методів обробки електропровідних полімерів для текстильних структур, включаючи хімічну полімеризацію. Поверхня текстильних структур може бути покрита тонкою і однорідною плівкою методом хімічної полімеризації після оптимізації параметрів концентрації і синтезу реагенту.

Стандартним способом є нанесення дисперсій або порошків повністю підготовлених провідних полімерів в якості покриттів. Ці підходи зазвичай призводять до утворення матеріалів з відносно низькою провідністю. Цікавою альтернативою є створення електропровідних полімерів шляхом полімеризації мономерів безпосередньо на текстилі. В основному, окислювальна полімеризація на тканині може відбуватися трьома способами: нанесення окислювача на текстиль з наступним додаванням мономеру, нанесення мономеру з подальшим окислювачем і застосування полімеризуючої суміші мономеру та окислювача [21]. Серед різних методів осадження PANI техніка чорнильного (струменевого) друку є дуже привабливою, оскільки дозволяє отримувати не тільки структури з високою роздільною здатністю і високою повторюваністю, але і повторювані шар за шаром структури. Струменевий друк є універсальним методом керованого осадження функціональних матеріалів з відповідною геометрією на різних підкладках. Він не потребує контакту між системою осадження і підкладкою. Єдиним обмеженням цієї методики є вимоги до рідин (чорнила) з відповідною в'язкістю і поверхневим натягом.

Так, поліанілінові та поліпіролові друковані провідні шари на тканинах отримували шляхом хімічного окислення аніліну гідрохлориду або піролу пероксидисульфатом амонію на поліакрилонітрилі (ПАН), бавовні, поліетилентерефталаті (ПЕТ), бавовні / ПЕТ, вовні та бавовні / вовні.

Отже, однією з можливостей надання електропровідних властивостей текстилю є друк. У цьому процесі на готові плоскі текстильні вироби наносять речовини (фарбу) з

електропровідними властивостями. Залежно від складу сировини підкладки фарба може частково проникати в волокна і пряжу, розливатися по їхній поверхні або утворювати шар на волокнистій підкладці. У разі трафаретного друку використовують електропровідні пасти. Електропровідні властивості текстилю досягаються також вакуумним напиленням матеріалів, таких як Zn, Ti, Cu, Ag і Al, на поверхні текстильного матеріалу. Частинки порошкоподібних провідних матеріалів частково проникають в текстильну структуру, утворюючи верхній провідний шар.

Покриття, як правило, не змінює гнучкість тканин і наноситься дуже тонким шаром з малою масою. Коли покриття наносять під час виробництва пряжі, можна отримати провідні нитки малого діаметру і, отже, дуже гнучкі і легкі тканини. Більшість електропровідних тканин на ринку виготовлені технологіями нанесення покриттів, а отже мають багато однорідних і замкнутих структур, що демонструє високі можливості екранування ЕМВ та ізотропну поведінку.

**Висновки.** З кожним роком зростає попит на текстильні екрани для захисту від електромагнітного випромінювання, що призводить до подальшого розвитку методів створення таких текстильних матеріалів. Найпоширенішими на сьогодні методами є наступні: додавання провідних наповнювачів до текстильного матеріалу; використання провідних волокон, ниток або пряжі та введення їх в тканину, трикотаж або нетканий матеріал; покриття текстилю провідними матеріалами; ламінування провідних шарів на поверхню тканини; використання дійсно провідних полімерів.

**Подяка.** Роботу виконано за підтримки МОН України в межах двостороннього україно-чеського науково-дослідного проекту «Розробка та дослідження наномодифікованих текстильних матеріалів для захисту людини та електронного обладнання (2019-2020р.р.).»

### Література

1. Слукин В. М. Техногенные электромагнитные излучения как фактор экологии населенных пространств / В. М. Слукин // Академический Вестник УралНИИПроект РААСН. – 2010, № 4. – С. 120-124.
2. Arabuli S. The modern approach to EMR shielding / S. Arabuli, V. Vlasenko, A. Arabuli // Proceedings II International Scientific Conference Contemporary Trends and Innovations in the textile industry (16-17 th May, 2019). – Belgrade: Union of Engineers and Technicians of Serbia, 2019. – pp. 372-377.
3. Advanced Materials for Electromagnetic Shielding: Fundamentals, Properties, and Applications, First Edition. / Edited by Maciej Jaroszewski, Sabu Thomas, and Ajay V. Rane. – 2019, John Wiley & Sons, Inc. – 464 с.
4. Островский О.С. Защитные экраны и

### References

1. Slukin V. (2010). Tekhnogennye elektromagnitnye izlucheniya kak factor ekologii naseleennykh prostranstv. *Akademicheskij Vestnik UralNIIProekt RAASN*, 4, 120-124 [in Russian].
2. Arabuli S., Vlasenko V., Arabuli A. (2019) The modern approach to EMR shielding. *Proceedings II International Scientific Conference Contemporary Trends and Innovations in the textile industry* (16-17<sup>th</sup> May, 2019). Belgrade: Union of Engineers and Technicians of Serbia. (372-377).
3. Jaroszewski M., Thomas S., Rane A. (Eds.). (2019). *Advanced Materials for Electromagnetic Shielding: Fundamentals, Properties, and Applications*. John Wiley & Sons, Inc. – 464.
4. Ostrovskiy O., Odarenko E., Shmatko A. (2003). *Zashchitnye ekrany I poglotitely*

- поглотители электромагнитных волн / О.С. Островский, Е.Н. Одаренко, А.А. Шматько // Физическая инженерия поверхности (PSE), – 2003, том 1, № 2. – С. 161-173.
5. Geetha S. EMI Shielding: Methods and Materials – A review / S. Geetha, K. K. Satheesh Kumar, Chepuri R. K. Rao, M. Vijayan, D. C. Trivedi // *Journal of Applied Polymer Science*. – 2009, Vol. 112. – pp. 2073–2086.
6. Malik P. Textiles for protection against Electromagnetic Radiations: A review / Pratibha Malik, Astha Sharma, Gianender, J.P. Sharma // *Journal of Engineering Research and Application*. – 2018, Vol.8, Issue 6 (Part III). – P.32-37.
7. Maity S. Textiles in Electromagnetic Radiation Protection / Subhankar Maity, Kunal Singha, Pulak Debnath, Mrinal Singha // *Journal of Safety Engineering*. – 2013, 2(2). – P.11-19. – DOI: 10.5923/j.safety.20130202.01
8. Committee for Conformity Assessment of Accreditation and Certification on Functional and Technical Textiles. Specified requirements of electromagnetic shielding textiles. Taipei/Taiwan, Standard No. FTTS-FA-003, – 2005, <http://www.ftts.org.tw/images/fa003E.pdf>
9. Rubežienė V. Development and investigation of electromagnetic shielding fabrics with different electrically conductive additives. / Rubežienė V., Baltušnikaitė J., Varnaitė-Žuravliova S. et al. // *Journal of Electrostatics*. – 2015, Vol. 75. – pp. 90–98. – DOI: 10.1016/j.elstat.2015.03.009.
10. Roh J.S. Electromagnetic shielding effectiveness of multifunctional metal composite fabrics. / Roh J.S., Chi Y.S., Kang T.J., and Nam S.W. // *Textile Research Journal*. – 2008, Vol. 78 (9). – pp. 825–835. doi: 10.1177/0040517507089748.
11. Xu Z. Electromagnetic interference shielding effectiveness of aluminum foams with different porosity. / Xu Z. and Hao H. // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2014, Vol. 617. – pp. 207–213. DOI: 10.1016/j.jallcom.2014.07.188.
12. Karbownik I. Textile multi-layer systems for protection against electromagnetic radiation / Karbownik I., Malinowska G., and Rybicki E. // *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. – 2009, Vol. 17, Iss. 2 (73). – pp. 66-71.
13. Mattes B.R. Electrically conductive polyaniline fibers prepared by dry-wet spinning techniques. / Mattes B.R., Wang H.L. and Yang D. // *Conductive elektromagnitnykh voln. Fizicheskaya ingeneria poverkhnosty*, 1 (2), 161-173 [in Russian].
5. Geetha S., Kumar K.K.S., Rao C.R.K., Vijayan M., Trivedi D.C. (2009). EMI Shielding: Methods and Materials: A review. *Journal of Applied Polymer Science*, 112, 2073–2086.
6. Malik P. Sharma A., Gianender, Sharma J.P. (2018). Textiles for protection against Electromagnetic Radiations: A review. *Journal of Engineering Research and Application*, 8, 6 (III), 32-37.
7. Maity S., Singha K., Debnath P., Singha M. (2013). Textiles in Electromagnetic Radiation Protection. *Journal of Safety Engineering*, 2(2), 11-19. – DOI: 10.5923/j.safety.20130202.01
8. Committee for Conformity Assessment of Accreditation and Certification on Functional and Technical Textiles. Specified requirements of electromagnetic shielding textiles. Taipei/Taiwan, Standard No. FTTS-FA-003, (2005) <http://www.ftts.org.tw/images/fa003E.pdf>
9. Rubežienė V., Baltušnikaitė J., Varnaitė-Žuravliova S. et al. (2015). Development and investigation of electromagnetic shielding fabrics with different electrically conductive additives. *Journal of Electrostatics*, 75, 90–98. DOI: 10.1016/j.elstat.2015.03.009.
10. Roh J.S., Chi Y.S., Kang T.J., and Nam S.W. (2008). Electromagnetic shielding effectiveness of multifunctional metal composite fabrics. *Textile Research Journal*, 78 (9), 825–835. doi: 10.1177/0040517507089748.
11. Xu Z. and Hao H. (2014). Electromagnetic interference shielding effectiveness of aluminum foams with different porosity. *Journal of Alloys and Compounds*, 617, 207–213. DOI: 10.1016/j.jallcom.2014.07.188.
12. Karbownik I., Malinowska G., and Rybicki E. (2009). Textile multi-layer systems for protection against electromagnetic radiation. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 17, 2 (73), 66-71.
13. Mattes B.R., Wang H.L. and Yang D. (1999). Electrically conductive polyaniline

- Polymers and Plastics. – 1999, - pp. 135–141. DOI: 10.1016/B978-188420777-8.50020-5.
14. Николаев С.Д. Защита человека от электромагнитного излучения при помощи тканей / С. Д. Николаев, Е. В. Сильченко // Вестник технологического университета. – 2015, Т.18, № 15. – С. 161-166.
15. Tezel S. Comparison of electromagnetic shielding effectiveness of conductive single jersey fabrics with coaxial transmission line and free space measurement techniques. / Tezel S., Kavusturan Y., Vandenbosch G.A. and Volski V. // Textile Research Journal. – 2013, Vol. 84 (5). – pp. 461–476. doi: 10.1177/0040517513503728.
16. Bedeloglu A. Electrical, electromagnetic shielding, and some physical properties of hybrid yarn-based knitted fabrics. / Bedeloglu A. // The Journal of the Textile Institute. – 2013, Vol. 104. – pp. 1247–1257. DOI: 10.1080/00405000.2013.796627.
17. Perumalraj R. Electromagnetic shielding effectiveness of copper core yarn knitted fabrics. / Perumalraj R. and Dasaradan B.S. // Indian Journal of Fibre and Textile Research. – 2009, Vol. 34 (2). – pp. 149-154.
18. Ersoy M.S. Electroless silver coating on glass stitched fabrics for electromagnetic shielding applications. / Ersoy M.S. and Onder E. // Textile Research Journal. – 2014, Vol. 84. – pp. 2103–2114. doi: 10.1177/0040517514530025.
19. Pawlak R. Using vacuum deposition technology for the manufacturing of electro-conductive layers on the surface of textiles. / Pawlak R., Korzeniewska E., Frydrysiak M., Teşiorowski Ł., Gniotek K., Stempień Z. and Tokarska M. // Fibres & Textiles in Eastern Europe. – 2012, Vol. 2 (91). – pp. 68–72.
20. Šafařova V. Electromagnetic shielding properties of woven fabrics made from high-performance fibers. / Šafařova V. and Militky J. // Textile Research Journal. – 2014, Vol. 84 (12). – pp. 1255–1267. DOI: 10.1177/0040517514521118
21. Knittel D. Electrically high-conductive textiles. / Knittel D. and Schollmeyer E. // Synthetic Metals. – 2009, Vol. 159 (14). – pp. 1433–1437. DOI: 10.1016/j.synthmet.2009.03.021.
- fibers prepared by dry-wet spinning techniques. *Conductive Polymers and Plastics*, 135–141. DOI: 10.1016/B978-188420777-8.50020-5.
14. Nikolaev S.D. (2015). Zashchita cheloveka ot elektromagnitnogo izluchenia pri pomoshchi tkaney. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*, 18, 15, 161-166 [in Russian].
15. Tezel S., Kavusturan Y., Vandenbosch G.A. and Volski V. (2013). Comparison of electromagnetic shielding effectiveness of conductive single jersey fabrics with coaxial transmission line and free space measurement techniques. *Textile Research Journal*, 84 (5), 461–476. doi: 10.1177/0040517513503728.
16. Bedeloglu A. (2013). Electrical, electromagnetic shielding, and some physical properties of hybrid yarn-based knitted fabrics. *The Journal of the Textile Institute*, 104, 1247–1257. DOI: 10.1080/00405000.2013.796627.
17. Perumalraj R. and Dasaradan B.S. (2009). Electromagnetic shielding effectiveness of copper core yarn knitted fabrics. *Indian Journal of Fibre and Textile Research*, 34 (2), 149-154.
18. Ersoy M.S. and Onder E. (2014). Electroless silver coating on glass stitched fabrics for electromagnetic shielding applications. *Textile Research Journal*, 84, 2103–2114. doi: 10.1177/0040517514530025.
19. Pawlak R., Korzeniewska E., Frydrysiak M., Teşiorowski Ł., Gniotek K. et al. (2012). Using vacuum deposition technology for the manufacturing of electro-conductive layers on the surface of textiles. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 2 (91), 68–72.
20. Šafařova V. and Militky J. (2014). Electromagnetic shielding properties of woven fabrics made from high-performance fibers. *Textile Research Journal*, 84 (12), 1255–1267. DOI: 10.1177/0040517514521118
21. Knittel D. and Schollmeyer E. (2009). Electrically high-conductive textiles. *Synthetic Metals*, 159 (14), 1433–1437. DOI: 10.1016/j.synthmet.2009.03.021.

**SVITLANA ARABULI**

Docent at Department of Technology and Design of  
Textile Materials,  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1049-8255>  
Scopus ID: 54405479200  
Kyiv National University of Technologies and Design

**VIKTORIYA VLASENKO**

Dosent at Department of Technology and Design of Sewing  
Products,  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6039-1515>  
Scopus ID: 16475042800  
Kyiv National University of Technologies and Design

**OLENA KYZYMCHUK**

Professor at Department of Technology and Design of Textile  
Materials,  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8874-8931>  
Researcher ID: D-5159-2017  
Kyiv National University of Technologies and Design

## ТЕКСТИЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

АРАБУЛИ С. И., ВЛАСЕНКО В. И., КИЗИМЧУК Е. П.

*Киевский национальный университет технологий и дизайна*

**Цель.** Анализ существующих текстильных материалов, используемых для защиты от электромагнитного излучения, их систематизация и основные способы получения.

**Методика.** В статье использованы методы анализа научной литературы и систематизации результатов по направлению «текстильные материалы для защиты от электромагнитного излучения»

**Результаты.** Для защиты от электромагнитного излучения (ЭМИ) действующих электрических и электронных устройств широко используют экранирующие материалы (экраны) на основе текстильных материалов. Методы придания экранирующих свойств текстильным материалам можно классифицировать по двум направлениям: поверхностная обработка и наполнители. Растворы, применяемые для добавления свойства проводимости текстилю, очень разнообразны и зависят от области применения экранов. Однако, обработка поверхности часто требует много времени, трудоемка и дорогостоящая. Для защиты от электромагнитного излучения все больше используют введение в материал наполнителей в виде частиц, нитей и тканей. Текстильные защитные материалы изготавливают из проводящих полимеров, металлических волокон (углерод, нержавеющая сталь, медь и т.д.), металлических проводов, нитей с металлическим покрытием или комплексных нитей. В целом, электропроводность и эффективность экранирования от ЭМИ всех форм текстильных материалов (ткани, трикотажные, нетканые) улучшают путем включения в них на разных стадиях производства металлических волокон, частиц металла или проводящих полимеров.

**Научная новизна.** В работе представлен подробный анализ текстильных материалов для защиты от электромагнитного излучения, созданных в разных странах мира, и систематизированы основные способы получения текстильных экранов.

**Практическая значимость.** Ознакомление широкого круга специалистов с современным состоянием проблемы защиты от электромагнитного излучения, в результате чего выявлены основные тенденции и перспективы развития текстильных материалов для защиты от ЭМИ.

**Ключевые слова:** электромагнитное излучение, текстильные экраны, металлические волокна, поверхностная обработка.

---

---

## TEXTILES FOR ELECTROMAGNETIC RADIATION SHIELDING

ARABULI S., VLASENKO V., KYZYMCHUK O.

*Kyiv National University of Technologies and Design*

**Purpose.** Analysis of existing textile materials used for electromagnetic radiation shielding, their systematization, and basic production methods are the main goals of this review.

**Methodology.** The review of scientific literature and the systematization of the results in the field "textile materials for electromagnetic interference" are the main methods used for this research.

**Results.** Shielding materials based on textile materials are widely used for protection against electromagnetic radiation (EMR) from existing electrical and electronic devices. Methods for imparting shielding properties to textile materials can be classified in two directions: surface treatment and fillers. The solutions used to add conductivity to textiles are very diverse and depend on the shield application. However, surface treatment is often time consuming and expensive. The introduction of fillers in the form of particles, fibers, threads and fabrics into the material are increasingly using to create electromagnetic shields. Textile shielding materials are made from conductive polymers, metal fibers (carbon, stainless steel, copper, etc.), metal wires, metal-coated threads or multifilaments. Generally, the electrical conductivity and shielding efficiency from EMI of all textile materials (woven, knitted, non-woven fabrics) are improved by incorporating metal fibers, metal particles or conductive polymers into them at different production stages.

**Scientific novelty.** The detailed analysis of textile materials for shielding against electromagnetic radiation and of the research works in this field are presented in this review. The existing methods for producing textile shields are systematized by the authors.

**Practical value.** It is a familiarization of a wide circle of specialists with the current state of the problem of protection against electromagnetic radiation. The main trends and prospects for the development of textile materials for electromagnetic shielding are identified as a result of this review.

**Key words:** electromagnetic interference, textile shield, metal fibers, surface treatment.

УДК 675.026:519.85

ПЕРВАЯ Н.В.

Київський національний університет технологій та дизайну

## ОЦІНЮВАННЯ ФОРМОСТІЙКОСТІ ШКІРЯНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ВЕРХУ ВЗУТТЯ

**Мета.** З метою моделювання процесу формування та формофіксації взуттєвої заготовки на колодці в умовах реального виробництва досліджено вплив умов обробки натуральних шкіряних матеріалів на формостійкість на прикладі шкір для верху взуття, одержаних зі шкур свиней за різними (рослинним, диальдегідним, синтановим, хромовим) методами дублення.

**Методика.** Для реалізації поставленої мети у роботі використано декілька методів: органолептичної оцінки і фізико-механічного аналізу шкір, формування взуттєвої заготовки, статистичної обробки експериментальних даних. Формування та формофіксацію заготовки виконували на сферичному куполі (півсфері) пластиметричного пристрою. Для оцінювання формостійкості шкіри у якості критерію вибрали відношення радіуса півсфери відформованого зразка матеріалу до радіусу півсфери цього ж зразка відразу після його розвантаження, потім через одну та сім діб.

**Результати.** Експериментально встановлено, що, незалежно від умов виготовлення (методу дублення) шкірматеріалу, формування та формофіксації взуттєвої заготовки з цього матеріалу, всі зразки змінюють свою форму порівняно з формою півсфери пластиметричного пристрою. Найкраща формостійкість досягається при формуванні з термофіксацією зволжених шкірматеріалів хромового методу дублення (92 %); децю нижчу, хоча й на достатньо високому рівні, формостійкість демонструють шкіри інших – синтетичного, рослинного та диальдегідного – методів дублення (82, 83 та 89 % відповідно).

**Наукова новизна.** Встановлено вплив умов виготовлення (методу дублення) натуральних шкіряних матеріалів та формування заготовки верху взуття з них на формостійкість.

**Практична значимість.** За результатами проведеного дослідження встановлено, що при формуванні заготовки верху взуття для забезпечення високих технологічних властивостей натуральних шкіряних матеріалів, одержаних зі шкур свиней за розглянутими методами дублення, шкіру необхідно спочатку зволжити не менше, ніж на 5 %, а потім зафіксувати поверхневу форму при температурі не менше 80 °C протягом не менше 1 год: саме за таких умов відбувається якісне формування верху взуття.

**Ключові слова:** шкіряні матеріали для верху взуття, метод дублення, формування заготовки, формостійкість, випробування.

**Вступ.** Сучасний ринок шкіряних виробів вимагає від виробників виготовлення конкурентоспроможної продукції. При цьому вимоги до якості останньої об'єднують її відповідність призначенню, зручність та надійність, здатність зберігати привабливий зовнішній вигляд під час експлуатації. Однією з важливих властивостей натуральної шкіри – невід'ємної складової якісного виробу, яка суттєво впливає на ефективність виконання основних технологічних процесів та операцій взуттєвого виробництва та від якої залежить збереження форми виробу під час експлуатації, є формостійкість.

Під *формостійкістю* розуміють властивість виробу протистояти впливу зовнішніх і внутрішніх факторів та зберігати форму, надану їй при виготовленні. Формостійкість є не лише важливим чинником в естетичному оформленні виробу, а й визначає його зручність. Крім того, за формостійкістю виробу можна попередньо оцінювати ефективність технологічних процесів, досконалість обладнання та оснащення, що використовуються, а також відповідність матеріалів конструкціям майбутнього виробу.

Оцінювання якості матеріалів і взуття відбувається відповідно до основних нормативних документів, які регламентують фізико-механічні показники матеріалів, показники міцності та специфічні показники взуття, що характеризують його ергономічні властивості тощо. У той же час, нормативні документи не регламентують оцінювання формостійкості, як одного з найважливіших показників якості матеріалів для взуття.

У фундаментальних роботах Фукіна В.А., Калити А.Н., Раяцкаса В.Л., Зибіна Ю.П., Коновала В.П., Нестерова В.П. і Горбачика В.С., присвячених дослідженню властивостей натуральних та синтетичних шкіряних матеріалів для верху взуття [1-12], зазначено, що здатність взуття зберігати форму й не змінювати свої функціонально-споживчі властивості під час експлуатації протягом визначеного терміну залежить, головним чином, від фізико-хімічних, фізико-механічних та деформаційних властивостей матеріалу. Тобто, саме властивості матеріалів верху взуття мають безпосередній вплив на формостійкість [5,7,10,11]. Ось чому впродовж багатьох років актуальними є дослідження з пошуку взуттєвих матеріалів та способів їх формування для забезпечення належної формостійкості виробу в процесі виробництва, зберігання та експлуатації [8,13-15].

З теорії і практики взуттєвого виробництва відомо, що проектування якісного взуття пов'язано з прогнозуванням його формостійкості [16-18]. Так, у роботах [8,19-22] запропоновано алгоритм прогнозування формостійкості взуття, де процеси його проектування, виробництва та експлуатації розглядаються комплексно, як взаємодіючі частини однієї системи, що зв'язані одна з одною у динамічному процесі. Про актуальність проблеми формостійкості свідчить і достатня кількість публікацій, присвячених дослідженню пружно-пластичних властивостей шкіряних матеріалів, способам їх формування та методам оцінювання формостійкості на всіх етапах життєвого циклу виробів. Але, на жаль, зовсім мало інформації щодо впливу на формостійкість умов виготовлення цих матеріалів, за яких відбувається формування їх структури та властивостей. За приклад можна привести дисертаційну роботу Козар О.П., у якій розглянуто формування взуттєвих матеріалів під впливом мінеральних композицій [13], а також виконані у Казанському технологічному університеті системні дослідження з впливу плазмової обробки на формостійкість натуральної шкіри для верху взуття [16-17].

**Постановка завдання.** Прогнозування здатності натуральних шкіряних матеріалів до утворення та збереження поверхневої форми має бути пов'язане не лише з особливостями технологічного процесу виготовлення взуття (формування та фіксація взуттєвих заготовок), а й з умовами виготовлення цих матеріалів, які визначають їх технологічну придатність.

Як відомо, між деформаційними властивостями шкіри і технологічними процесами (операціями) виготовлення взуття існує певний зв'язок: базові властивості шкіри обумовлюють межі її технологічної придатності за певних параметрів процесів виготовлення взуття. Технологічна придатність шкіри визначається, насамперед, її механічними властивостями, які проявляються під час прикладання формуючих зусиль до деталей при виготовленні взуття або інших просторових виробів. Таким чином, виникає необхідність визначення механічних характеристик шкіри при двовісному розтягуванні. Оскільки при формуванні та експлуатації деталі верху взуття зазнають зусиль, спрямованих як перпендикулярно до поверхні, так і у багатьох різних напрямках, для характеристики

поведінки шкіряних матеріалів за таких умов їх випробують на продавлювання півсферою шляхом розтягування зразка сферичним куполом (півсферою) та визначення залишкових деформацій.

Виходячи з викладеного, з метою моделювання процесу формування заготовки взуття на колодці в умовах реального виробництва досліджено вплив умов виготовлення та обробки на формостійкість натуральних шкіряних матеріалів у вигляді шкір для верху взуття, одержаних зі шкур свиней за різними (рослинним, диальдегідним, синтановим, хромовим) методами дублення.

У роботі [23] повідомляється про те, що більш доцільно оцінювати формостійкість шкіряного виробу за ступенем зміни характерних геометричних величин. Це може бути величина лінійного розміру виробу (або розрахована за нею величина залишкової деформації), площа або об'єм заготовки тощо. Тому показник формостійкості визначається за ступенем збереження внутрішнього об'єму, отриманого при формуванні застосовуваного матеріалу:

$$\Phi = \frac{V_k}{V_0} \cdot 100, \quad (1)$$

або, враховуючи залежність об'єму  $V$  від радіуса півсфери  $r$ :

$$V = \frac{3}{4} \pi r^3, \quad (2)$$

він буде визначатися за формулою:

$$\Phi = \left( \frac{r_k}{r_0} \right)^3 \cdot 100, \quad (3)$$

де  $V_0$  та  $V_k$  – початковий та кінцевий (для певного проміжку часу спостереження) об'єм заготовки, обмежений поверхнею півсфери, мм<sup>3</sup>;

$r_0$  та  $r_k$  – відповідні величини радіуса півсфери, мм.

Для формування заготовки у роботі застосували пластиметричний пристрій, що складається з основи із закріпленою на ній пластмасовою півсферою радіусом 25 мм, що імітує носкову частину колодки, на якій затягнутий та зафіксований за допомогою пуансона зразок шкіряного матеріалу діаметром 90 мм (рис. 1).

Вимірювання величини радіуса відформованого зразка шкіри здійснювали індикатором годинникового типу, який забезпечує точність вимірювання з похибкою не більше 0,01 мм. Використання таких нескладних пристроїв для оцінювання формостійкості методом безпосереднього оцінювання суттєво спрощує проведення експерименту і може бути рекомендовано до використання в умовах виробництва, наприклад, на етапі відбору шкіряних матеріалів для виготовлення певних виробів або для уточнення режимів формування верху взуття.

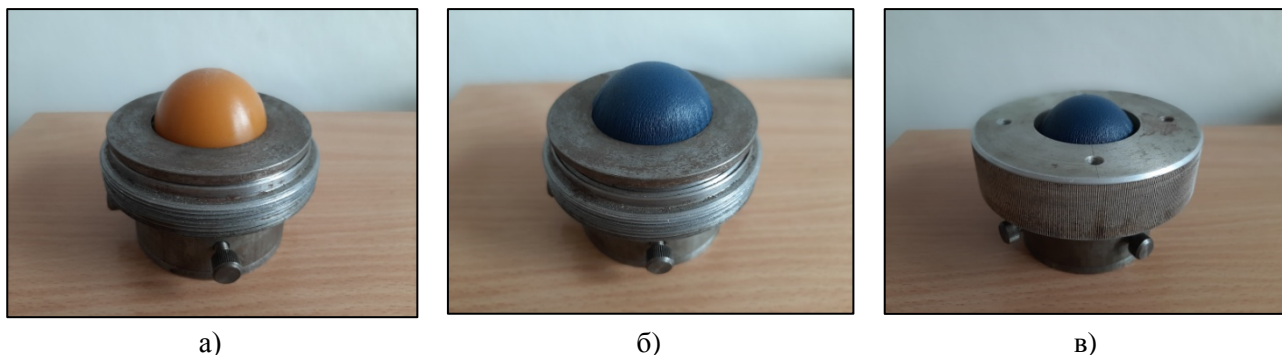


Рис.1. Пластиметричний пристрій для об'ємного формування шкіряних матеріалів: *а* – основа з пластмасовою півсферою; *б* – основа з пластмасовою півсферою із зтягнутим зразком шкіри; *в* – основа з пластмасовою півсферою із зтягнутим та зафіксованим зразком

Експериментальні дослідження проводили шляхом формування повітряно-сухих (у подальшому просто «сухих») та зволених зразків шкіри, а також формування з термофіксацією зволених зразків. Для цього всі досліджувані зразки шкіри спочатку поділили на три групи в залежності від режимів формування (по п'ять паралельних випробувань у кожній групі).

При формуванні без зволоження сухі зразки *групи 1* фіксували на пластиметричному пристрої та витримували одну добу за нормальних кліматичних умов. Після того зразки знімали з пристрою і вимірювали залишкову висоту (або за формулою (3) радіус півсфери  $r_k$ ) відразу після зняття навантаження, а потім після відпочинку (у стані спокою) протягом одної та семи діб, коли у відформованому зразку повністю припиняються релаксаційні процеси.

На практиці перед формуванням та формофіксацією заготовок взуття передбачено їх зволоження, яке, завдяки зменшенню напруження у структурі матеріалу, запобігає його розриванню при витягуванні кліщами, підвищує пластичність і тягучість, дає змогу зменшити припуск під зтяжку та витрату матеріалу на кожну пару взуття [9]. Це врахували під час проведення експерименту, коли зважені сухі зразки *групи 2* витримували 48 год в ексикаторі над насиченим розчином хлориду натрію при температурі  $20 \pm 2$  °C та відносній вологості повітря 76 %. Після зволоження за рахунок сорбції вологи з сольового розчину зразки виймали з ексикатора, зважували і розраховували приріст маси зразків щодо маси повітряно-сухої проби (тобто вологопоглинання). У подальшому проводили такі самі маніпуляції з визначення формостійкості, як і для *групи 1*: зразки фіксували на пластиметричному пристрої, витримували одну добу за нормальних умов, знімали з пристрою і вимірювали радіус півсфери  $r_k$  відразу після зняття навантаження та після відпочинку протягом одної та семи діб.

Велику роль у процесі формування заготовки взуття з натуральної шкіри відіграють вологовміст матеріалу і температурний режим, які можуть спричинити ослаблення і навіть руйнацію нестійких до їх дії зв'язків у структурі цього матеріалу, у нашому дослідженні – колагену як основної білкової речовини дерми. Після такого руйнування не виключено утворення нових зв'язків з більш високим потенційним бар'єром, що може позначитися на фіксації структури шкіри у новому, розтягнутому стані. Втрата старих або відсутність нових зв'язків, які фіксують залишкову деформацію зразка при більш високому потенційному бар'єрі, можуть спричинити нездатність виробів зі шкіри до відновлення форми та розмірів

під впливом намокання та/або механічної дії при експлуатації. З урахуванням цього після формування шкіряної заготовки взуття необхідно передбачити *термофіксацію* для стабілізації напруження у матеріалі, фіксації його форми та видалення надлишкової вологи. Крім вище згаданих переваг, проведення цього процесу сприяє зменшенню часу витримки взуття на колодці, необхідного для забезпечення формостійкості.

На підставі викладеного, зразки *групи 3* піддавали *формуванню з термофіксацією* у такий спосіб: після попереднього зволоження та фіксації на пластиметричному пристрої за наведеною вище методикою зразки витримували протягом 60 хв у термостаті при температурі 80 °С, після чого охолоджували 120 хв за нормальних умов; потім, як і раніше, вимірювали радіус півсфери  $r_k$  відразу після зняття навантаження і після відпочинку у вільному стані протягом одної та семи діб.

Одержані після статистичної обробки результати експерименту наведені у табл. 1. На підставі цих даних за формулою (3) визначили формостійкість досліджуваних зразків у сухому стані, після зволоження та після зволоження з термофіксацією (рис. 2,а-в).

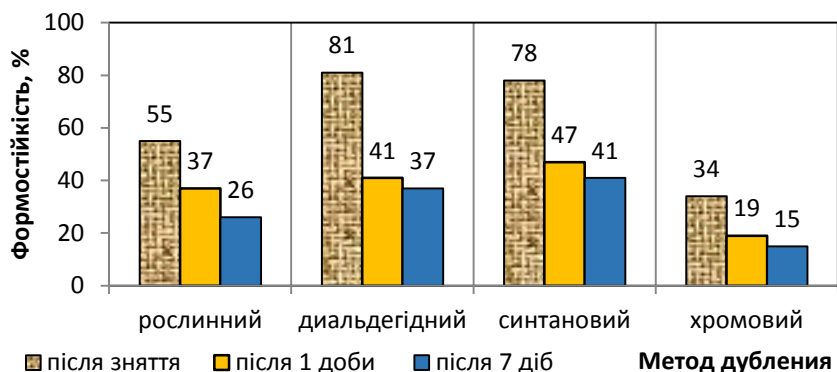
Таблиця 1

**Результати формування заготовки верху взуття з натуральних шкір різних методів дублення**

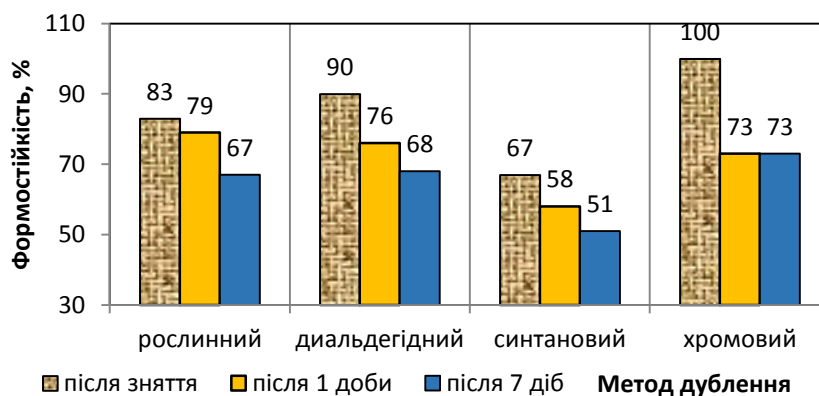
Група	Умови формування заготовки*	Товщина зразка, мм	Зміна маси зразка щодо маси сухого зразка, %	Радіус півсфери, мм			
				при максим. розтягненні зразка $r_0$	після зняття навантаження $r_k$ відразу	та відпочинку	
						1 доба	7 діб
Рослинний метод дублення							
1	С	0,80	–	21,5	16,0	13,0	11,0
2	З	0,80	+5,4	22,0	20,0	19,5	18,0
3	ЗТ	0,80	+5,0	22,0	22,0	20,0	20,0
Диальдегідний метод дублення							
1	С	1,40	–	17,2	15,5	11,0	10,5
2	З	1,40	+5,1	20,0	19,0	17,4	16,5
3	ЗТ	1,40	+5,1	18,0	18,0	18,0	17,0
Синтановий метод дублення							
1	С	1,10	–	20,4	18,0	14,0	13,0
2	З	1,10	+2,3	21,0	17,2	16,0	15,0
3	ЗТ	1,10	+2,3	21,0	21,0	19,0	19,0
Хромовий метод дублення							
1	С	0,95	–	20,5	12,0	9,0	8,0
2	З	0,95	+4,6	21,0	21,0	18,0	18,0
3	ЗТ	0,95	+5,0	20,9	20,9	20,9	20,0

\* СС – формування сухого зразка; З – формування зволоженого зразка;

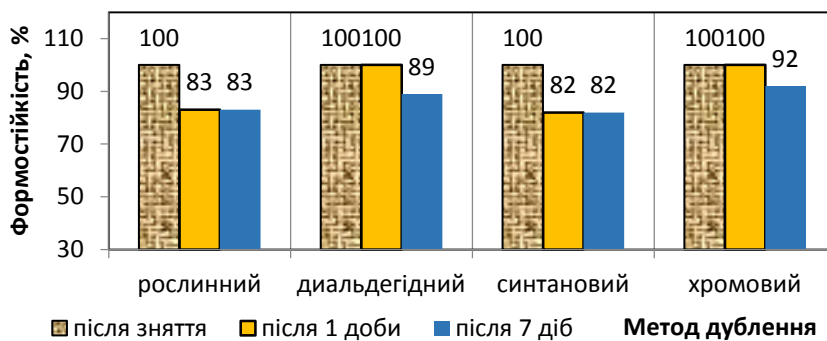
ЗТ – формування зволоженого зразка з подальшою термофіксацією



а) формування сухих зразків



б) формування зволжених зразків



в) формування зволжених зразків з термофіксацією

Рис. 2. Формостійкість натуральної шкіри для верху взуття різних методів дублення: відразу після зняття навантаження (1); після зняття навантаження та відпочинку протягом одної (2) та семи (3) діб

З рис. 2,а видно, що при формуванні без зволоження кращу формостійкість виявляють зразки шкір диальдегідного та синтанового методів дублення відразу після зняття навантаження (81 та 78 % відповідно), але вже після відпочинку протягом одної доби цей показник знижується

удвічі, що не відповідає вимогам до достатньої формостійкості шкір для верху взуття, яка має бути не менше 75 % [24]. Зволоження шкір перед формуванням покращує їх здатність до утворення просторової форми (рис. 2.б), при цьому найкращі результати виявлено у шкір хромового та діальдегідного дублення (73 та 68 % відповідно), хоча їх показники нижчі від бажаного рівня. Найгірший результат спостерігається у шкір синтанового методу дублення (51 %), які набрали вологи в 2,4 рази менше серед усіх досліджуваних шкір (табл. 1). А як відомо [9], наявність вологи у структурі підвищує пластичність і тягучість шкіряного матеріалу, що позитивно впливає на його формостійкість.

При оцінюванні формостійкості зволжених шкір після формування з термофіксацією встановлено (рис. 2,в), що за таких умов обробки забезпечується висока якість формування заготовки взуття незалежно від методу дублення, оскільки показники всіх зразків знаходяться на рівні 82-100 %. Найкращу формостійкість серед зразків цієї групи демонструють зразки шкіри хромового дублення.

На основі експериментальних даних (рис. 2) встановлено, що найкращу формостійкість мають зразки шкіри хромового методу дублення, але не поступаються їм і шкіри інших – синтетичного, рослинного та діальдегідного – методів дублення.

**Висновок.** З метою моделювання процесу формування взуттєвої заготовки на колодці досліджено вплив на формостійкість натуральних шкіряних матеріалів для верху взуття умов їх виготовлення, а також умов самого процесу утворення і фіксації просторової форми. У якості таких матеріалів застосували шкіру для верху взуття, одержану зі шкур свиней за різними методами дублення: рослинним, діальдегідним, синтановим та хромовим. Експеримент проводили з використанням пластиметричного пристрою у вигляді основи із закріпленою на ній пластмасовою півсферою, що імітує носкову частину колодки, на якій затягнутий та зафіксований за допомогою пуансона зразок шкіряного матеріалу. У якості критерію формостійкості прийняли відношення радіуса півсфери для відформованого зразка шкіри до радіуса півсфери відформованого зразка відразу після зняття навантаження, а також після зняття навантаження та відпочинку у вільному стані протягом одної та семи діб.

Оцінювання формостійкості показало, що всі досліджувані зразки змінюють свою форму у порівнянні з формою півсфери пластиметричного пристрою. Одержані результати дозволяють рекомендувати проводити формування заготовки верху взуття з натуральних шкір, одержаних зі шкур свиней за розглянутими у роботі методами дублення, шляхом попереднього зволоження шкірматеріалів не менше, ніж на 5 %, та подальшої, протягом не менше, ніж 1 год, фіксації форми при температурі не менше 80 °С, оскільки саме у такий спосіб формування забезпечуються високі експлуатаційні властивості верху взуття з натуральної шкіри різних методів дублення.

### Література

1. Фукин В.А., Калита А.Н. *Технология изделий из кожи*: учебник. Ч.1. М.: Легпромбытиздат, 1988. 272 с.
2. Коновал В.П., Свістунова Л.Т., Олійникова В.В. *Технологія взуттєвого виробництва*: підручник. Київ: Либідь, 2003. 366 с.
3. Раяцкас В.Л., Нестеров В.П. *Технология изделий из кожи*: учебник. Ч.2. Москва: Легпромбытиздат, 1988. 320 с.
4. Зыбин Ю.П. *Технология изделий из кожи*: учебник. Москва: Легк. индустрия, 1975. 464 с.
5. Гуменный Н.А., Рыбальченко В.В. *Материалы для обуви и кожгалантерейных изделий*: справочник. Киев: Техніка, 1982. 162 с.
6. Байдакова Л.И. *Товароведение обувных и пушномеховых товаров*: учебник. Киев: Вища школа, 1990. 350 с.
7. Рыбальченко В.В., Коновал В.П., Хом'як М.Є., Шевченко Г.І. *Матеріалознавство виробів легкої промисловості*: підручник. Київ: КНУТД, 2008. 320 с.
8. Коновал В.П. *Теоретичні і практичні основи створення та фіксації форми взуття*: автореф. дис. на здобуття наук. ступ. докт. техн. наук : 05.19.06. Київ, 1998, 40 с.
9. Коновал В.П., Гаркавенко С.С., Свістунова Л.Т. *Універсальний довідник взуттєвика*. Київ: Ліра, 2006. 719 с.
10. Коновал В.П., Рыбальченко В.В., Хом'як М.Є. *Натуральні і штучні матеріали для взуття*. Київ: КНУТД, 2005. 217 с.
11. Горбачик В.Е., Дардык В.Ф., Загайгора К.А., Максина З. Г., Фурашова С. Л. Влияние свойств кожи на качество предварительного формования союзки. *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.
12. Загайгора К.А., Максина З.Г., Фурашова С.Л. Исследование влияния увлажнения на формоустойчивость систем материалов. *Актуальные проблемы науки, техники и экономики*

### References

1. Fukyn V. A., Kalyta A.N. *Tekhnolohiya yzdelyi yz kozhy: uchebnyk* [The technology of leather products]. Ch.1. M.: Lehprombytyzdat, 1988. 272 p. [in Russian].
2. Konoval V. P., Svistunova L.T., Oliinykova V.V. *Tekhnolohiia vzuttievoho vyrobnytstva* [The technology of shoe production]: pidruchnyk. Kyiv: Lybid, 2003. 366 p. [in Ukrainian].
3. Raiatskas V. L., Nesterov V.P. *Tekhnolohiya yzdelyi yz kozhy* [The technology of leather products]: uchebnyk. Ch.2. Moskva: Lehprombytyzdat, 1988. 320 p. [in Russian].
4. Zybyn Yu.P. *Tekhnolohiya yzdelyi yz kozhy* [The technology of leather products]: uchebnyk. Moskva: Lehk. yndustryia, 1975. 464 p. [in Russian].
5. Humennyi N.A., Rybalchenko V.V. *Materyaly dlia obuvy y kozhhalantereynykh yzdelyi: spravochnyk*. Kyev: Tekhnika, 1982. 162 p. [in Russian].
6. Baidakova L.Y. *Tovarovedenye obuvnykh y pushnomekhovykh tovarov* [Commodity research of shoe and fur goods]: uchebnyk. Kyev: Vyshcha shkola, 1990. 350 p. [in Russian].
7. Rybalchenko V.V., Konoval V.P., Khom'iak M.Ye., Shevchenko H.I. *Materialoznavstvo vyrobiv lehkoï promyslovosti* [Material science of light industry products]: pidruchnyk. Kyiv: KNUTD, 2008. 320 p. [in Ukrainian].
8. Konoval V.P. *Teoretychni i praktychni osnovy stvorennia ta fiksatsii formy vzuttia* [Theoretical and practical basics of creating and fixing the shape of shoes]: avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stup. dokt. tekhn. nauk : 05.19.06. Kyiv, 1998, 40 p. [in Ukrainian].
9. Konoval V.P., Harkavenko S.S., Svistunova L.T. *Universalnyi dovidnyk vzuttievyka* [Universal Shoe Directory]. Kyiv: Lira, 2006. 719 p. [in Ukrainian].
10. Konoval V.P., Rybalchenko V.V., Khom'iak M.Ye. *Naturalni i shtuchni materialy dlia vzuttia* [Natural and synthetic materials for footwear.]. Kyiv: KNUTD, 2005. 217 p. [in Ukrainian].
11. Horbachyk V.E., Dardyk V.F., Zahaihora K.A., Maksyna Z. H., Furashova S. L. *Vlyianyie svoistv kozhy na kachestvo predvartelnoho formovaniya soizyky*. *Aktualnye problemy nauky, tekhniky y ekonomyky proyzvodstva yzdelyi yz kozhy* [The effect of skin properties on the quality of pre-forming vamps. Actual problems of science, technology and economics of leather products]: sb. statei mezhdunar. nauch. konf. / Vyteb. hos. tekhnol. un-t. – Vytebsk, 2004. P. 202–204. [in Russian].
12. Zahaihora K.A., Maksyna Z.H., Furashova S.L. *Yssledovanye vlyianyia uvlazhneniia na formoustoichyivost system materyalov*. *Aktualnye problemy nauky, tekhniky y ekonomyky proyzvodstva yzdelyi yz kozhy* [Investigation of the effect of moisture on the shape stability of material systems. Actual problems of science, technology and economics of leather products]: sb. statei mezhdunar. nauch.

- производства изделий из кожи: сб. статей междунар. науч. конф. Витебск: ВГТУ, 2004. С. 176–179.
13. 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. Київ, 2015. 38 с.
14. Калита А.Н. О критерии выбора инженерного решения при проектировании формоустойчивой обуви. *Кожевенно-обувная промышленность*. 1982. № 1. С. 38–40.
15. Якимова Г.П. О поисках эффективных способов формования заготовки верха обуви с целью повышения их качества. *Техническое регулирование — базовая составляющая управления качеством услуг и изделиями сервиса*: Международ. сб. науч. трудов. Шахты: ЮРГУЭС, 2011. С. 127-129.
16. Абдуллин И.Ш., Махоткина Л.Ю., Тихонова Н.В. Формуемость обувных материалов в процессе плазменной обработки. *Кожевенно-обувная промышленность*. 2006. № 3. С. 41-42.
17. Абдуллин И.Ш., Тихонова Н.В., Махоткина Л.Ю., Жуковская Т.В. Изменение формоустойчивости обуви с верхом из натуральной кожи под действием ВЧ-плазмы пониженного давления. *Вестник Казанского технолог. университета*. 2010. № 5. С. 112-114.
18. Тихонова Н.В. *Научно-технологические основы регулирования формоустойчивости заготовки верха обуви из натуральной кожи с использованием ВЧ плазмы пониженного давления*: автор. дисс. на соиск. учен. степ. докт. техн. наук / 05.19.05. Казань, 2012. 34 с.
19. Раяцкас В.Л., Прохоров В.Т., Осацкая Н.В., Прохорова Е.В. Разработка рекомендаций по повышению конкурентоспособности изготовленной обуви предприятиями ЮФО. *Техническое регулирование — базовая составляющая управления качеством услуг и изделиями сервиса*: Международ. сб. науч. трудов. Шахты: ЮРГУЭС, 2005. С. 22-25.
20. Нестеров В.П. *Автоматизированная* конф. Vytebsk: VHTU, 2004. P. 176–179. [in Russian].
13. Kozar O.P. Rozvytok naukovykh osnov stvorennia formostiikoho vzuttia z vykorystanniam mineralnykh kompozytsii [Development of scientific foundations for creating mold-resistant shoes using mineral compositions]: avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stup. dokt. tekhn. nauk: 05.18.18. Kyiv, 2015. 38 p. [in Ukrainian]
14. Kalyta A.N. O kryteryu vybora ynzhenernoho resheniya pry proektyrovannyu formoustoichyvoi obuvy. *Kozhevenno-obuvnaia promyshlennost* [About the criteria for choosing an engineering solution in the design of form-resistant shoes. Leather and footwear industry]. 1982. № 1. P. 38–40. [in Russian].
15. Yakymova H.P. O poyskakh efektyvnykh sposobov formovanyia zahotovky verkha obuvy s tseliu povysheniia ykh kachestva. *Tekhnicheskoe rehulyrovanye — bazovaia sostavliaiushchaia upravleniia kachestvom usluh y yzdelyiamy servysa* [On the search for effective ways of forming the upper part of the shoe in order to improve their quality. Technical regulation - a basic component of the management of quality of services and products of service]: Mezhdunarod. sb. nauch. trudov. Shakhty: YuRHUЭС, 2011. S. 127-129. [in Russian].
16. Abdullin Y.Sh., Makhotkina L.Yu., Tykhonova N.V. Formuemost obuvnykh materialov v protsesse plazmennoi obrabotky. *Kozhevenno-obuvnaia promyshlennost* [Formability of shoe materials in the process of plasma processing. Leather and footwear industry]. 2006. № 3. P. 41-42. [in Russian].
17. Abdullin Y.Sh., Tykhonova N.V., Makhotkina L.Yu., Zhukovskaia T.V. Yzmeneniye formoustoichyvosty obuvy s verkhom yz naturalnoi kozhy pod deistviem VCh-plazmy ponyzhennoho davleniia. *Vestnyk Kazanskoho tekhnoloh. Unyversyteta* [Change in the dimensional stability of shoes with a top made of genuine leather under the influence of low-frequency high-frequency plasma. Bulletin of Kazan Technological University.]. 2010. № 5. P. 112-114. [in Russian].
18. Tykhonova N.V. Nauchno-tekhnolo-hycheskye osnovy rehulyrovanyia formoustoichyvosty zahotovky verkha obuvy yz naturalnoi kozhy s yspolzovanyem VCh plazmy ponyzhennoho davleniia [Scientific and technological fundamentals of regulating the shape stability of a workpiece top made of genuine leather using high-pressure plasma of low pressure]: avtor. dyss. na soysk. uchen. step. dokt. tekhn. nauk / 05.19.05. Kazan, 2012. 34 p. [in Russian].
19. Raiatskas V.L. Prokhorov V.T., Osatskaia N.V., Prokhorova E.V. Razrabotka rekomendatsyi po povysheniui konkurentosposobnosti yzgotovlennoi obuvy predpriatyami YuFO. *Tekhnicheskoe rehulyrovanye — bazovaia sostavliaiushchaia upravleniia kachestvom usluh y yzdelyiamy servysa* [Development of recommendations to improve the competitiveness of manufactured shoes by enterprises of the Southern Federal District. Technical

- система проектирования технологических процессов производства обуви. Москва: Легк. индустрия, 1979. 197 с.
21. Цибилова Е.М., Калита А.Н., Рябинкин С.И. Алгоритм прогнозирования формоустойчивости обуви. *Известия вузов. Технология легкой промышленности*. 1983. № 1. С. 55-57.
22. Коновал В.П., Якубова Л.В. Системный подход к исследованию операций термофиксации формы обуви. *Известия вузов. Технология легкой промышленности*. 1983. № 6. С.77-81.
23. Адигезалов Л.И., Шварц А.С. *Интенсифицированные методы сушки обуви*. Москва: Легк. индустрия, 1974. 136 с.
24. Файбищенко М.А. Влияние различных факторов на формоустойчивость обуви. *Кожевенно-обувная промышленность*. 1965. № 9. С. 27-33.
- regulation - a basic component of the management of quality of services and products of service]: Mezhdunarod. sb. nauch. trudov. Shakhtы: YuRHUЭС, 2005. P. 22-25. [in Russian].
20. Nesterov V.P. Avtomatyzyrovannaia systema proektyrovaniya tekhnolohycheskykh protsessov proyzvodstva obuvy [Automated system for designing technological processes for the production of shoes]. Moskva: Lehk. yndustryia, 1979. 197 p. [in Russian].
21. Tsybyzova E.M., Kalyta A.N., Riabyнкyn S.Y. Alhorytm prohnozyrovaniya formoustoichyvosty obuvy. Yzvestyia vuzov. Tekhnolohyia lehkoi promyshlennosty [An algorithm for predicting shoe shape stability. University News. Light industry technology]. 1983. № 1. P. 55-57. [in Russian].
22. Konoval V.P., Yakubova L.V. Systemnyi podkhod k yssledovaniyu operatsyi termofyksatsyy formy obuvy. Yzvestyia vuzov. Tekhnolohyia lehkoi promyshlennosty [A systematic approach to the study of the operations of thermal fixation of shoe shapes. University News. Light industry technology]. 1983. № 6. P. 77-81. [in Russian].
23. Adyhezalov L.Y., Shvarts A.S. Yntensyfytyrovannye metody sushky obuvy [Intensified shoe drying methods]. Moskva: Lehk. yndustryia, 1974. 136 p. [in Russian].
24. Faibyshenko M. A. Vlyiane razlychnykh faktorov na formoustoichyvost obuvy [The influence of various factors on the stability of shoes.]. Kozhevenno-obuvnaia promyshlennost. 1965. № 9. P. 27-33. [in Russian].

**PERVAIA N. V.**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5086-3926>

Scopus Author ID: 55976214600

Department of Design and Technologies of Leather Products,  
Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

## ОЦЕНКА ФОРМОСТОЙКОСТИ КОЖЕВЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ВЕРХА ОБУВИ ПЕРВАЯ Н. В.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

**Цель.** С целью моделирования процесса формирования и формофиксации обувной заготовки на колодке в условиях реального производства исследовано влияние условий обработки натуральных кожевенных материалов на формостойкость на примере кож для верха обуви, полученных из шкур свиней разными (растительным, диальдегидным, синтановым, хромовым) методами дубления.

**Методика.** Для реализации поставленной цели в работе использованы несколько методов: органолептической оценки и физико-механического анализа кож, формирование обувной заготовки, статистической обработки экспериментальных данных. Формование и формофиксацию заготовки выполняли на сферическом куполе (полусфере) пластиметрического устройства. Для оценки формостойкости кожи в качестве критерия выбрали отношение радиуса полусферы отформованного образца материала к радиусу полусферы этого же образца сразу после его разгрузки, затем через одни и семь суток.

**Результаты.** Экспериментально установлено, что, независимо от условий изготовления (метода дубления) кожматериала, формирования и формофиксации обувной заготовки из этого материала, все образцы меняют свою форму по сравнению с формой полусферы

пластиметрического устройства. Лучшая формостойкость достигается при формировании с термофиксацией увлажненных кожматериалов хромового метода дубления (92%); несколько ниже, хотя и на достаточно высоком уровне, формостойкость демонстрируют кожи других - синтетического, растительного и диальдегидного - методов дубления (82, 83 и 89% соответственно).

**Научная новизна.** Установлено влияние условий изготовления (метода дубления) натуральных кожевенных материалов и формирования заготовки верха обуви из них на формостойкость.

**Практическая значимость.** По результатам проведенного исследования установлено, что при формировании заготовки верха обуви для обеспечения высоких технологических свойств натуральных кожевенных материалов, полученных из шкур свиней по рассмотренным методам дубления, кожу необходимо сначала увлажнить не менее, чем на 5%, а затем зафиксировать поверхностную форму при температуре менее 80 ° C в течение не менее 1 ч: именно при таких условиях происходит качественное формирование верха обуви.

**Ключевые слова:** кожаные материалы для верха обуви, метод дубления, формирование заготовки, формостойкость, испытания.

## ASSESSMENT OF THE CAPABILITY OF LEATHER FOR FOOTWEAR UPPER TO KEEP THE SHAPE AFTER MOLDING PERVAIA N. V.

Kiev National University of Technologies and Design

**Purpose.** The influence of the processing conditions of leather for upper to keep the shape after molding by the example of leather for uppers made from pigs' skins using different (vegetable, dialdehyde, syntan, chrome) tanning methods was studied to simulate the process of molding and process of keep the shape after molding on a last under real production conditions.

**Methodology.** In order to achieve this purpose, the following methods had been use in the work: organoleptic assessment and physic-mechanical analysis of leather, the molding of the upper, statistical processing of experimental data. The molding and the keep of shape after molding was performed on a spherical dome (hemisphere) of the plastimetric device. To assess the molding and the keep the shape after molding of uppers, the ratio of the hemisphere radius of the molded material sample to the hemisphere radius of the same sample was chosen as a criterion immediately after strain, then after one and seven days.

**Results.** It was established experimentally that, regardless of the manufacturing conditions (tanning method) of the leather, the molding and the keep the shape after molding of this material, all the samples change their shape compared to the hemisphere shape of the plastimetric device. The best keep the shape after molding is achieved by heat-setting molding of moistened leather materials of the chrome tanning method (92%); slightly lower, although at a sufficiently high level, keep the shape after moulding is demonstrated by the skins of others — synthetic, vegetable, and dialdehyde — tanning methods (82, 83, and 89%, respectively).

**Scientific novelty.** The influence of the conditions of manufacture (method of tanning) of natural leather materials and the molding of the upper from them on the keep the shape after moulding was established.

**Practical value.** According to the results of the study, it was found that when molding the upper to ensure high technological properties of natural leather materials obtained from pigs using the tanning methods considered, the skin must first be moistened at least by 5% and then fixed at surface temperature 80 ° C for at least 1 hour: it is under these conditions that high-quality molding of the uppers.

**Keywords:** leather for the upper, tanning method, the molding, the keep of shape after molding, testing.

УДК 687.03

<sup>1</sup>СІРКО З. С., <sup>2</sup>ЗАПТАЛОВ Б. Й., <sup>2</sup>СТАРИШ Є. А.,  
<sup>2</sup>ТОРЧИЛЕВСЬКИЙ Д. П., <sup>3</sup>КОТЛЯРОВА І. І.

<sup>1</sup>Національний університет біоресурсів і природокористування України

<sup>2</sup>Український державний науково-дослідний інститут «Ресурс»

<sup>3</sup>Київський національний університет технологій та дизайну

## РОЗРОБЛЕННЯ МОДИФІКОВАНОГО НАМЕТУ УСБ-56

**Мета.** Модифікація намету типу УСБ-56 з метою покращення його експлуатаційних характеристик та зменшення собівартості виготовлення.

**Методика.** Під час дослідження оцінювались фізико-механічні властивостей тканини арт. 16сКВзл+ВО: поверхнева густина, розривальні характеристики, водотривкість. Дослідження проводились на вихідних зразках тканини, на зразках, що експонувались в природних умовах різних районів України протягом певного часу, та на зразках після опромінення в лабораторних умовах. Були використані методики, регламентовані національними і міжнародними стандартами. Відбір зразків тканини проводили згідно вимог чинних нормативних документів. Випробування зразків тканини бавовняної арт. 16сКВзл+ВО проводили у акредитованій аналітично-дослідній випробувальній лабораторії «Текстиль-ТЕСТ» Київського національного університету технологій та дизайну.

**Результати.** Результати випробувань показали, що за фізико-механічними показниками модифікована тканина арт. 16сКВзл+ВО відповідає вимогам нормативних документів, а за деякими показниками перевищує їх (водотривкість та розривальне навантаження за основою і утоком). Разом з тим, результати випробувань проб зразків, що експонувались в природних умовах показали, що стійкість до старіння тканини залежить від району експозиції, а результати випробувань проб після опромінення в лабораторних умовах з використанням дугової ксенонної лампи близькі до результатів, отриманих на пробах, що експонувались в Київській області.

**Наукова новизна.** На основі отриманих результатів експериментальних досліджень властивостей модифікованої тканини арт. 16сКВзл+ВО доведена доцільність її використання для виготовлення наметів типу УСБ-56. Визначена залежність величини коефіцієнту втрати водотривкості тканини від регіону використання тканини.

**Практична значимість.** Рекомендації щодо підвищення експлуатаційних властивостей намету УСБ-56 будуть покладені в основу розроблення нормативної документації на намет.

**Ключові слова:** намет, конструкція, експлуатація, водостійкість, світлостійкість, випробування, фізико-механічні показники.

**Вступ.** Модифікація намету типу УСБ, який призначений для медико-санітарних цілей, а також як барак для тимчасового житла, повинна покращити його експлуатаційні характеристики та зменшити собівартість його виготовлення. Намет типу УСБ повинен витримувати вітрове навантаження, бути стійким до атмосферних опадів (дощ, сніг, град, туман) та дії ультрафіолетових променів, забезпечувати комфортні умови для проживання у ньому.

**Постановка проблеми.** Одним із основних шляхів модифікації намету є просочування матеріалу (тканини) верхнього намету спеціальними речовинами, що повинно забезпечити підвищені експлуатаційні характеристики виробу без зменшення величини фізико-механічних показників матеріалу верхнього намету.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** До експлуатаційних властивостей відносяться: експлуатаційна ергономіка, експлуатаційні характеристики, експлуатація виробу [1]. Із наведених експлуатаційних властивостей найбільш важливим є експлуатація виробу (намету) – стадія життєвого циклу продукції, на якій реалізують, підтримують та

відновлюють якість виробу. Експлуатація виробу охоплює у загальному випадку етапи введення в експлуатацію, використання за призначенням, зберігання в процесі експлуатації, транспортування в процесі експлуатації, технічне обслуговування, поточний та середній ремонт, припинення експлуатації, списання (передавання, утилізація, знищення) [2]. Для тканин наметів існує проблема намокання під час використання в природних умовах. Для зменшення намокання та забруднення доцільно використовувати спеціальні засоби, які відштовхують вологу з поверхні тканини, та в той же час, не перешкоджають проникненню повітря. В процесі оброблення тканини на поверхні волокон утворюється спеціальний захисний шар товщиною в декілька нанометрів [3]. Питаннями покращення експлуатаційних характеристик тканин, їх гідрофобізації та підвищення стійкості до ультрафіолетових променів займалися багато дослідників [4-10]. Разом з тим, більшість робіт направлена на покращення експлуатаційних властивостей одягу, предметів особистої гігієни і т. і. Тканини для наметів мають ряд недоліків в процесі експлуатації, тому їхнє вдосконалення дасть можливість продовжити термін їх експлуатації та комфортність проживання.

**Постановка завдання.** Тканина намету типу УСБ повинна бути стійкою як до атмосферних опадів так і до дії ультрафіолетових променів. Одним із основних шляхів модифікації намету є оброблення тканини верхнього намету спеціальними речовинами, які збільшать термін експлуатації виробу. Вода, що попадає на оброблену захисними препаратами поверхню тканини, збирається в краплинки, які легко скочуються з поверхні, забираючи за собою частинки бруду та пилу. Також оброблена тканина менше піддається дії ультрафіолетового сонячного випромінювання, яка викликає фотохімічну деструкцію волокон, барвників та опоряджувальних препаратів.

**Мета роботи** – провести дослідження нової обробленої тканини для наметів типу УСБ.

**Результати дослідження.** Для дослідження використовували тканину для наметів арт. 16сКВгл+ВО, оброблену гідрофобними та світлостійкими препаратами. Відбір зразків тканини проводили згідно чинної нормативно-технічної документації. Від кожного відібраного куска або рулону відбирали точкову пробу у вигляді відрізка за всією шириною тканини. Довжину точкової проби визначали в залежності від ширини тканини та виду лабораторного випробування. Точкову пробу відбирали із будь-якого місця куска або рулону тканини, але не від самого кінця. Точкова проба не повинна мати вад зовнішнього вигляду, зім'ятих місць та загинів. Зразки відібраної тканини для наметів арт. 16сКВгл+ВО проходили випробування у акредитованій аналітично-дослідній випробувальній лабораторії «Текстиль-ТЕСТ» Київського національного університету технологій та дизайну.

Використовували стандартні методики для визначення фізико-механічних властивостей зразків тканини за показниками: поверхнева густина, водотривкість, розривальне навантаження та видовження. Результати випробувань, вимоги нормативних документів та методи випробувань наведені у табл. 1.

Аналіз результатів випробувань показав, що за фізико-механічними показниками модифікована тканина арт. 16сКВгл+ВО відповідає вимогам нормативно-технічної документації на тканини для наметів, а за деякими показниками перевищує їх. Так, наприклад, поверхнева густина після випробувань становила 257,6 г/м<sup>2</sup>, що практично

відповідає нормативу для наметових тканин. Водотривкість перевищує нормативну на 51%, розривальне навантаження за основою – на 75,8% та за утком – 53,3%.

Таблиця 1

**Результати випробувань, вимоги нормативних документів та методи випробувань**

Найменування показника, одиниця виміру	Вимоги НД	Результат випробувань	НД на методи випробування
Поверхнева густина, г/м <sup>2</sup>	258	257,6	ГОСТ 3811-72
Водотривкість, мм вод. ст.	не менше 300	454	ДСТУ ГОСТ 3816-2009
Розривальне навантаження, Н: за основою за утком	не менше		ISO 13934-1:2013
	755	1328	
	589	903	
Видовження на момент розірвання, %: за основою за утком	не нормується		ISO 13934-1:2013
		18,0	
		13,0	

Проби тканини піддавались дії опромінення у лабораторних умовах з використанням ксенонової дугової лампи, а також експонувались у природних умовах різних районів України (м. Слав'янськ, м. Одеса, м. Фастів, м. Київ) протягом п'яти місяців (квітень-серпень 2018р.). Після опромінювання проб у лабораторних умовах, та витримання проб у природних умовах були знову визначені фізико-механічні показники тканини та оцінена їх стійкість до старіння за критеріями: коефіцієнт втрати величини кожного показника, зміна стійкості пофарбування за шкалою сірих еталонів.

Коефіцієнт втрати величини показника (К) розраховували у відсотках за формулою:

$$K = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \cdot 100,$$

де  $P_1$  – середнє значення показника до експозиції;

$P_2$  – середнє значення показника після експозиції.

Результати випробувань тканини (табл.2), що піддавалася дії опромінення у лабораторних умовах та випробування тканини, що експонувалась у природних умовах показали, що практично всі фізико-механічні показники показали менші значення у порівнянні з нормативними. Наприклад, коефіцієнт втрати водотривкості становив для м. Слав'янська – 59,0%, для м. Одеси – 53,0%, для м. Фастова – 37,6%, для м. Києва – 9,0%. Втрата міцності і водотривкості на зразках, що експонувались у м. Слав'янську та м. Одеса, значно більша, ніж на зразках, що експонувались у штучних лабораторних умовах, та у Києві та Фастові (в містах з більш м'яким кліматом). За результатами випробування стійкість пофарбування при штучному опромінюванні, а також природних впливів у містах Київ і Фастів дорівнює 2 – 3 бали. Стійкість пофарбування зразків, що експонувались у Слав'янську та Одесі оцінена в 1 бал.

З метою запобігання інтенсивного руйнування верху наметів, що експлуатуються у південних регіонах, доцільним було б передбачити захист їх від сонячних ультрафіолетових променів за допомогою спеціальних засобів, або застосуванням маскувальних сіток.

Таблиця 2

**Коефіцієнт втрати показників водотривкості, розривального навантаження**

Найменування показника, одиниця виміру	Результат випробування						НД на метод випробування
	вихідного зразка	після опромінення у лабораторних умовах	після експозиції у природних умовах				
			м. Слав'янськ	м. Одеса	м. Фастів	м. Київ	
Поверхнева густина, г/м <sup>2</sup>	257,6	256,4	261,7	261,1	266,5	268,9	ГОСТ 3811-72
Водотривкість, мм вод. ст.	454	437	187	216	285	416	ДСТУ ГОСТ 3816-2009
Коефіцієнт втрати водотривкості, %	-	3,7	59,0	53,0	37,6	9,0	методом розрахунку
Розривальне навантаження, Н: за основою за утком	1328	993	763	746	1014	992	ISO 13934-1:2013
	903	885	757	736	750	873	
Коефіцієнт втрати міцності, %: за основою за утком	-	25,2	42,5	43,9	21,7	25,3	методом розрахунку
	-	2,0	16,1	18,5	16,8	3,26	
	-	-	-	-	-	-	

**Висновки:**

1. Модифікована тканина арт. 16сКВгл+ВО за фізико-механічними показниками перевищує показники існуючої нормативно-технічної документації.
2. Після опромінення у штучних лабораторних умовах та після експозиції у природних умовах різних регіонів України протягом п'яти місяців коефіцієнт втрати водотривкості в залежності від регіону становив від 9,0 до 59,0 %.
3. Необхідно провести додаткові дослідження для захисту тканини від дії ультрафіолетового випромінювання, що дозволить зменшити фотохімічну деструкцію волокон та підвищити механічну міцність матеріалу.

**Літератури**

1. Квалітологія швейного виробництва: термінологічний довідник. – К.: КНУТД, 2014. – 250 с.
2. Технічні умови ТУ У 25.1 – 00310143-086:2005 Намет уніфікований санітарно-барачний УСБ-56/2005. – [дійсні від 2005-05-31]. – Чернігів: ЗАТ ВТФ «Сіверянка», 2005. - 25 с.
3. Гидрофобные жидкости для стекла, кирпича, дерева и ткани. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://msh.manblan.ru/catalog/superfluids/smartprotectivecoating>.
4. Типи тканин для наметів. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Палатка>.
5. Сірко З.С. Гідрофобна композиція. Актуальні проблеми лісового сектору та садово-паркового господарства: матеріали науково-технічної

**References**

1. Kvalitolohiia shveinoho vyrobnytstva: terminolohichniy dovidnyk. (2014) [Qualitology of the sewing industry: terminology directory]. Kyiv, KNUTD, - 250 p, [in Ukraine]
2. Tekhnichni umovy TU U 25.1 – 00310143-086:2005 Namet unifikovanyi sanitarno-barachnyi USB-56/2005. diisni vid 2005-05-31 [Specifications: TU U 25.1 - 00310143-086: 2005 The unified tent sanitary-hives USB-56/2005. - valid from 2005-05-31] – Chernihiv: ZAT VTF «Siverianka», 2005. - 25 p. [in Ukraine]
3. Hidrofobnye zhidkosti dlia stekla, kirpicha, dereva i tkani. [Hydrophobic liquids for glass, bricks, wood and fabrics]. URL:<http://msh.manblan.ru/catalog/superfluids/smartprotectivecoating> [in Russian].
4. Typy tkanyn dlia nametiv. [Types of fabrics for tents]. URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/Palatka>.
5. Sirko Z.S. (2016) Hidrofobna kompozytsiia [Hydrophobic composition]. Aktualni problemy lisovoho sektoru ta sadovo-parkovoho hospodarstva:

конференції. – К.: НУБіП, 2016, С. 125-126.  
6. Сірко З.С., Грабовський О.В., Кучер С.М., Леонов Ю.Г., винахідники; заявник і патентовласник Український державний науково-дослідний інститут «Ресурс». Гідрофобна композиція. Патент №58458 Україна, МПК В27 N 7/00. № у 2010 11978; заявл. 11.10.2010; опубл. 11.04.2011, Бюл. № 7.  
7. Сірко З.С., Бобкова О.В., Грабовський О.В., винахідники; заявник і патентовласник Український державний науково-дослідний інститут «Ресурс». Вогнебіозахисний засіб. Патент №100803 Україна, МПК В27 К 3/00. № у 2015 01749; заявл. 27.02.2015; опубл. 10.08.2015, Бюл. № 15.  
8. Гідрофобизация тканей. [Электронный ресурс]. – Режим доступа. <http://8815-textile.well-chem.com.ua>.  
9. Саляхова М.А. Фотохимическая деструкция текстильных материалов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://msk/manblan.ru/catalog/superfluids/smartprotectivecoating>.  
10. Гришанова И.А., Абдулин И.Ш., Абуталипова Л.Н. Влияние ультрафиолетового излучения на прочность тканей/ И.А. Гришанова, – [Вестник Казанского технологического университета]. – вып. 2, 2013. – С. 102-104.

materialy naukovo-tekhnichnoi konferentsii - Current issues in the forest sector and landscape management: Materials of Sciences. Kyiv, NUBiP, 125-126 [in Ukraine]  
6. Sirko Z.S., Grabovsky O.V., Kurcher S.M., Leonov Yu.G., inventors; Ukrainian State Research Institute "Resurs", assignee (2011). Hidrofobna kompozycja [Hydrophobic composition]. Ukrainian patent no 58458, MPK V27 N 7/00. № u 2010 11978, stated 11.10.2010, published Apr 11, 2011, Bul. No 7. [in Ukraine]  
7. Sirko Z.S., Bobkova O.V., Grabovsky O.V., inventors; Ukrainian State Research Institute "Resurs", assignee (2015). Vohnebiozakhysnyi zasib [Firefighting agent]. Ukrainian patent no 100803 Ukraine, MPK V27 K 3/00, № u 2015 01749, stated Feb 27, 2015, published Aug 10, 2015, Bul. No 15. [in Ukraine]  
8. Gidrofobizatsiia tkanei [Hydrophobisation of tissues]. URL: <http://8815-textile.well-chem.com.ua> [in Ukraine].  
9. Salyahova M.A. Fotokhimicheskaiia destruktsiia tekstilnykh materialov [Photochemical destruction of textile materials]. URL: <http://msk/manblan.ru/catalog/superfluids/smartprotectivecoating> [in Russian].  
10. Hryshanova Y.A., Abdulin I.Sh., Abutalipova L.N., (2013) Vliianie ultrafioletovogo izlucheniia na prochnost tkanei [Influence of ultraviolet radiation on fabric strength] Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. vyp. 2, p. 102-104, [in Russian].

**SIRKO ZINOVII**

Z.Sirko@ukr.net

Department of wood products technology and Design  
National University of Life and Environmental  
Sciences of Ukraine

**KOTLYAROVA IRINA**

Senior Research Fellow AAIL "Textile - TEST"

<sup>3</sup>Kyiv national university of technology and design

**ZAPTALOV BORIS**

Manager,

Ukrainian state research institute «RESOURCE»

**STARISH YEVGENIY**

Head of Sector

Ukrainian state research institute «RESOURCE»

**TORCHILEVSKY DMITRO**

Researcher

Ukrainian state research institute «RESOURCE»

## РАЗРАБОТКА МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПАЛАТКИ УСБ-56 СИРКО З. С.<sup>1</sup>, ЗАПТАЛОВ Б. И.<sup>2</sup>, СТАРИШ Е. А.<sup>2</sup>, ТОРЧИЛЕВСКИЙ Д. П.<sup>2</sup>, КОТЛЯРОВА И. И.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

<sup>2</sup>Украинский государственный научно-исследовательский институт «Ресурс»

<sup>3</sup>Киевский национальный университет технологий и дизайна

**Цель.** Модификация палатки типа УСБ-56 с целью улучшения эксплуатационных характеристик и уменьшения себестоимости изготовления.

**Методика.** Во время исследования оценивались физико-механических свойств ткани арт. 16сКВгл+ВО: поверхностная плотность, разрывные характеристики водоупорность. Исследования проводились на исходных образцах, на образцах после экспонирования в природных условиях

различных районов Украины. Были использованы методики, регламентированные национальными и международными стандартами. Отбор образцов ткани проводили в соответствии с требованиями действующих нормативных документов. Испытания образцов ткани хлопчатобумажной арт. 16сКВгл + ВО проводили в аккредитованной аналитически-исследовательской испытательной лаборатории «АИИЛ» Киевского национального университета технологий и дизайна.

**Результаты.** Результаты испытаний показали, что по физико-механическим показателям модифицированная ткань арт. 16сКВгл+ВО соответствует требованиям нормативных документов, а по некоторым показателям превышает их (водоупорность, разрывная нагрузка по основе и утку). Вместе с тем, результаты испытаний проб образцов после экспонирования в природных условиях показали, что устойчивость к старению ткани зависит от района экспозиции, а результаты испытаний проб после облучения в лабораторных условиях с использованием ксеноновой дуговой лампы близки к результатам, полученным на пробах, которые экспонировались в Киевской области.

**Научная новизна.** На основе полученных результатов экспериментальных исследований свойств модифицированной ткани арт. 16сКВгл+ВО доказана целесообразность ее использования при изготовлении палаток типа УСБ-56. Определена зависимость величины коэффициента потери водоупорности ткани от региона, где ткань использовалась.

**Практическая значимость.** Рекомендации по улучшению эксплуатационных свойств палатки УСБ-56, которые будут положены в основу разработки нормативной документации на палатку.

**Ключевые слова:** палатка, конструкция, эксплуатация, водостойкость, светостойкость, испытания, физико-механические показатели.

## DEVELOPMENT OF THE MODIFIED TENT USB-56 SIRKO Z. S<sup>1</sup>., ZAPTALOV B. Y<sup>2</sup>., STARISH E. A<sup>2</sup>., TORCHILEVSKY D. P<sup>2</sup>., KOTLIAROVA I. I.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>National university of bioresources and natural resources of Ukraine

<sup>2</sup>Ukrainian state research institute «RESOURCE»

<sup>3</sup>Kyiv national university of technology and design

**Goal.** The purpose of the tent modification type USB-56 is improvements its exploitative characteristics and reduction the cost of its production.

**Method.** During the study of the physical and mechanical properties of the fabric, techniques were used to determine linear dimensions, linear and surface densities, to determine the breaking characteristics during stretching of the fabric, to determine the hygroscopic and water repellent properties of the tissue. All of the previously used methods are from the normative and technical documentations. The selection of samples of tissue was carried out in accordance with the requirements of normative documents.

**Results.** Tests of fabric samples of cotton were conducted in the accredited analytical and experimental testing laboratory of Kyiv National University of Technology and Design. The results of the tests showed that according to physical and mechanical parameters, modified fabric corresponds to the requirements of normative documentations, and according to some indicators exceeds them. However, the results of the tests after irradiation in laboratory conditions using the xenon arc lamp showed that, depending on the exposure area in the natural environment, the aging resistance decreased.

**Scientific novelty.** On the basis of the results of experimental studies of the properties of modified tissue of art. 16sKVgl + VO proved the expediency of its use for the manufacture of tents type USB-56. The dependence of the coefficient of loss of water resistance of the fabric on the region of use of the fabric is determined.

**Practical value.** Recommendations for enhancing the operational properties of the USB-56 tent will form the basis for the development of regulatory documentation for the tent.

**Key words:** tent, structure, operation, water resistance, light stability, tests, physical and mechanical parameters.

УДК 615.454.1:  
658.562.012.7

БАУЛА О. П., ПЩЕНКО О. В., ЧЕРКАС С. С.,  
БЕССАРАБОВ В. І., РЕСНИЦЬКИЙ І. В.

Київський національний університет технології та дизайну

## РОЗРОБКА ПІДХОДІВ ДО ФОРМУВАННЯ СТРАТЕГІЇ КОНТРОЛЮ ТРАНСДЕРМАЛЬНИХ ТЕРАПЕВТИЧНИХ СИСТЕМ

**Мета.** Розробити комплекс контрольних заходів та підходи до формування стратегії контролю лікарських засобів, які відносяться до трансдермальних терапевтичних систем (ТТС), для забезпечення їх функціональних, біофармацевтичних та фармако-технологічних характеристик.

**Методика.** Розробка комплексу контрольних заходів та формування стратегії контролю ТТС здійснювалась із застосуванням методики оцінки ризиків, яка включає ідентифікацію, аналіз та оцінювання ризиків, пов'язаних з особливостями механізмів вивільнення активних фармацевтичних інгредієнтів (АФІ) з лікарської форми, процесів проникнення АФІ через шкіру з урахуванням фізико-хімічних властивостей АФІ і полімерних матеріалів, критичних стадій технологічного процесу та показників якості готового лікарського засобу.

**Результати.** Розроблені підходи до формування стратегії контролю якості лікарських засобів у формі ТТС на підставі оцінки ризиків, що включають контроль фізико-хімічних характеристик АФІ, полімерних матеріалів та компонентів для формування ТТС, критичних параметрів в процесі виробництва, специфікації на готову продукцію, а також застосування відповідних методик та частоту проведення моніторингу і контролю.

**Наукова новизна.** Для лікарських засобів у формі ТТС вперше запропоновано комплексний підхід до розробки контрольних заходів, які мають застосовуватись при формуванні стратегії контролю на підставі оцінки ризиків для якості та сучасних нормативних вимог до виробництва та контролю якості.

**Практична значимість.** На підставі оцінки ризиків розроблені підходи до формування стратегії контролю лікарських засобів з трансдермальною доставкою діючих речовин, які можуть бути запроваджені при фармацевтичній розробці лікарських засобів у формі ТТС, реалізації технологічного процесу, контролю якості та визначенні стабільності, що дозволить надійно гарантувати якість препаратів протягом усіх етапів життєвого циклу.

**Ключові слова:** трансдермальні терапевтичні системи, ТТС, стратегія контролю, лікарські засоби, оцінка ризиків, полімери, контроль якості.

**Вступ.** ТТС сучасні лікарські форми з контрольованою доставкою АФІ до системного кровообігу крізь непошкоджену шкіру. На даному етапі лікарські засоби у формі ТТС входять до більшості фармако-терапевтичних груп і мають вагомні результати щодо ефективного та безпечного застосування у медичній практиці. Для фармацевтичного ринку України системи з трансдермальною доставкою АФІ це порівняно нові лікарських форм із даними Державного реєстру лікарських засобів України [1] для медичного застосування дозволені ТТС лише іноземного виробництва, а вітчизняні виробники мають ці лікарські форми у перспективних планах фармацевтичної розробки.

Зростаюча прихильність до застосування лікарських засобів у формах з трансдермальною доставкою АФІ пояснюється їх значними перевагами у порівнянні з оральними та парентеральними препаратами, які мають традиційні шляхи доставки діючих речовин до системного кровообігу. До вагомих переваг ТТС відноситься зручний та простий спосіб застосування для пацієнтів різних вікових груп від немовлят до людей похилого віку, які мають різні клінічні показання. Така лікарська форма характеризується легкістю застосування, відсутністю травматичних ефектів, низькою ймовірністю передозування, зниженням частоти прийому та простотою дотримання режиму прийому препарату. ТТС

забезпечують більш швидке надходження АФІ до системного кровотоку у порівнянні з препаратами орального застосування. За рахунок поступового і контрольованого вивільнення АФІ з ТТС забезпечується стабільна концентрація діючої речовини у плазмі крові протягом визначеного періоду часу. При виникненні будь-яких побічних реакціях лікарський засіб у формі ТТС може бути легко вилучений з організму людини [2- 4].

Зазначені переваги ТТС забезпечуються складною багатошаровою структурою лікарської форми, до якої входять бар'єрний шар, непроникний для АФІ, вкладиш-матриця, як резервуар із АФІ, адгезивний шар, що забезпечує контакт зі шкірою, та антиадгезивне захисне покриття, яке видаляється перед застосуванням [2, 4]. Якісні та кількісні характеристики кожної складової ТТС мають бути обґрунтовано розроблені і забезпечені при виробництві валідованими стадіями технологічного процесу з застосування обладнання, яке пройшло усі етапи кваліфікації.

Актуальним завданням для забезпечення якості ТТС є розробка стратегії контролю на усіх етапах життєвого циклу, які мають забезпечувати сталість складу АФІ, допоміжних речовин, лікарської форми, і переконливо гарантувати, що кожна одиниця препарату у кожній промисловій серії буде мати належну якість і відповідати встановленим специфікаціям якості, фармакологічним властивостям та відповідному рівню безпеки.

**Постановка завдання.** Для досягнення мети досліджень щодо розробки комплексу контрольних заходів та підходів до формування стратегії контролю лікарських засобів у формі ТТС для забезпечення їх функціональних, біофармацевтичних та фармако-технологічних характеристик необхідно провести ідентифікацію та аналіз ризиків на кожному етапі розробки, трансферу, технології виробництва, контролю якості та зберігання препаратів. На підставі аналізу ризиків розробити комплекс контрольних заходів щодо біофармацевтичних та фізико-хімічних характеристик АФІ, полімерних матеріалів, критичних стадій технологічного процесу виробництва, специфікацій якості готового лікарського засобу при випуску та терміну придатності, методик тестування, етапів та періодичності контролю.

**Результати дослідження.** Загальне оцінювання ризиків щодо якості ТТС показало, що ідентифікованими факторами небезпеки таких лікарських засобів є якісні, кількісні та біофармацевтичні характеристики АФІ, фізико-хімічні властивості і структура полімерних матеріалів та інших допоміжних речовин, функціональні параметри лікарської форми, критичні стадії технологічного процесу, контрольні параметри та допустимі межі специфікацій при випуску та для терміну придатності лікарського засобу.

При проведенні оцінювання ризику були визначені фактори небезпеки, які можуть бути викликані АФІ. Як показав проведений аналіз, всі лікарські засоби з трансдермальною системою доставки АФІ працюють за принципом пасивної дифузії [3, 5]. АФІ проникають через шкіру або слизову оболонку завдяки градієнту концентрації по обидва боки напівпроникною мембрани, в якості якої, в даному випадку, виступає шкіра або слизова. Саме тому, якісні, кількісні та фізико-хімічні характеристики АФІ у системах з трансдермальною доставкою мають бути віднесені до ідентифікованих ризиків та проведена їх оцінка. До ідентифікованих ризиків щодо якісних та кількісних характеристик АФІ були віднесені молекулярна будова з встановленням стереохімічних особливостей, молекулярна маса, яка має становити не більше 500 Да, профіль супутніх домішок, кількісний вміст в дозованій лікарській формі. Щодо фізико-хімічних властивостей АФІ, то ідентифіковані

ризиків становили: параметри ліофільності, що мають характеризувати перенесення АФІ через ліпофільний роговий шар шкіри та його проникнення до системного кровообігу і мати значення  $\log P = 1 - 3$ , показник константи кислотності, показники розчинності у полярних та неполярних розчинниках, кристалічні характеристики щодо форми та розмірів кристалів, поліморфізм, значення температури плавлення, запах, колір.

Відповідно до запропонованої стратегії контролю мінімізація ризиків, що пов'язані з встановленням молекулярної будови, молекулярної маси АФІ, ліофільності, показників константи кислотності, розчинності, дисперсності, поліморфних модифікацій, має проходити на етапі фармацевтичної розробки з застосування науково обґрунтованих підходів. Контроль якості АФІ при проведенні вхідного контролю має здійснюватись за специфікацією, до якої мають увійти показники щодо опису з зазначенням агрегатного стану, кольору та запаху АФІ, ідентифікації, випробувань на чистоту, включаючи визначення вмісту супутніх, технологічних домішок, залишкових розчинників, температури плавлення, кількісного вмісту, мікробіологічної чистоти. Для АФІ, які мають монографії у Державній Фармакопеї України (ДФУ), специфікації розробляються у відповідності до вимог цих монографій [6].

При формуванні стратегії контролю ТТС, особлива увага була приділена допоміжним речовинам, що використовуються у відповідних шарах ТТС, і від якісного та кількісного складу яких залежить ефективність та безпека лікарського засобу. До складу ТТС входять допоміжні речовини на основі поліфункціональних полімерів природного або синтетичного походження. При оцінюванні ризиків щодо цих допоміжних речовин, було встановлено, що неправильно підібраний склад полімерів може викликати подразнення шкіри, вплинути на кінетику вивільнення АФІ з системи, призвести до втрати ефективності препарату [5, 7]. При розробці стратегії контролю ТТС було запропоновано проводити вхідний контроль кожної допоміжної речовини за специфікацією, що відповідає вимогам ДФУ [8]. Крім того, на етапі фармацевтичної розробки при виборі полімерів мають бути проведені дослідження щодо гнучкості, міцності на розрив, пористості, хімічної інертності та відсутності взаємодії з АФІ й іншими компонентами препарату. Необхідно надати детальну інформацію про допоміжні речовини, що впливають на адгезивні властивості та ступінь проникнення, включаючи їх здатність забезпечувати очікувану функціональність лікарської форми та вплив стабільність показників якості готового лікарського засобу протягом терміну зберігання [7,9]. Для композицій та сумішей наповнювачів, клейових розчинів або суспензій повинні бути зазначені та охарактеризовані в'язко-пружні властивості. У стратегії контролю передбачаються заходи по перевірці захисних та антиадгезивних шарів, які при застосуванні видаляються, але становлять ризики для функціональних характеристик ТТС та мікробіологічної чистоти препаратів.

У стратегії контролю ТТС був запропонований комплекс заходів на етапі реалізації технологічного процесу виробництва. При оцінюванні ризиків була розроблена модельна схема технологічного процесу виробництва ТТС, яка включала наступні стадії: приготування розчину АФІ у воді для ін'єкцій; приготування полімерної основи для ТТС у відповідному розчиннику; змішування полімерної основи та АФІ; деаерація та фільтрування суміші; сушка ТТС; формування односторових форм ТТС; фіксація ТТС на бар'єрному покритті та нанесення антиадгезивного покриття, фасування у пакети; пакування у картонні коробки. Критичними аспектами технологічного процесу, що можуть становити високі ризики для

якості готового лікарського засобу, були визначені: приготування водного розчину АФІ відповідної концентрації, отримання полімерної основи, змішування полімерної основи з розчином АФІ, видалення залишкових розчинників, нанесення антиадгезивного покриття. Ці аспекти мають контролюватись під час технологічного процесу і знаходитись у межах простору проектних параметрів, які були запропоновані на етапі фармацевтичної розробки. Крім того, встановлені критичні стадії технологічного процесу мають пройти валідацію.

Особлива увага при формуванні стратегії контролю ТТС була приділена контролю лікарського засобу на етапі випуску серії готового препарату та протягом терміну придатності при визначенні стабільності. Проаналізувавши всі ризики, які були пов'язані з АФІ, допоміжними речовинами, технологічним процесом виробництва ТТС, та врахувавши вимоги до ТТС ДФУ [6] і рекомендації керівництва Європейської Агенції з лікарських засобів (European Medicines Agency (EMA)) щодо якості трансдермальних пластирів [10], нами було встановлено, що до специфікації якості для випуску серії препарату мають входити наступні показники: опис з зазначенням зовнішнього виду та розмірів ТТС та відсутності кристалів на поверхні, ідентифікація і кількісне визначення АФІ, супутні домішки, розчинення, адгезія, однорідність дозованих одиниць, однорідність вмісту діючої речовини в одиниці дозованого лікарського засобу, залишкові розчинники (за наявності їх використання у технологічному процесі), мікробіологічна чистота. До специфікації для терміну придатності лікарського засобу, яка буде застосовуватись у програмі досліджень стабільності, було запропоновано включити показники щодо опису, кількісного визначення АФІ, супутніх домішок, розчинення, адгезії, ступеня проникнення, мікробіологічної чистоти, тобто ті показники, які можуть змінюватись при зберіганні ТТС. Допустимі межі за зазначеними показниками встановлюються відповідно до вимог ДФУ [6, 8] та рекомендацій нормативного документу Настанова 42-3.2:2004 [11].

При проведенні тестування показників якості, зазначених у специфікаціях, мають застосовуватись методики з урахуванням специфічних особливостей ТТС та фармакопейних вимог [6, 8]. Для забезпечення функціональних характеристик ТТС мають проводитись фармако-технологічні випробовування, які мають суттєві відмінності у порівнянні з традиційними лікарськими формами. Для визначення швидкості та ступеня системної доставки АФІ з ТТС було запропоновано проводити випробовування розчинення як на етапі випуску серії, так і при визначенні стабільності препаратів з застосуванням приладу з лопаттю та екстракційної комірки для ТТС [8]. Комірка має утримувати випробовуваний зразок ТТС рівно, поверхнею вивільнення догори паралельно до нижньої частини лопаті. У якості середовищ розчинення можуть використовуватись вода очищена, 0,15 М розчин натрію хлориду, буферні розчини із значеннями рН 5 – 7 з допустимим відхиленням  $\pm 0,05$ . Об'єм середовища розчинення має складати не менше 500 мл, температура якого становить  $(32 \pm 0,5)^\circ\text{C}$ . Швидкість обертання лопоті  $100 \pm 5$  об/хв. Рекомендується використовувати трьох етапну схему відбору проб, як визначено у керівництві ЕМА [10]. На початковому етапі випробування контрольоване вивільнення АФІ з ТТС у середовище розчинення має бути у межах від 20% до 30% розчиненого АФІ, на другому етапі вивільнення має досягати близько 50% розчиненого АФІ і на завершальному етапі ступінь вивільнення має становити не менше 85% розчиненого АФІ, тобто, за фармакопейними вимогами  $Q = 80\%$ .

Крім контролю за швидкістю та ступенем вивільнення АФІ з ТТС у стратегії контролю запропоновано включити до програми дослідження стабільності випробування

щодо визначення ступеня проникнення АФІ через шкіру. Цей специфічний показник відображає термодинамічну активність АФІ у готовому лікарському засобу протягом терміну придатності і забезпечує ефективність ТТС. Випробування проводять відповідно до рекомендацій керівництва ЕМА [10] з використанням стандартизованої дифузійної камери, у якій міститься мембрана, що моделює властивості шкіри до проникнення, яка може бути виготовлена з натуральної шкіри людського, або тваринного походження, або на основі відповідних синтетичних полімерів. У якості рецепторного середовища, в якому буде здійснюватись дослідження проникнення АФІ через модельну мембрану, може бути рекомендований фосфатний або ацетатний буферний розчин з значенням рН 5,5 або 5,8. Температура поверхні моделюючої мембрани у дифузійній камері має підтримуватись на рівні температури близькій до фізіологічної температури шкіри людини і становити  $32\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Дифузю АФІ через модельну мембрану оцінюють, вимірюючи перехід діючої речовини у відділ рецепторного середовища шляхом визначення АФІ у послідовно зібраних пробах валідованою аналітичною методикою з застосуванням рідинної хроматографії або УФ-спектрофотометрії. Ступінь проникнення АФІ через модельну мембрану має бути не менше 85%.

Одним з визначальних факторів, що забезпечують високий ступінь проникнення АФІ через шкіру, є щільність прикріплення ТТС до шкіри, яку забезпечують речовини з адгезивними властивостями. Враховуючи високі ризики для якості та ефективності ТТС, що пов'язані з клейовими характеристиками, до стратегії контролю рекомендується включити випробування щодо визначення показників адгезії ТТС як на етапі випуску серії препарату, так і протягом терміну придатності. Випробування проводять шляхом вимірювання сили, яку необхідно прикласти для видалення прикріпленої ТТС з визначеної поверхні.

Було встановлено, що негативний вплив на показники адгезії та ступінь проникнення АФІ з ТТС мають залишкові розчинники, які можуть застосовуватись у технологічному процесі на стадії приготування полімерної основи [12, 13]. Крім контролю на стадії висушування ТТС під час технологічного процесу у стратегії контролю передбачається визначення встановлених допустимих меж залишкових розчинників у готовому лікарському засобу при випуску відповідно до вимог ДФУ [8, 11 – 13] та рекомендацій керівництва ЕМА [10].

Обов'язковим елементом при формуванні стратегії контролю має бути перевірка мікробіологічної чистоти ТТС як на етапі випуску серії, так і протягом терміну зберігання. Контроль проводять відповідно до загальної статті ДФУ «Випробування мікробіологічної чистоти нестерильних лікарських засобів (визначення загального числа життєздатних аеробних мікроорганізмів)» [8] з встановленими критеріями прийнятності щодо загального числа аеробних мікроорганізмів, яке має становити не більше 100 колоніє утворюючих одиниць (КУО)/г, та загального числа дріжджових та пліснявих грибів, яке має бути не більше 10 КУО/г. Також, має проводитись випробування на такі окремі види мікроорганізмів, як *Staphylococcus aureus* та *Pseudomonas aeruginosa*, які мають бути відсутні у ТТС, включаючи липкий шар та основу.

На підставі проведеної ідентифікації та аналізу ризиків була проведена оцінка ризиків якості шляхом їх оцінювання за 9-ти бальною шкалою, відповідно до якої оцінка 1-3 надавалась низькому рівню ризику якості, оцінка 4 – 6 — середньому рівню ризику якості, оцінка 7 – 9 — високому рівню ризику якості. Відповідно до проведеного оцінювання

ризиків був запропонований комплекс контрольних заходів та сформована стратегія контролю ТТС на етапах життєвого циклу лікарського засобу у формі ТТС, які представлені у табл. 1.

Таблиця 1.

**Стратегія контролю ТТС на етапах життєвого циклу лікарського засобу у формі ТТС**

Етапи життєвого циклу лікарського засобу	Об'єкти контролю	Оцінка ризиків якості	Контрольні заходи
<u>I. Етап</u> Фармацевтична розробка	АФІ	9	Контроль якісних, кількісних показників та фізико-хімічних характеристик. Контроль механічних, фізико-хімічних характеристик. Контроль фармако-технологічних параметрів. Моніторинг параметрів технологічного процесу та показників якості ТТС.
	Допоміжні речовини	8	
	Лікарська форма;	8	
	Технологічний процес	8	
<u>II. Етап</u> Трансфер технології	Технологічний процес	8	Контроль критичних показників якості (CQAS) та критичних параметрів процесу (CPPS). Контроль перших 3-х серій за показниками якості специфікації на момент випуску ТТС.
	Готовий лікарський засіб	7	
<u>III. Етап</u> Промислове виробництво	Вихідна сировини	5	Контроль АФІ та допоміжних речовин за специфікаціями виробника ТТС. Контроль первинної упаковки за показниками якості. Контроль вторинної упаковки та інструкції для медичного застосування на відповідність зазначеної інформації. Контроль критичних показників якості (CQAS) та критичних параметрів процесу (CPPS). Контроль кожної серії за показниками якості специфікації на момент випуску ТТС.
	Вихідні матеріали	3	
	Технологічний процес	7	
	Готовий лікарський засіб на момент випуску	6	
<u>IV. Етап</u> Зняття з виробництва	Готовий лікарський засіб протягом терміну придатності	5	Контроль відповідно до програми стабільності за показниками якості специфікації для терміну придатності

**Висновки.** На підставі оцінки ризиків розроблено комплекс контрольних заходів та підходи до формування стратегії контролю ТТС, яка є невід'ємним елементом у системі забезпечення якості, ефективності та безпеки лікарських засобів на їх основі. Комплекс заходів запропонованої стратегії контролю ТТС, який включає поетапний контроль фізико-хімічних характеристик АФІ, полімерних матеріалів та компонентів для формування ТТС, критичних параметрів в процесі виробництва, специфікації на готову продукцію при випуску серій та протягом терміну придатності, застосування відповідних методик випробувань, може бути впровадженим на фармацевтичному підприємстві по виробництву ТТС і надійно

гарантувати сталість функціональних характеристик технологічного процесу та якість продукції.

### Література

1. Державний реєстр лікарських засобів України [Електронний ресурс] // URL: [www.drlz.kiev.ua](http://www.drlz.kiev.ua).
2. Thin films as an emerging platform for drug delivery / Sandeep Karki, Hyeongmin Kim, Seon-JeongNa, Dohyun Shin, Kanghee Jo, Jaehwi Lee // Asian journal of pharmaceutical sciences. – 2016. – № 11. – p. 559 – 574.
3. Polymers in Transdermal Drug Delivery Systems / Sateesh Kandavilli, Vinod Nair, and Ramesh Panchagnula // Pharmaceutical Technology journal. – 2002. – № 3. – p. 62 – 80.
4. Transdermal Drug Delivery: Innovative Pharmaceutical Developments Based on Disruption of the Barrier Properties of the stratum corneum / Ahlam Zaid Alkilani, MaeliosaT.C. McCrudden and Ryan F.Donnelly // Pharmaceutics journal. – 2015. – № 7(4). – p. 438-470.
5. Adhesive properties: a critical issue in transdermal patch development / Francesco Cilurzo, Chiara G M Gennari& Paola Minghetti // Expert Opinion on Drug Delivery. Journal. – 2017. – № 28. – p. 33-45.
6. Державна Фармакопея України [Текст] / Державне підприємство «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів». — 2-е вид. — Доповнення 1. — Харків: Державне підприємство «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів», 2016. — Т. 1 — с. 1113 - 1114.
7. SCCS (Scientific Committee on Consumer Safety) [Online] : Basic criteria for the in vitro assessment of dermal absorption of cosmetic ingredients / Scientific Committee on Consumer Safety (SCCS), European Commission, Health&Consumers Directorate // Directive SCCS/1358/10. – 2010. – p. 5-12. – Available from: URL: [https://ec.europa.eu/health/scientific\\_committees/consumer\\_safety/docs/sccs\\_s\\_002.pdf](https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/consumer_safety/docs/sccs_s_002.pdf).
8. Державна Фармакопея України [Текст] / Державне підприємство «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів». — 2-е вид. — Доповнення 1. — Харків: Державне підприємство «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів», 2016.
9. АПТЕКА.ua [Електронний ресурс] : Контроль качества лекарственных средств в Украине: подводя итоги и заглядывая в будущее / Приходько Е. // Еженедельник АПТЕКА. – 2011. – №8 (779). – Режим доступа до журн.:

### References

1. Derzhavnyi reiestr likarskykh zasobiv Ukrainy [Online] // URL: [www.drlz.kiev.ua](http://www.drlz.kiev.ua) [in Ukrainian].
2. Thin films as an emerging platform for drug delivery / Sandeep Karki, Hyeongmin Kim, Seon-JeongNa, Dohyun Shin, Kanghee Jo, Jaehwi Lee. // Asian journal of pharmaceutical sciences. – 2016. – № 11. – p. 559 – 574.
3. Polymers in Transdermal Drug Delivery Systems / Sateesh Kandavilli, Vinod Nair, and Ramesh Panchagnula. //Pharmaceutical Technology journal. – 2002. – № 3. – p. 62 – 80.
4. Transdermal Drug Delivery: Innovative Pharmaceutical Developments Based on Disruption of the Barrier Properties of the stratum corneum / Ahlam Zaid Alkilani, MaeliosaT.C.McCrudden and Ryan F.Donnelly. // Pharmaceutics journal. – 2015. – № 7(4). – p. 438-470.
5. Adhesive properties: a critical issue in transdermal patch development / Francesco Cilurzo, Chiara G M Gennari& Paola Minghetti // Expert Opinion on Drug Delivery. Journal. – 2017. – № 28. – p. 33-45.
6. Derzhavna Farmakopeia Ukrainy [Online] / Derzhavne pidpriemstvo «Ukrainskyi naukovyi farmakopeinyit sentry akosti likarskykh zasobiv». — 2-d ed. — Add. 1. — Kharkiv: Derzhavne pidpriemstvo «Ukrainskyi naukovyi farmakopeinyit sentry akosti likarskykh zasobiv», 2016. – Vol. 1 – p. 1113 - 1114 [in Ukrainian].
7. SCCS (Scientific Committee on Consumer Safety) [Online] : Basic criteria for the in vitro assessment of dermal absorption of cosmetic ingredients / Scientific Committee on Consumer Safety (SCCS), European Commission, Health&Consumers Directorate // Directive SCCS/1358/10. – 2010. – p. 5-12. – Available from: URL:[https://ec.europa.eu/health/scientific\\_committees/consumer\\_safety/docs/sccs\\_s\\_002.pdf](https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/consumer_safety/docs/sccs_s_002.pdf).
8. Derzhavna Farmakopeia Ukrainy [Online] / Derzhavne pidpriemstvo «Ukrainskyi naukovyi farmakopeinyit sentry akosti likarskykh zasobiv». — 2-ded. — Add. 1. — Kharkiv: Derzhavne pidpriemstvo «Ukrainskyi naukovyi farmakopeiny itsentry akosti likarskykh zasobiv», 2016 [in Ukrainian].
9. АПТЕКА.ua [Online] : Kontrol' kachestva lekarstvennykh sredstv v Ukraine: podvodya itogi i zaglyadyvaya v budushchee / Prikhod'ko E. // Ezhenedel'nika АПТЕКА.– 2011. – №8 (779). – Available from: URL: <https://www.apteka.ua/article/73840> [in Ukrainian].

<https://www.apteka.ua/article/73840> .

10. Committee for Medicinal Products for Human Use (CHMP) [Online] : Guideline on quality of transdermal patches / Committee for Medicinal Products for Human Use (CHMP) // EMA/CHMP/QWP/608924/2014/ – 2014. – Available from: URL: [https://www.ema.europa.eu/documents/scientific-guideline/guideline-quality-transdermal-patches\\_en.pdf](https://www.ema.europa.eu/documents/scientific-guideline/guideline-quality-transdermal-patches_en.pdf) .

11. СТ-Н МОЗУ Настанова 42-3.2:2004 : Настанови з якості. Лікарські засоби. Специфікації: контрольні випробування та критерії прийнятності. – К. : Міністерство охорони здоров'я України, 2004. – с. 39.

12. ICH site [Online] : ICH HARMONISED GUIDELINE «Impurities: Guideline for Residual Solvents Q3C (R6)» / ICH Expert Working Group // ICH Harmonised Guideline– Current Step 4 version. – 2016. – Available from: URL: [https://www.ich.org/fileadmin/Public\\_Web\\_Site/ICH\\_Products/Guidelines/Quality/Q3C/Q3C\\_R6\\_Step\\_4.pdf](https://www.ich.org/fileadmin/Public_Web_Site/ICH_Products/Guidelines/Quality/Q3C/Q3C_R6_Step_4.pdf) .

13. ICH site [Online]: ICH HARMONISED TRIPARTITE GUIDELINE «Impurities in New Drug Products Q3B (R2)» / ICH Expert Working Group // ICH Harmonised Guideline– Current Step 4 version. – 2006. – Available from: URL: [https://www.ich.org/fileadmin/Public\\_Web\\_Site/ICH\\_Products/Guidelines/Quality/Q3B\\_R2/Step4/Q3B\\_R2\\_Guideline.pdf](https://www.ich.org/fileadmin/Public_Web_Site/ICH_Products/Guidelines/Quality/Q3B_R2/Step4/Q3B_R2_Guideline.pdf) .

10. Committee for Medicinal Products for Human Use (CHMP) [Online] : Guideline on quality of transdermal patches / Committee for Medicinal Products for Human Use (CHMP) // EMA/CHMP/QWP/608924/2014/ – 2014. – Available from: URL: [https://www.ema.europa.eu/documents/scientific-guideline/guideline-quality-transdermal-patches\\_en.pdf](https://www.ema.europa.eu/documents/scientific-guideline/guideline-quality-transdermal-patches_en.pdf) .

11. ST-N MOZU Nastanova 42-3.2:2004 : Nastanovy z yakosti. Likarskizasoby. Spetsyfikatsii: kontrolni vyprobuvannia ta kryterii pryiniatnosti. – K. : Ministerstvo okhorony zdorov'ia Ukrainy, 2004. – p. 39 [in Ukrainian].

12. ICH site [Online] : ICH HARMONISED GUIDELINE «Impurities: Guideline for Residual Solvents Q3C (R6)» / ICH Expert Working Group // ICH Harmonised Guideline– Current Step 4 version. – 2016. – Available from: URL: [https://www.ich.org/fileadmin/Public\\_Web\\_Site/ICH\\_Products/Guidelines/Quality/Q3C/Q3C\\_R6\\_Step\\_4.pdf](https://www.ich.org/fileadmin/Public_Web_Site/ICH_Products/Guidelines/Quality/Q3C/Q3C_R6_Step_4.pdf) .

13. ICH site [Online]: ICH HARMONISED TRIPARTITE GUIDELINE «Impurities in New Drug Products Q3B (R2)» / ICH Expert Working Group // ICH Harmonised Guideline– Current Step 4 version. – 2006. – Available from: URL: [https://www.ich.org/fileadmin/Public\\_Web\\_Site/ICH\\_Products/Guidelines/Quality/Q3B\\_R2/Step4/Q3B\\_R2\\_Guideline.pdf](https://www.ich.org/fileadmin/Public_Web_Site/ICH_Products/Guidelines/Quality/Q3B_R2/Step4/Q3B_R2_Guideline.pdf) .

**BESSARABOV VOLODYMYR**

[bessarabov.vi@knuud.com.ua](mailto:bessarabov.vi@knuud.com.ua)

ResearcherID: D-3425-2017

ORCID: [orcid.org/0000-0003-0637-1729](https://orcid.org/0000-0003-0637-1729)

Kyiv National University of Technologies and Design

**ISHCHENKO O.**

[e\\_ishchenko5@gmail.com](mailto:e_ishchenko5@gmail.com)

ResearcherID: G-3045-2018

ORCID: [orcid.org/0000-0002-9510-6005](https://orcid.org/0000-0002-9510-6005)

Kyiv National University of Technologies and Design

**BAULA OLHA**

[baula.op@knuud.com.ua](mailto:baula.op@knuud.com.ua)

ResearcherID: 57193357927

ORCID: [orcid.org/0000-0003-4305-6517](https://orcid.org/0000-0003-4305-6517) Kyiv

National University of Technologies and Design

**RESNYTSKYI I.**

[ilya9res@gmail.com](mailto:ilya9res@gmail.com)

ORCID: [orcid.org/0000-0003-4376-0811](https://orcid.org/0000-0003-4376-0811)

Kyiv National University of Technologies and Design

**CHERKAS S.**

[cherkas\\_0-9@ukr.net](mailto:cherkas_0-9@ukr.net)

Kyiv National University of Technologies and Design

**РАЗРАБОТКА ПОДХОДОВ К ФОРМИРОВАНИЮ СТРАТЕГИИ КОНТРОЛЯ  
ТРАНСДЕРМАЛЬНЫХ ТЕРАПЕВТИЧЕСКИХ СИСТЕМ  
БАУЛА О. П., ИЩЕНКО О. В., ЧЕРКАС С. С., БЕССАРАБОВ В. И.,  
РЕСНИЦЬКИЙ И. В.**

*Київський національний університет технологій і дизайну*

**Цель.** Разработка комплекса контрольных параметров необходимых для формирования стратегии контроля лекарственных препаратов, которые относятся к трансдермальным терапевтическим системам (ТТС), для обеспечения их функциональных, биофармацевтических и фармако-технологических характеристик.

**Методика.** Комплекс контрольных параметров стадий технологического процесса и показателей качества для ТТС разрабатывался с применением методики оценки рисков, которая включает идентификацию, анализ и оценка рисков, связанных с механизмом высвобождения активных фармацевтических ингредиентов (АФИ) из лекарственной формы, процессов проникновения АФИ через кожу с учетом физико-химических свойств АФИ и полимерных материалов.

**Результаты.** Разработанные подходы к формированию стратегии контроля качества лекарственных средств в форме ТТС на основании оценки рисков, включающих контроль физико-химических характеристик АФИ, полимерных материалов и компонентов для формирования ТТС, критических параметров в процессе производства, спецификации на готовую продукцию, а также применение соответствующих методик и частоту мониторинга и контроля.

**Научная новизна.** Для лекарственных средств, в форме ТТС впервые разрабатывается комплекс контрольных параметров, которые должны применяться при формировании стратегии контроля, ссылаясь на оценку рисков для качества и современных нормативных требований.

**Практическая значимость.** Подходы к формированию стратегии контроля ТТС могут использоваться при фармацевтической разработке ТТС, реализации технологического процесса, контроля качества и определения стабильности, что позволит надежно гарантировать качество препаратов в течение их жизненного цикла.

**Ключевые слова:** трансдермальные терапевтические системы, ТТС, стратегия контроля, лекарственные средства, оценка рисков, полимеры, контроль качества.

## DEVELOPMENT OF APPROACHES TO THE FORMATION OF THE STRATEGY FOR CONTROL OF TRANSDERMAL THERAPEUTIC SYSTEMS

BAULA O. P., ISHCHEKNO O. V., CHERKAS S. S., BESSARABOV V. I., RESNYTSKYI I. V.

Kyiv National University of Technology and Design

**Purpose.** Development of a set of control parameters that are necessary for the formation of a control strategy for drugs related to transdermal therapeutic systems (TTS).

**Methodology.** The complex of control parameters for the transdermal therapeutic systems was developed using the methodology of risk assessment. This includes the identification, analysis of risks associated with the mechanism of release of active pharmaceutical ingredients (APIs) from the dosage form, the penetration of APIs through the skin, taking into account the physical and chemical properties of APIs and polymeric materials.

**Findings.** There were developed approaches to the formation of a drug quality control strategy in the form of transdermal therapeutic systems. They are based on a risk assessment that includes monitoring the physical and chemical characteristics of pharmaceutical ingredients, polymer materials and components for the formation of transdermal therapeutic systems, critical parameters in the production process, specifications for finished products, as well as the application of appropriate techniques and the frequency of monitoring and control.

**Originality.** A set of control parameters for the formation of the quality control strategy was proposed for the transdermal therapeutic systems.

**Practical value.** Approaches to the formation of the transdermal therapeutic systems control strategy can be used in the pharmaceutical development of the transdermal therapeutic systems, the implementation of the technological process, quality control and the determination of stability. This will reliably guarantee the quality of drugs during their life cycle.

**Key words:** transdermal therapeutic systems, TTS, strategy for control, medicines, risk assessment, polymers, quality control.

УДК 577.151.042

КИСЛОВА О. В.

Київський національний університет технологій та дизайну

## ІНГІБУВАННЯ АМІДАМИ ЗАМІЩЕНИХ БЕНЗОЙНИХ КИСЛОТ ЦИТОПЛАЗМАТИЧНОЇ АЛКОГОЛЬДЕГІДРОГЕНАЗИ НЕЧІНКИ ЩУРІВ

**Мета.** Дослідити вплив амідів заміщених бензойних кислот на активність  $NAD^+$ -залежної алкогольдегідрогенази в умовах *in vitro*, з'ясувати зв'язок між структурою сполук та їх впливом на швидкість ферментативної реакції, а також кінетику взаємодії ефективних інгібіторів з ферментом та механізм інгібування.

**Методика.** Дослідження проводили з використанням цитоплазматичної алкогольдегідрогенази печінки щурів, яку отримували методом диференціального центрифугування. Активність фермента визначали спектрофотометричним методом. Для вивчення кінетичного характеру взаємодії ферменту з інгібіторами використовували розчини амідів заміщених бензойних кислот в диметилацетаміді в концентраціях 12,5-100 мкМ. Отримані дані представляли в координатах подвійних обернених величин за методами Lineweaver-Burk та Yoshino-Murakami.

**Результати.** Досліджені аміди заміщених бензойних кислот є інгібіторами цитоплазматичної алкогольдегідрогенази. Серед досліджених сполук найбільш ефективно пригнічує активність фермента 2,4-дихлор-5-метилбензамід (на 60%). Він виявляє змішаний характер інгібування по відношенню до етанолу при насичуючих концентраціях  $NAD^+$ . Поглиблене вивчення даного процесу показало, що при низьких концентраціях етанолу (до 2 мМ) амід знижує активність ферменту за неконкурентним типом з константою інгібування 35 мкМ. При збільшенні концентрації спирту характер інгібування змінюється на безконкурентний.

**Наукова новизна.** Серед амідів заміщених бензойних кислот виявлено ефективний інгібітор активності алкогольдегідрогенази - 2,4-дихлор-5-метилбензамід.

**Практична значимість.** Інгібітор активності алкогольдегідрогенази 2,4-дихлор-5-метилбензамід може бути використаний як потенційний антидот при отруєннях токсичними спиртами для запобігання утворенню більш токсичних продуктів їх біотрансформації.

**Ключові слова:** аміди заміщених бензойних кислот, антидот, алкогольдегідрогеназа, інгібітор, активність фермента.

**Вступ.** Біотрансформація токсичних спиртів (метанолу, хлоретанолу, бутандіолу, аллілового спирту, етиленгліколю та його ефірів та ін.) відбувається за участю цитоплазматичної алкогольдегідрогенази (АДГ, ЕС 1.1.1.1), яка каталізує перетворення спиртів в альдегіди з використанням кофактора  $NAD^+$ . Подальше окиснення альдегідів з утворенням відповідних кислот каталізує альдегіддегідрогеназа (АльДГ). Альтернативні системи метаболізму спиртів (мікросомальна етанолокиснююча система (МЕОС), каталазноксантиноксдазна) не відіграють суттєвої ролі в біотрансформації зазначених спиртів в умовах важких інтоксикацій ними [1,2].

Ефективними засобами антидотної терапії гострих отруєнь спиртами є інгібітори АДГ, які запобігають утворенню високотоксичних альдегідів та сприяють виведенню отруйних спиртів в незмінному вигляді. Нині відома значна кількість сполук, здатних пригнічувати активність АДГ. Це похідні піразолів, амідів, сульфоксидів, оксимів. Дія ряду інгібіторів обумовлена блокадою каталітично активного цинку, що входить до складу активного центра фермента, інших - зв'язуванням тіолових груп [3].

Сучасні методи антидотної терапії отруєнь спиртами, які метаболізують в організмі з утворенням токсичних альдегідів, поєднують застосування інгібіторів АДГ (4-метилпіразолу, аміду ізовалеріанової кислоти, бензаміду) та введення етанолу, який має високу

спорідненість до АДГ. Це призводить до зменшення утворення метаболітів і сприяє виведенню токсичних спиртів з організму в незміненому вигляді [1]. Якщо токсичність спиртів обумовлена їх кислотними метаболітами, підвищення ефективності антидотної терапії може бути досягнуто поєднанням інгібіторів АДГ та АльДГ [3]. Тому перспективним напрямком є пошук нових ефективних інгібіторів активності ферментів окиснення спирів, які виявляють більшу специфічність і нижчу токсичність.

**Постановка завдання.** Дослідити в умовах *in vitro* вплив амідів заміщених бензойних кислот на активність  $\text{NAD}^+$ -залежної АДГ та кінетику їх взаємодії, механізм інгібування, з'ясувати зв'язок між хімічною будовою сполук та її впливом на швидкість протікання ферментативної реакції.

**Матеріали та методи дослідження.** Для роботи були використані наступні реактиви:  $\text{NAD}^+$  («Sigma», США), сироватковий альбумін людини («Reanal», Угорщина). Інші реагенти були вітчизняного виробництва. Досліджувані амід заміщених бензойних кислот були синтезовані в Інституті біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України.

Цитоплазматичну фракцію печінки безпородних білих щурів отримували методом диференціального центрифугування при 105000 g та температурі 4°C. Концентрацію білка визначали методом прямого спектрофотометрування та розраховували за формулою  $C(\text{мг/мл}) = 1,46E_{280} - 0,74E_{260}$  [4]. Швидкість прямої АДГ-реакції визначали спектрофотометричним методом на приладі "Beckman DU-6" (США) при довжині хвилі 340 нм і виражали в нмоль  $\text{NADH}/(\text{мг білка} \cdot \text{хв})$  [5]. Реакційна суміш містила 0,1 М Na-фосфатний буфер (pH = 7,3); 0,040 М  $\text{KCl}$ ; 500 мкг білка; 0,5 мМ  $\text{NAD}^+$ ; 1-5 мМ етанолу. Для вивчення кінетики взаємодії ферменту з інгібітором в аналізовану суміш вносили розчини речовин в концентраціях 12,5-100 мкМ і преінкубували протягом 5 хв. Реакцію починали додаванням субстрату.

**Результати дослідження.** Перспективним напрямком удосконалення антидотної терапії при інтоксикаціях токсичними спиртами є використання специфічних інгібіторів АДГ, зокрема амідів бензойних кислот. В роботі було досліджено вплив ряду амідів заміщених бензойних кислот на активність  $\text{NAD}^+$ -залежної цитоплазматичної АДГ печінки щурів: 2- та 4-хлорбензаміди, 2,4-дихлорбензамід, 2,4-дихлор-5-метилбензамід (рис. 1).

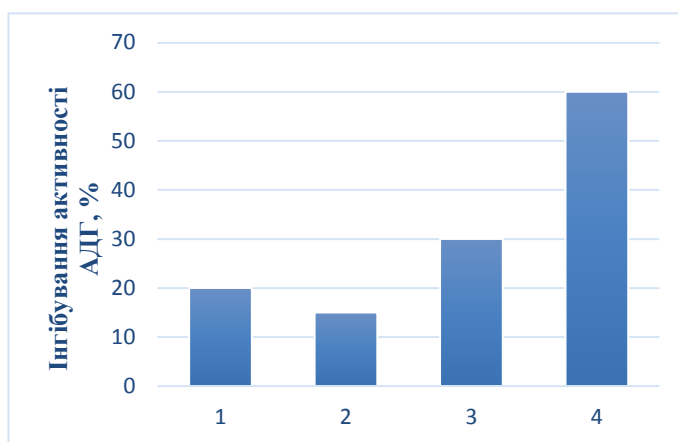


Рис. 1. Інгібування активності АДГ амідами заміщених бензойних кислот в концентрації 100 мкМ: 1) 2-хлорбензамід, 2) 4-хлорбензамід, 3) 2,4-дихлорбензамід, 4) 2,4-дихлор-5-метилбензамід

Проведені дослідження показали, що монозаміщені бензаміди пригнічували швидкість реакції тільки на 15-20%, наявність двох залишків хлору в структурі сполук підвищувало ступінь інгібування активності ферменту до 30%. Введення додаткової метильної групи в молекулу 2,4-дихлор-5-метилбензаміду збільшувало цей ефект до 60%. Загалом можна стверджувати, що електронні фактори суттєво не впливають на здатність досліджуваних сполук інгібувати активність ферменту. Електронна густина бензольного ядра незначно зменшується при введенні залишків хлору в орто- та пара- положення, тоді як наявність метильної групи в мета-положенні призводить до незначного збільшення електронної густини. Можливо, більш вагомим для стабілізації третинних комплексів є вплив гідрофобних факторів.

Подальші дослідження проводили з використанням 2,4-дихлор-5-метилбензаміду. Ця сполука оборотно взаємодіє з ферментом, оскільки спостерігається стабілізація активності АДГ в процесі преінкубації з інгібітором в стані рівноваги. З точки зору ферментативної кінетики реакція окиснення спиртів, яка каталізується АДГ, є двохсубстратною (спирт і  $\text{NAD}^+$ ) і відбувається за впорядкованим Бі-Бі механізмом. Приєднання  $\text{NAD}^+$  призводить до зміни конформації ферменту і сприяє подальшому зв'язуванню спирту [6].

Вплив 2,4-дихлор-5-метилбензаміду на швидкість ферментативної реакції визначали при постійній концентрації  $\text{NAD}^+$  і різних концентраціях етанолу. Отримані дані представляли в координатах подвійних обернених величин за методом *Lineweaver-Burk* [7]. Інгібування швидкості АДГ-реакції різними концентраціями сполуки при зміні концентрації етанолу виявило змішаний характер (рис.2).

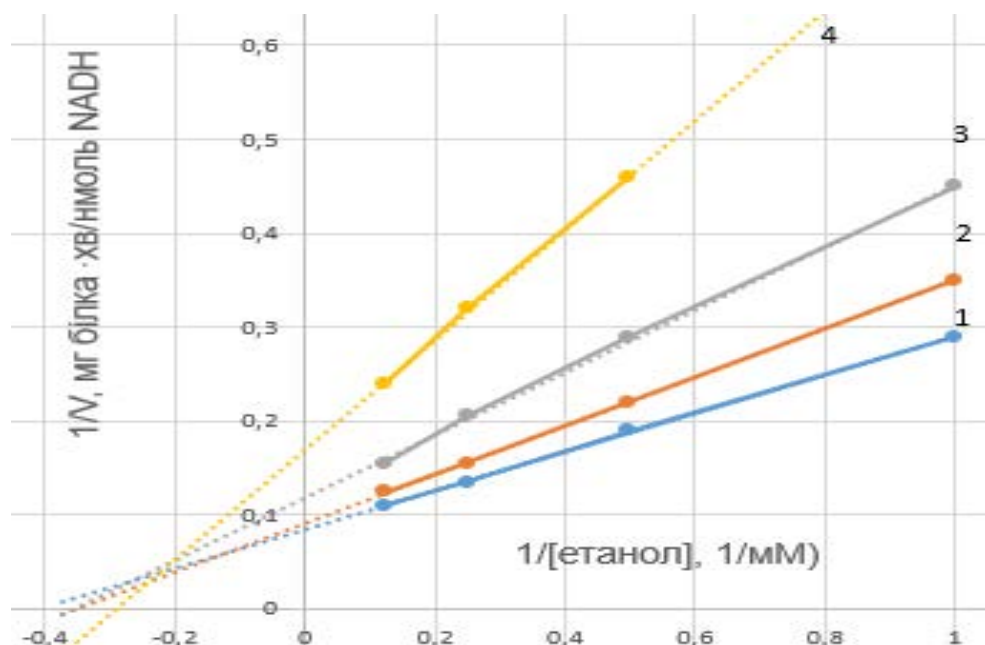


Рис.2. Залежність швидкості АДГ реакції від концентрації етанолу в присутності 2,4-дихлор-5-метилбензаміду в концентраціях 0, 25, 50, 75 мкМ для прямих 1-4 відповідно при насичуючих концентраціях  $\text{NAD}^+$

Для безпосереднього визначення константи інгібування та поглибленого аналізу механізму взаємодії ферменту з інгібітором використали графічний метод Yoshino та Murakami [8] (рис.3). Графіки залежності  $(V-v)/v$  від концентрації інгібітора при низьких

значеннях концентрації спирту 1 мМ та 2 мМ виявляють неконкурентний характер з уявною константою інгібування 35 мкМ (прямі 1 та 2 на рис.3).

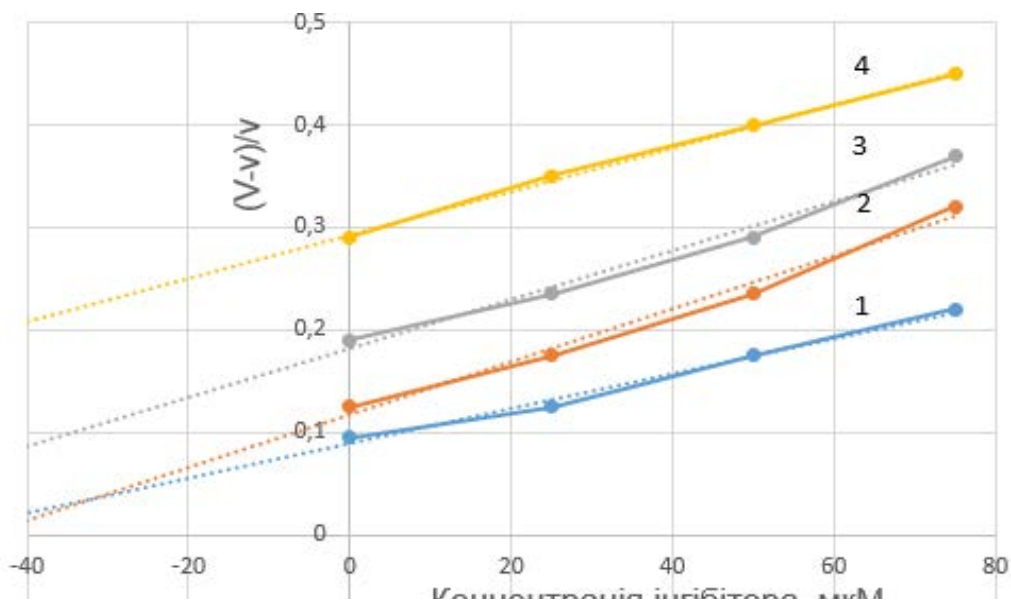


Рис. 3. Залежність швидкості АДГ реакції від концентрації 2,4-дихлор-5-метилбензаміду при концентраціях етанолу 1, 2, 4, 8 мМ для прямих 1-4 відповідно при насичуючих концентраціях  $NAD^+$

При неконкурентному інгібуванні ферментативної реакції інгібітор взаємодіє з ферментом на ділянці, яка не є активним центром. Він може зв'язуватися або з ферментом, або з фермент-субстратним комплексом, утворюючи неактивний комплекс.

Приєднання неконкурентного інгібітора змінює конформацію молекули ферменту таким чином, що порушується взаємодія субстрату з активним центром ферменту. При підвищенні концентрації спирту характер інгібування змінюється на безконкурентний (прямі 3 та 4 на рис.3): інгібітор зв'язується в активному центрі з фермент-субстратним комплексом. Збільшення концентрації субстрату призводить до зростання концентрації фермент-субстратного комплексу, а також посилює зв'язування інгібітора з ним [9].

**Висновок.** Проведені дослідження показали, що введення кількох замісників в ароматичне кільце амідів підвищує їх інгібуючу здатність та обумовлює більш складний характер взаємодії амідів заміснених бензойних кислот з цитоплазматичною АДГ. Серед досліджених сполук ефективним оборотним інгібітором АДГ є 2,4-дихлор-5-метилбензамід, який в умовах *in vitro* пригнічує активність фермента на 60%. Він виявляє змішаний характер інгібування по відношенню до спирту при насичуючих концентраціях  $NAD^+$ . При низьких концентраціях етанолу (до 2 мМ) амід знижує активність ферменту за неконкурентним типом з константою інгібування 35 мкМ. При збільшенні концентрації спирту характер інгібування змінюється на безконкурентний. Необхідне подальше глибоке дослідження 2,4-дихлор-5-метилбензаміду в умовах *in vivo* як перспективного засобу фармакотерапії для застосування в комплексній терапії гострих отруєнь спиртами.

### Література

1. Lee S. Oxidation of methanol, ethylene glycol, and isopropanol with human alcohol dehydrogenases and the inhibition by ethanol and 4-methylpyrazole / S.Lee, H.Shih, Y.Chi et al. // *Chem.-Biol. Interactions* – 2011. – Vol.191, 1-3. – P.26-31.
2. Dawidek-Pietryka K. Effect of some ADH inhibitors on microsomal alcohol oxidizing system activity in vitro / K.Dawidek-Pietryka, J.Dudka // *Rocz. Panstw. Zakl. Hig.* – 2001. –Vol.52(4). – P.337-345.
3. Marraffa J. Antidotes for Toxicological Emergencies / J.Marraffa, V.Cohen, M.Howland // *Am. J. Health Syst. Pharm.* – 2012. – Vol.69(3). – P.199-212.
4. Okutucu B. Comparison of five methods for determination of total plasma protein concentration / B.Okutucu, A.Dincer, O.Habib, F.Zihnioglu // *J. Of Biochem. And Biophys. Methods.* – 2007.–Vol. 70, Issue 5.– P. 709-711.
5. Walker JRL. Spectrophotometric determination of enzyme activity: alcohol dehydrogenase (ADH) / JRL.Walker // *Biochemical Education.* – 1992. – Vol. 20, Issue 1.– P. 42-43.
6. Aslan H. Phenolic compounds: The inhibition effect on polyol pathway enzymes / H.Aslan, Ş.Beydemir // *Chemico-Biological Interactions.* – 2017. – Vol.266. – P. 47-55.
7. N. Bhagavan, C.-E. Ha. Essentials of medical biochemistry. – 2011. – P. 47-58.
8. Yoshino M. A graphical method for determining inhibition constants / M.Yoshino, K. Murakami// *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry.* – 2009. – Vol. 24(6). – P.1288–1290.
9. Piapp B. Uncompetitive Inhibitors of Alcohol Dehydrogenases / B.Piapp, V.Chadha, K.Leidal et al. // *Enzymology and Molecular Biology of Carbonyl Metabolism.* – 1999. – P. 295-303.

### References

1. Lee S., Shih H., Chi Y. et al. (2011). Oxidation of methanol, ethylene glycol, and isopropanol with human alcohol dehydrogenases and the inhibition by ethanol and 4-methylpyrazole. *Chem.-Biol. Interactions*, 191, 1-3, 26-31.
2. Dawidek-Pietryka K., Dudka J. (2001). Effect of some ADH inhibitors on microsomal alcohol oxidizing system activity in vitro. *Rocz.Panstw.Zakl.Hig.*, 52(4), 337-345.
3. Marraffa J., Cohen V., Howland M. (2012). Antidotes for Toxicological Emergencies. *Am. J. Health Syst. Pharm.*, 69(3), 199-212.
4. Okutucu B., Dincer A., Habib O., Zihnioglu F. (2007). Comparison of five methods for determination of total plasma protein concentration. *J. of Biochem. and Biophys. Methods*, 70(5), 709-711.
5. Walker JRL. (1992). Spectro-photometric determination of enzyme activity: alcohol dehydrogenase (ADH). *Biochemical Education*, 20 (1), 42-43.
6. Aslan H., Beydemir S. (2017). Phenolic compounds: The inhibition effect on polyol pathway enzymes. *Chemico-Biological Interactions*, 266; 47-55.
7. Bhagavan N., Ha C.-E. (2011). Essentials of medical biochemistry. 47-58.
8. Yoshino M., Murakami K. (2009). A graphical method for determining inhibition constants. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 24(6), 1288–1290.
9. Piapp B., Chadha V., Leidal K. et al. (1999). Uncompetitive Inhibitors of Alcohol Dehydrogenases. *Enzymology and Molecular Biology of Carbonyl Metabolism*, 7, 295-303.

KISLOVA OLGA

ORCID: [orcid.org/0000-0002-0223-1860](https://orcid.org/0000-0002-0223-1860)

Department of Chemistry and Electrochemical Energy  
Kyiv National University of Technologies and Design

## ИНГИБИРОВАНИЕ АМИДАМИ ЗАМЕЩЕННЫХ БЕНЗОЙНЫХ КИСЛОТ ЦИТОПЛАЗМАТИЧЕСКОЙ АЛКОГОЛЬДЕГИДРОГЕНАЗЫ ПЕЧЕНИ КРЫС КИСЛОВА О. В.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

**Цель.** Исследовать влияние амидов замещенных бензойных кислот на активность  $NAD^{+}$ -зависимой алкогольдегидрогеназы в условиях *in vitro*, установить зависимость между структурой

соединений и их влиянием на скорость ферментативной реакции, а также кинетический характер взаимодействия эффективных ингибиторов с ферментом.

**Методика.** Исследования проводились с использованием цитоплазматической алкогольдегидрогеназы печени крыс, которую получали методом дифференциального центрифугирования. Активность фермента определяли спектрофотометрическим методом. Для изучения кинетического характера взаимодействия фермента с ингибиторами использовали растворы амидов замещенных бензойных кислот в концентрациях 12,5-100 мкМ. Полученные данные представляли в координатах двойных обратных величин по методам Lineweaver-Burk и Yoshino - Murakami.

**Результаты.** Исследованные амиды замещенных бензойных кислот являются ингибиторами цитоплазматической алкогольдегидрогеназы. Наиболее эффективно (до 60%) подавляет активность фермента 2,4-дихлор-5-метилбензамид. Он проявляет смешанный характер ингибирования по отношению к этанолу при насыщающих концентрациях  $NAD^+$ . Углубленное изучение данного процесса показало, что при низких концентрациях этанола (до 2 мМ) амид снижает активность фермента по неконкурентному типу с константой ингибирования 35 мкМ. При увеличении концентрации спирта характер ингибирования становится бесконкурентным.

**Научная новизна.** Среди исследованных бензамидов обнаружен эффективный ингибитор активности  $NAD^+$ -зависимой АДГ - 2,4 дихлор-5-метилбензамид.

**Практическая значимость.** Выявлен эффективный ингибитор алкогольдегидрогеназы, который может применяться как потенциальный антидот при отравлениях токсическими спиртами и продуктами их биотрансформации.

**Ключевые слова:** амиды замещенных бензойных кислот, антидот, алкогольдегидрогеназа, ингибитор, активность фермента.

## INHIBITION THE RAT CYTOPLASMATIC ALCOHOL DEHYDROGENASE BY SUBSTITUTED BENZOIC ACID AMIDES OF RATS' LIVER KYSLOVA O. V.

Kyiv National University of Technologies and Design

**Purpose.** The main purpose of this work was to investigate the influence of substituted benzoic acid amides on the activity of  $NAD^+$ -dependent alcohol dehydrogenase in vitro, to study the kinetic nature of the effective inhibitors interaction with the enzyme, to establish the relationship between the chemical structure of compounds and their influence on the rate of the enzymatic reaction.

**Methodology.** The studies were carried out using rat liver cytoplasmic alcohol dehydrogenase, which was obtained by differential centrifugation. The enzyme activity was determined by spectrophotometric method. To study the kinetic nature of the enzyme interaction with inhibitors, solutions of substituted benzoic acid amides at concentrations of 12.5-100  $\mu M$  were used. The obtained data were presented in double reciprocal coordinates using the Lineweaver-Burk and Yoshino-Murakami methods.

**Findings.** An effective reversible inhibitor of cytoplasmic ADH was revealed among the studied substituted benzoic acid amides. 2,4-dichloro-5-methylbenzamide inhibited the enzyme activity up to 60%. It exhibited a mixed character of inhibition in relation to ethanol at saturating concentrations of  $NAD^+$ . An in-depth study of this process showed that the amide inhibited the enzyme activity in a non-competitive type at low ethanol concentrations (up to 2 mM) with an inhibition constant of 35  $\mu M$ . When the alcohol concentration was increased, the character of inhibition became uncompetitive.

**Originality.** The kinetic type of the interaction between the  $NAD^+$ -dependent alcohol dehydrogenase and the new inhibitor of its activity was investigated.

**Practical value.** The new ADH inhibitor has been identified. It can be used as a potential antidote for poisoning with toxic alcohols and their biotransformation products.

**Keywords:** amides of substituted benzoic acids, antidote, alcohol dehydrogenase, inhibitor, enzyme activity.

УДК 677.494

КУЧЕРЕНКО Є. В., ПЛАВАН В. П., БУДАШ Ю. О.,  
РОМАНЮК О. О.

Київський національний університет технологій та дизайну

## АНАЛІЗ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВОЛОКНИСТИХ НЕТКАНИХ МАТЕРІАЛІВ РІЗНОГО СКЛАДУ

**Мета.** Визначення теплофізичних властивостей нетканих матеріалів на основі еластичних волокнистих відходів призначених для подальшого використання у складі біометричних пакетів речового майна військовослужбовців.

**Методика.** В роботі були досліджені чотири види нетканих матеріалів, виготовлених на основі еластичних волокнистих відходів текстильної промисловості. Для формування волокнистого полотна використовували чесальну машину марки ЧБВ. Отримані полотна скріплювали за рахунок операції голкопробивання на машині ВП-1. Теплопровідність визначали за допомогою методу динамічної калориметрії на вимірювачі теплопровідності типу IT-λ-400. Для забезпечення необхідної достовірності одержаних результатів здійснювалася обробка даних із використанням методу математичної статистики в програмі Microsoft Excel.

**Результати.** Показано, що додавання до вихідного складу ПУ/ПА-6,6 волокон ПЕТФ погіршує теплозахисні властивості матеріалу. В той же час використання до 50 мас. % природних волокон льону та коноплі дозволяє одержати нетканий матеріал із достатньо низьким коефіцієнтом теплопровідності (0,15-0,16 Вт/(м·К)) за меншої, в порівнянні з вихідним зразком, поверхневої щільності. При цьому їх питома масова ізобарна теплоємність практично не залежить від поверхневої щільності.

**Наукова новизна.** Встановлені закономірності впливу складу та поверхневої щільності нетканих матеріалів на основі еластичних волокнистих відходів на їх теплофізичні властивості.

**Практична значимість.** Запропоновано склад та отримані нетканий матеріали на основі еластичних волокнистих відходів з поліпшеними теплофізичними властивостями, що задовольняють вимогам до біометричних пакетів речового майна військовослужбовців.

**Ключові слова:** коефіцієнт теплопровідності, нетканий матеріал, теплофізичні властивості, поліамід, волокна.

**Вступ.** Неткані матеріали залишаються одним із найбільш перспективних секторів текстильного ринку. Такі матеріали мають широкий спектр кінцевого використання: від медичних виробів до текстилю для інтер'єру [1]. Виробництво нетканих матеріалів постійно поширюється. Це пояснюється їх невисокою вартістю, так як для їх виготовлення використовуються відходи інших підгалузей текстильної промисловості, а також можливість їх використання взамін тканин аналогічного призначення. [2].

При проектуванні одягу з заданими теплозахисними властивостями для використання в різних кліматичних, виробничих і побутових умовах важливе значення мають теплофізичні характеристики текстильних матеріалів [3]. Визначення цих характеристик необхідне з точки зору теплового комфорту користувача одягу, а також ефективності захисту від низької або високої температури.

Під дією теплової енергії текстильні матеріали виявляють ряд властивостей:

- здатність проводити тепло (теплопровідність, тепловий опір, температуропровідність);
- здатність поглинати тепло (теплоємність);

- здатність змінювати, або зберігати свої властивості (тепло- і термостійкість, вогнестійкість, морозостійкість) [4].

Процес перенесення теплоти доволі складний. Розрізняють три способи перенесення теплоти: теплопровідність, конвекція і теплове випромінювання [5].

Теплопровідність текстильних полотен залежить від багатьох чинників: природи волокон, складу, способу отримання, структури, щільності матеріалу, виду, розмірів та розташування пор (порожнин), температури матеріалу і, особливо, його вологості.

Оскільки теплозахисний одяг являє собою багат шарову конструкцію, то його теплоізоляційні властивості є результатом термічного опору кількох шарів, їх порядку, а також теплозахисних характеристик кожного виду текстильного матеріалу, що утворює певний шар [6]. Тому дослідження теплофізичних властивостей зокрема теплопровідності нових утеплюючих багат шарових композиційних текстильних матеріалів (БКТМ), відмінною особливістю яких є наявність нетканого полотна в якості середнього шару [7], є актуальним з огляду на практичне значення одержаних результатів.

**Постановка завдання.** *Мета роботи* – визначення теплофізичних властивостей нетканних матеріалів на основі еластичних волокнистих відходів призначених для подальшого використання у складі біометричних пакетів речового майна військовослужбовців.

**Матеріали та методи.** В роботі були досліджені чотири види нетканних матеріалів, виготовлених на основі еластичних волокнистих відходів текстильної промисловості. Волокнисті відходи являли собою плутанку високооб’ємних комбінованих петельних ниток, що склалися з комплексних волокон Лусга 162С (лінійна густина 4,4 текс) (ПУ), та волокон Nylon 6.6 f20/1 (лінійна густина 3,3 текс) (ПА-6,6) у співвідношенні 70/30 мас. %. Волокнисті відходи у вигляді джгуту нарізали на лабораторній роторній штапелерізці (довжина різки – 30 мм). До вихідного складу додавалися текстуровані штапельні волокна поліетилентерефталату – (ПЕТФ), прочесаного льону (Л) та коноплі (К) у співвідношенні 50/50 мас. % [8]. Для формування волокнистого полотна використовували чесальну машину марки ЧБВ. Робочі зазори між робочими органами чесальної машини складали 0,3-0,4 мм. Після попереднього прочісування, полотно знімали з приймального барабана (діаметр 280 мм). В залежності від складу і якості отриманого матеріалу, операцію прочісування повторювали 2-3 рази. Напрямок наступних операцій прочісування збігався з напрямком попереднього прочісування. Отримане полотно скріплювали за рахунок операції голкопробивання на машині ВП-1. Для порівняння були використані зразки стандартних нетканних полотен з ПЕТФ та арамідних волокон (АВ), виготовлених в промислових умовах. Основні характеристики досліджених зразків наведені в табл. 1.

Таблиця 1.

### Характеристика нетканних матеріалів

№ п/п	Волокнистий склад	Співвідношення компонентів, мас. %	Лінійна густина елементарного волокна, текс	Довжина волокон, мм	Поверхнева щільність матеріалу, г/м <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6
1	ПУ/ПА-6,6	70/30	0,44 (ПУ) 0,33 (ПА-6,6)	30	226

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6
2	(ПУ/ПА-6,6)/ПЕТФ	50/50	0,44 (ПУ) 0,33 (ПА-6,6) 0,33 (ПЕТФ)	30/60	329
3	(ПУ/ПА-6,6)/Л	50/50	0,44 (ПУ) 0,33 (ПА-6,6) 4,3 (Л)	30	164
4	(ПУ/ПА-6,6)/К	50/50	0,44 (ПУ) 0,33 (ПА-6,6) 6,7 (К)	30	150
5	ПЕТФ	100	0,33 (ПЕТФ)	60	350
6	ПЕТФ	100	0,33 (ПЕТФ)	60	250
7	АВ	100	0,17 (АВ)	60	300

Експериментально теплопровідність визначали на вимірювачі типу ІТ-λ-400, робота якого ґрунтується на монотонному тепловому режимі розігрівання зразка в широкому діапазоні температури.

Вимірювач ІТ-λ-400 складається із блока живлення і регулювання, вимірювального блока з вимірювальною коміркою і мікровольт-амперметра Ф-136. Блок живлення і регулювання забезпечує нагрівання ядра вимірювального осередка зі середньою швидкістю майже 1 К/с і автоматичне регулювання температури.

Для розрахунку теплопровідності  $\lambda$  (Вт/(м·К)) досліджених матеріалів була використана формула:

$$\lambda = \frac{h}{R_0} \quad (1)$$

При визначенні теплопровідності методом динамічної калориметрії основна задача полягає у визначенні теплового опору зразка  $R_0$ . Цю величину можна розрахувати за формулою [9]:

$$R_0 = \frac{n_0 F (1 + \sigma_0)}{n_T \cdot K_T} - R_k \quad (2)$$

де:  $n_0, n_T$  - вимірюваний в процесі досліду перепад температур відповідно на зразку і тепломірі;

$F$  – площа перерізу зразка, м<sup>2</sup>;  $F = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$ ;

$\sigma_0$  – поправка, що враховує теплоємність зразка;

$K_T$  – теплова провідність пластини;

$R_k$  – поправка до термічного опору контакту (величини  $K_T$  і  $R_k$  для даної установки є сталими і визначаються із градуйованих дослідів).

**Результати дослідження.** Текстильні матеріали мають складну пористу структуру, що утворена волокнами і прошарками, заповненими повітрям. Пори розташовуються як між волокнами, так і всередині них. Перенесення теплоти в подібних матеріалах з неоднорідною пористою структурою здійснюється завдяки теплопровідності волокон і повітря, що знаходиться в замкнутих порах. Тому коефіцієнт теплопровідності характеризує здатність матеріалу передавати теплову енергію не тільки внаслідок теплопровідності, але й шляхом конвекції і випромінювання.

Із збільшенням пористості структури до певної межі теплопровідність текстильних

матеріалів знижується. Однак при подальшому підвищенні пористості матеріалу та при появі незамкнених наскрізних пор, здатність матеріалів проводити тепло підвищується, що пояснюється збільшенням ролі конвекції в цьому процесі [10].

Результати дослідження теплофізичних властивостей нетканих матеріалів різного складу представлені в табл. 2.

Таблиця 2.

**Теплофізичні властивості нетканих матеріалів\***

№ п/п	Склад нетканого матеріал	Поверхнев а щільність, $\rho$ , г/м <sup>2</sup>	Товщина зразка, h, мм	Коефіцієнт теплопровідності, $\lambda$ , Вт/(м·К)	Питома масова ізобарна теплоємність, $C_p$ , Дж/(кг·К)
1	ПУ/ПА-6,6	226	1,5	0,157	2418,26
2	(ПУ/ПА6,6)/ПЕТФ, 50/50	329	2,5	0,258	2143,35
3	(ПУ/ПА6,6)/Л, 50/50	164	1,5	0,155	2083,15
4	(ПУ/ПА-6,6)/К, 50/50	150	1,5	0,149	2247,27
5	ПЕТФ	350	3,0	0,285	1403,03
6	ПЕТФ	250	2,0	0,194	1627,90
7	АВ	300	1,5	0,165	1817,65

\*Випробування проводили при температурі 373 К.

З наведених даних видно, що коефіцієнт теплопровідності для вихідної суміші (зразок №1) склав 0,157 Вт/(м·К). При додаванні 50 мас. % волокон ПЕТФ показник  $\lambda$  збільшився до 0,258 Вт/(м·К), що свідчить про погіршення теплоізолюючих властивостей матеріалу у 1,6 рази. Введення у вихідну суміш до 50 мас.% природних волокон як льону так і коноплі не чинить суттєвого на коефіцієнт теплопровідності нетканого матеріалу (0,155 та 0,149 Вт/(м·К) відповідно). Зразок №5, з поверхневою щільністю 350 г/м<sup>2</sup>, демонструє найвище значення коефіцієнта теплопровідності (0,285 Вт/(м·К)). Близькі результати спостерігалися і для зразка №2 (0,258 Вт/(м·К)).

Зразки №1, №3, №4 мають меншу поверхневу щільність (у 2,3 рази) порівняно з іншими нетканими матеріалами. В той же час для них спостерігається майже однакові значення коефіцієнта теплопровідності, що у 1,9-2,0 рази нижчі, ніж для зразка №5.

На рис. 1 представлені порівняльні значення коефіцієнта теплопровідності для зразків нетканих матеріалів різного складу.

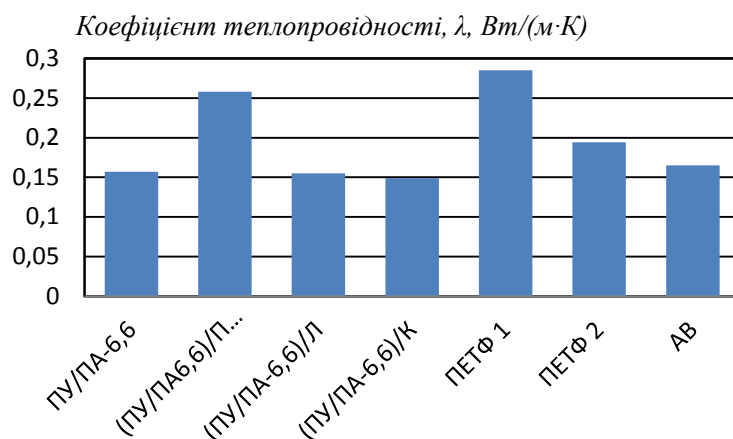


Рис. 1. Співставлення коефіцієнтів теплопровідності зразків нетканних матеріалів різного складу

Максимальне значення коефіцієнта теплопровідності спостерігається для зразків №5 та №2, а мінімальне для зразка №1 з вихідної суміші, а також для композицій, що вміщують природні волокна (№3, №4). Зразки стандартних нетканних матеріалів №6 та №7 демонструють проміжні значення коефіцієнта теплопровідності.

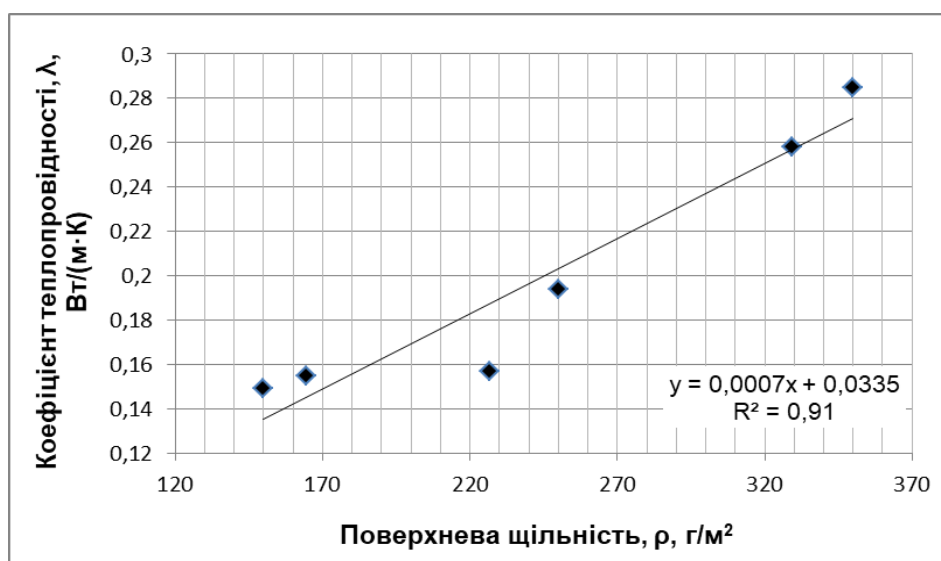


Рис. 2. Кореляційна залежність коефіцієнта теплопровідності від поверхневої щільності для зразків нетканних матеріалів різного складу

На рис.2 наведена залежність коефіцієнта теплопровідності від поверхневої щільності для досліджених зразків нетканних матеріалів різного складу. Як можна бачити спостерігається лінійний кореляційний зв'язок між цими показниками.

Порівняльний аналіз значень коефіцієнта теплопровідності свідчить про те, що при збільшенні значення поверхневої щільності, коефіцієнт теплопровідності зростає. В той же час відсутній чіткий зв'язок між поверхневою щільністю та питомою масовою ізобарною теплоємністю досліджених зразків нетканних матеріалів.

Таким чином встановлено, що додавання до вихідного складу ПУ/ПА-6,6 волокон ПЕТФ погіршує теплозахисні властивості матеріалу. В той же час використання до 50 мас. %

природних волокон льону та коноплі дозволяє одержати нетканий матеріал із достатньо низьким коефіцієнтом теплопровідності та меншою поверхневою щільністю.

Можна допустити, що додавання природних волокон буде сприяти й поліпшенню деяких інших властивостей таких як: гігроскопічність, гігієнічність, повітропроникність. Це може бути предметом подальших досліджень.

**Висновки.** Визначені закономірності впливу складу та поверхневої щільності нетканих матеріалів на їх теплофізичні властивості. Показано, що додавання до вихідного складу ПУ/ПА-6,6 волокон ПЕТФ погіршує теплозахисні властивості матеріалу. В той же час використання до 50 мас. % природних волокон льону та коноплі дозволяє одержати нетканий матеріал із достатньо низьким коефіцієнтом теплопровідності (0,15-0,16 Вт/(м·К)) за меншої, в порівнянні з вихідним зразком, поверхневої щільності. Запропоновані неткані матеріали з поліпшеними теплофізичними властивостями відповідають вимогам до біометричних пакетів речового майна військовослужбовців.

### Література

1. Chapman, R. A. Applications of Nonwovens in Technical Textiles. Applications of Nonwovens in Technical Textiles. (Elsevier Ltd, 2010). doi:10.1533/9781845699741
2. Chena W., Russell S. Handbook of Nonwovens (Elsevier Inc., 2006).
3. Matusiak, M. & Kowalczyk, S. Thermal-Insulation Properties of Multilayer Textile Packages. *Autex Research Journal* 14, 299–307 (2014).
4. Z. S. Abdel-Rehim, M. M. Saad, M. El-Shakankery, I. Hanafy. Textile fabrics as thermal insulators. *Autex Research Journal*. 6, 148–161 (2006).
5. Шустов Ю.С. Основы текстильного материаловедения. – М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2007. – 302 с.
6. McNamee, R., Pimienta P., Felicetti, R. Physical Properties and Behaviour of High-Performance Concrete at High Temperature. *Rilem State of the Art Reports* 29, 61–69 (Springer Netherlands, 2019).
7. Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности: Учебник для студ. высш. учеб. заведений / А.П. Жихарев, Д.Г. Петропавловский, С.К. Кузин, В.Ю. Мишаков. - М.: Издательский центр "Академия", 2004. - 448 с. ISBN 5-7695-1468-X
8. Визначення теплового опору нових композиційних текстильних матеріалів з використанням установки ИТ-7С [Текст] / В. Н. Василенко, Н. П. Супрун, Л. Й. Воробйов, З. А. Бурова // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Технічні науки. – 2014. – № 5 (79). – С. 198-202.

### References

1. Chapman, R. (Eds.) (2010). *Applications of nonwovens in technical textiles: Woodhead Publishing Series in Textile*. Woodhead Publishing Limited. doi:10.1533/9781845699741
2. Chena W. (2006). *Handbook of Nonwovens*.
3. Matusiak, M. & Kowalczyk, S. (2014). *Thermal-Insulation Properties of Multilayer Textile Packages*. *Autex Research Journal*, Vol. 2, 299-307.
4. Z. S. Abdel-Rehim, M. M. Saad, M. El-Shakankery, I. Hanafy. (2006). *Textile fabrics as thermal insulators*. *Autex Research Journal*, Vol. 6, 148–161.
5. Shustov Yu.S. (2007). *Osnovy tekstil'nogo materialovedeniya*. [in Russian]
6. McNamee, R., Pimienta P., Felicetti, R. (2019). Physical Properties and Behaviour of High-Performance Concrete at High Temperature. *Rilem State of the Art Reports*, Vol. 29, 61–69.
7. Zhikharev A.P., Petropavlovskiy D.G., Kuzin S.K., Mishakov V.Yu. (2004). *Materialovedenie v proizvodstve izdeliy legkoy promyshlennosti* [Materials science in the manufacture of light industry products]. ISBN 5-7695-1468-X
8. Vasylenko V. N., Suprun N. P., Vorobiov L. Y., Burova Z. A. (2014). Vyznachennia teplovoho oporu novykh kompozytsiinykh tekstyl'nykh materialiv z vykorystanniam ustanovky IT-7C [Viznachennya thermal support of new textile materials for installation of IT-7C]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dizainu. Tekhnichni nauky - Bulletin of the Kiev National University of Technology and Design. Technical sciences*, 5,79, 198-202 [in Ukraine].
9. Kucherenko, E. V., Budash Yu. O., Plavan, V. P., Lytvynova O. I. (2016). Oderzhannia ta vlastyvoli netkanykh materialiv iz voloknystykh vidkhodiv [Receipt and properties of nonwoven materials from

9. Одержання та властивості нетканых матеріалів із волокнистых відходів [Текст] / Є. В. Кучеренко, Ю. О. Будащ, В. П. Плаван, О. І. Литвинова // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Технічні науки. – 2016. – № 4 (100). – С. 99-106.  
10. Платунов Е. С. Теплофизические измерения в монотонном режиме / Е. С. Платунов. - Ленинград: Энергия, 1973.

fibrous waste]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu. Tekhnichni nauky – Bulletin of the Kiev National University of Technology and Design. Technical sciences*, 2,100, 99-106 [in Ukraine].

10. Platunov E. S. (1973). *Teplofizicheskie izmereniya v monotonnom rezhime* [Thermophysical measurements in monotonous mode] [in Russian]

**KUCHERENKO YELYZAVETA**

ResearcherID: H-7625-2018

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5352-3292>

Department of Applied Ecology, Technology of Polymers and Chemical Fiber, Kiev National University of Technology and Design

**BUDASH YURI**

Scopus Author: 9134072100

Researcher ID <http://www.researcherid.com> ID: H-6012-2018

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8718-1577>

Department of Applied Ecology, Technology of Polymers and Chemical Fibers of the Kiev National University of Technology and Design

**PLAVAN VIKTORIYA**

ResearcherID: I-5852-2015

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9559-8962>

Department of Applied Ecology, Technology of Polymers and Chemical Fiber, Kiev National University of Technology and Design

**ROMANIUK OKSANA**

Scopus Author ID: 57144479500

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9774-9875>

Kyiv National University of Technology and Design, Department of Thermal Power Engineering, Resource Saving and Technogenic Safety

## АНАЛИЗ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОЛОКНИСТЫХ НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА

КУЧЕРЕНКО Е. В., ПЛАВАН В. П., БУДАШ Ю. А., РОМАНИУК О. А.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

**Цель.** Определение теплофизических свойств нетканых материалов на основе эластичных волокнистых отходов предназначенных для дальнейшего использования в составе биометрических пакетов вещевого имущества военнослужащих.

**Методика.** В работе были исследованы четыре вида нетканых материалов, изготовленных на основе эластичных волокнистых отходов текстильной промышленности. Для формирования волокнистого полотна использовали чесальную машину марки ЧБВ. Полученные полотна скрепляли за счет операции голкопробивания на машине ВП-1. Теплопроводность определяли с помощью метода динамической калориметрии на измерителе теплопроводности типа ИТ-λ-400. Для обеспечения необходимой достоверности полученных результатов осуществлялась обработка данных с использованием метода математической статистики в программе Microsoft Excel.

**Результаты.** Показано, что добавление к исходному составу ПУ/ПА-6,6 волокон ПЕТФ ухудшает теплозащитные свойства материала. В то же время использование до 50 масс.% природных волокон льна и конопли позволяет получить нетканый материал с достаточно низким коэффициентом теплопроводности (0,15-0,16 Вт/(м·К)) при меньшей, по сравнению с исходным образцом, поверхностной плотности. При этом их удельная массовая изобарная теплоемкость практически не зависит от поверхностной плотности.

**Научная новизна.** Установлены закономерности влияния состава и поверхностной плотности нетканых материалов на основе эластичных волокнистых отходов на их теплофизические свойства.

**Практическая значимость.** Предложен состав и получены нетканые материалы на основе эластичных волокнистых отходов с улучшенными теплофизическими свойствами, удовлетворяющие требования биометрических пакетов вещевого имущества военнослужащих.

**Ключевые слова:** коэффициент теплопроводности, нетканый материал, теплофизические свойства, полиамид, волокна.

---

ANALYSIS OF THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF FIBER NONWAVE MATERIALS  
OF DIFFERENT COMPOSITION

KUCHERENKO Y., PLAVAN V., BUDASH Y., ROMANIUK O.

Kiev National University of Technology and Design

**Purpose.** Determination of thermophysical properties of non-woven materials on the basis of elastic fibrous wastes intended for further use in the composition of biometric packages of belongings of military personnel.

**Method.** Four types of nonwovens made on the basis of the elastic fibrous wastes of the textile industry were investigated. To create a fibrous cloth used a combing machine brand CHBV. The obtained cloths were fastened by the needle punching operation on the VP-1 machine. The thermal conductivity was determined by the dynamic calorimetry method on an IT- $\lambda$ -400 heat conductivity meter. In order to ensure the necessary reliability of the obtained results, the data were processed using the method of mathematical statistics in Microsoft Excel.

**Results.** Addition to the initial composition of PU/PA-6,6 PET fibers is shown to impair the thermal properties of the material. At the same time, the use of up to 50% by weight of natural fibers of flax and hemp allows to obtain a nonwoven fabric with a sufficiently low coefficient of thermal conductivity (0.15-0.16 W/(m·K)) with a smaller surface than the original sample. density. At the same time, their specific mass isobaric heat capacity is almost independent of the surface density.

**Scientific novelty.** The regularities of the influence of the composition and surface density of nonwoven materials based on elastic fibrous wastes on their thermophysical properties are established.

**Practical significance.** A composition was proposed and nonwoven materials based on elastic fibrous waste with improved thermophysical properties were obtained that met the requirements of the biometric packages of clothing belonging to servicemen.

**Key words:** thermal conductivity coefficient, non-woven material, thermal properties, polyamide, fibers.