

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

# **ВЕСТНИК**

## **ВИТЕБСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

№ 1 (32)

ВИТЕБСК 2017

**Редакционная коллегия:**

Главный редактор – профессор Кузнецов А.А.

Зам. главного редактора – профессор Ванкевич Е.В.

Ответственный секретарь – профессор Рыклин Д.Б.

**Члены редакционной коллегии**

**Технология и оборудование легкой промышленности и машиностроения**

- Редактор – проф., член-кор. НАН РБ  
Рубаник В.В. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- проф. Башметов В.С. (ВГТУ, Республика Беларусь)
  - вед. научн. сотрудник Беляев С.П. (СПбГУ, Российская Федерация)
  - проф. Буркин А.Н. (ВГТУ, Республика Беларусь)
  - проф. Вертешев С.М. (ПсковГУ, Российская Федерация)
  - проф. Горбачик В.Е. (ВГТУ, Республика Беларусь)
  - доц. Казарновская Г.В. (ВГТУ, Республика Беларусь)
  - проф. Киосев Й. (Высшая школа Нидеррейна, Германия)
  - проф. Коган А.Г. (ВГТУ, Республика Беларусь)
  - проф. Корниенко А.А. (ВГТУ, Республика Беларусь)
  - проф. Мерсон Д.Л. (НИИТП ФГБОУ ВПО «Тольяттинский государственный университет», Российская Федерация)
  - проф. Милашиус Р. (Каунасский технологический университет, Литва)
  - проф. Николаев С.Д. (МГУДТ, Российская Федерация)
  - проф. Ольшанский В.И. (ВГТУ, Республика Беларусь)
  - проф. Пятов В.В. (ВГТУ, Республика Беларусь)
  - проф. Садовский В.В. (БГЭУ, Республика Беларусь)
  - проф. Сакевич В.Н. (ВГТУ, Республика Беларусь)
  - научн. сотрудник Салак А.Н. (Университет Авейро, Португалия)
  - проф. Сторожев В.В. (МГУДТ, Российская Федерация)
  - проф. Сункуев Б.С. (ВГТУ, Республика Беларусь)

**Химическая технология и экология**

- Редактор – проф. Ковчур С.Г. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- член-кор. Академии инженерных наук Украины  
Власенко В.И. (Киевский национальный университет технологий и дизайна, Украина)
  - научн. сотрудник Дутчик В. (Институт по исследованию полимеров, г. Дрезден, Германия)
  - академик НАН РБ Лиштван И.И. (Республика Беларусь)
  - проф., член-кор. НАН РБ Пантелеенко Ф.И. (БНТУ, Республика Беларусь)
  - доц. Гречаников А.В. (ВГТУ, Республика Беларусь)
  - доц. Стёпин С.Г. (ВГМУ, Республика Беларусь)
  - доц. Ясинская Н.Н. (ВГТУ, Республика Беларусь)

**Экономика**

- Редактор – проф. Яшева Г.А. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- проф. Богдан Н.И. (БГЭУ, Республика Беларусь)
  - проф. Быков А.А. (БГЭУ, Республика Беларусь)
  - проф. Варшавская Е.Я. (НИУ «Высшая школа экономики», Российская Федерация)
  - доц. Касаева Т.В. (ВГТУ, Республика Беларусь)
  - проф. Коседовский В. (Университет им. Н. Коперника, Республика Польша)
  - проф. Махотаева М.Ю. (ПсковГУ, Российская Федерация)
  - проф. Меньшиков В.В. (Даугавпилсский университет, Латвия)
  - проф. Нехорошева Л.Н. (БГЭУ, Республика Беларусь)
  - доц. Прокофьева Н.Л. (ВГТУ, Республика Беларусь)

Журнал включен в перечень научных изданий Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований, в информационно-аналитическую систему «Российский индекс научного цитирования» и базу Index Copernicus International.

Республика Беларусь, г. Витебск, Московский пр-т, 72,  
тел.: 8-0212-47-90-40

Свидетельство о государственной регистрации  
издателя, изготовителя, распространителя печатных  
изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.

Web-сайт университета: <http://vstu.by/>  
Тексты набраны с авторских оригиналов.

© УО «Витебский государственный  
технологический университет», 2017

# СОДЕРЖАНИЕ

## Технология и оборудование легкой промышленности и машиностроения

<b>Микучионене Д., Чэпуконе Л., Крищюнайте Е.</b> Влияние структуры трикотажа на теплопередачу и огнестойкость.....	9
<b>Башметов В.С.</b> Анализ параметров зевообразования на лентоткацких станках.....	20
<b>Беляков Н.В., Ольшанский В.И., Атабаев Р.Р.</b> Концепция интерактивного электронного технического руководства по ремонту металлорежущих станков .....	26
<b>Бизюк А.Н., Ясинская Н.Н.</b> Имитационное моделирование пористой структуры армирующих химических нитей .....	33
<b>Довыденкова В.П.</b> Моделирование процесса переноса теплоты через участки околошовной зоны одежды специального назначения в условиях нестационарной теплопроводности .....	41
<b>Зими́на Е.Л., Бодяло Н.Н., Гарская Н.П.</b> Оценка возможности применения новой размерной типологии женского населения в Республике Беларусь.....	53
<b>Казарновская Г.В., Абрамович Н.А.</b> Проектирование штучных изделий по мотивам случких поясов .....	61
<b>Левшицкая О.Р., Рыклин Д.Б., Агиевич Д.Ю.</b> Оценка терморегулирующей способности текстильного материала, модифицированного микрокапсулированным веществом с изменяемым фазовым состоянием .....	71
<b>Милюшкова Ю.В., Горбачик В.Е.</b> Сравнительная оценка изгибной жесткости обуви различных видов .....	81
<b>Ольшанский А.И., Климентьев А.Л.</b> Исследование сушки натуральной кожи методом регулярного режима и обобщенными комплексными переменными .....	88
<b>Панкевич Д.К., Кукушкин М.Л.</b> Влияние многоциклового механического нагружения на структуру водозащитных материалов с полиэфируретановой мембраной.....	99
<b>Попок Н.Н., Хмельницкий Р.С., Анисимов В.С.</b> Особенности обработки сферических и конических поверхностей деталей на токарных станках с ЧПУ .....	109

**Скобова Н.В., Пришляк А.А.**

Анализ технологического процесса изготовления трикотажных изделий из полушерстяной пряжи ..... 122

**Ульянова Н.В., Рыклин Д.Б.**

Повышение степени закрепления волокнистого покрытия на поверхности стержневого компонента армированной нити ..... 130

**Химическая технология и экология****Арашкова А.А., Гончарова И.А., Посканная Е.С., Сакевич В.Н., Тригубович А.М., Шарич Т.В.**

Создание биостойкой замасливающей композиции ..... 140

**Козловская И.Ю., Марцунь В.Н.**

Получение нитратов лантана и алюминия из азотнокислых растворов выщелачивания отработанного катализатора крекинга..... 149

**Кульнев А.О., Жерносек С.В., Ясинская Н.Н., Ольшанский В.И., Коган А.Г.**

Крашение текстильных материалов из полиэфирных волокон с использованием ультразвукового воздействия..... 155

**Матвейко Н.П., Брайкова А.М., Садовский В.В.**

Инверсионно-вольтамперометрический контроль тяжелых металлов в шампунях..... 164

**Матвейко Н.П., Зарапин В.Г., Артимович В.С.**

Модифицирование поверхности стальной фибры для дисперсного армирования бетона... 171

**Тимонова Е.Т., Гречаников А.В., Семенчукова И.Ю., Тимонов И.А.**

Экологически ориентированное повышение квалификации преподавателей учреждений высшего, среднего специального и профессионально-технического образования ..... 179

**Шелег В.К., Ковчур А.С., Денисенко С.М.**

Оптимизация параметров процесса осаждения оксалата кобальта ..... 188

**Экономика****Балабанович О.А.**

Формирование механизма контроллинга на предприятиях в Республике Беларусь..... 194

**Глухова Н.М.**

Роль услуг в глобальных цепочках создания стоимости ..... 202

**Прокофьева Н.Л.**

Проблемы кадрового обеспечения инновационного развития сферы производства: организационно-экономический и образовательный аспекты..... 211

**Прудникова Л.В., Юркевич О.И.**

Оценка и анализ системы мотивации и стимулирования труда персонала  
коммерческой организации..... 220

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ..... 236

ПАМЯТКА АВТОРАМ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ЖУРНАЛА «ВЕСТНИК ВИТЕБСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА» ..... 246

# CONTENTS

## Technology and Machinery of Light Industry and Machine Building

<b>Mikucioniene Daiva, Cepukone Lina, Krisciunaite Jolita</b> Influence of Knit Structure on Heat Transfer and Flame Retardancy.....	9
<b>Bashmetau Valery</b> Analysis of the Parameters of Shedding on Narrow Looms.....	20
<b>Alshanski Valery, Belyakov Nikolay, Atabaeyeu Rustam</b> Concept of Interactive Virtual Manual on Metal Cutting Machines Repair .....	26
<b>Biziuk Andrei, Yasinskaya Natallia</b> Simulation Modeling of Porous Structure of Reinforcing Chemical Threads .....	33
<b>Davydzenkava Vera</b> Modeling of Warmth Transfer Process through the Sites Located around a Seam in Special Purpose Clothes in the Conditions of Non-Stationary Heat Conductivity.....	41
<b>Zimina Alena, Bodyalo Nataliya, Garskaya Nataliya</b> Assessment of the Possibility of Applying a New Dimensional Typology of Female Population in the Republic of Belarus .....	53
<b>Kazarnovskaya Galina, Abramovich Natallia</b> Piece Goods Design on Grounds of Slutsk Belt.....	61
<b>Levshitskaya Olga, Ryklin Dzmitry, Agiewitsch Dmitry</b> Evaluation of the Thermoregulatory Ability of the Textile Material Modified with Microencapsulated Substance with a Changeable Phase State.....	71
<b>Miliushkova Yuliya, Gorbachik Vladimir</b> Comparative Evaluation of the Flexural Rigidity of Footwear of Various Types.....	81
<b>Alshanski Anatoli, Klimentyev Andrej</b> Examination of Leather Drying with Method of Regular Regime and Generalized Complex Variables .....	88
<b>Pankevich Darya, Kukushkin Maxim</b> Influence of Multi-Cyclic Mechanical Loads on the Structure of Water-Proof Materials with Polyurethane Membrane .....	99
<b>Popok Nikolay, Hmelnickiy Ruslan, Anisimov Vitali</b> Some Features of Spherical and Conical Surfaces Treatment of Details on CNC Machines .....	109

**Skobova Natallia, Prisliak Hanna**  
Analysis of the Technological Process of Making Knitwear from Half-Woolen Yarn..... 122

**Ulyanova Natalya, Ryklin Dzmitry**  
The Ways of Solving the Problem of Reinforced Thread Rod Component Sliding along the Fibrous Coating ..... 130

## **Chemical Technology and Ecology**

**Arashkova Alina, Goncharova Inessa, Poskannaja Ekaterina, Sakevich Valerij, Trigubovich Andrej, Sharich Tat'jana**  
Creating Biological Stability of the Sizing Composition..... 140

**Kozlovskaja Inna, Marcul' Vladimir**  
Obtaining of Aluminum and Lanthanum Nitrates from Nitric Acid Solutions of Spent Cracking Catalyst Leaching ..... 149

**Kulnev Alexander, Zhernosek Sergei, Yasinskaya Natallia, Alshanski Valery, Kogan Alexander**  
Dyeing Process of Textile Polyester Fibers with Ultrasonic Influence ..... 155

**Matveika Mikalai, Braikova Ala, Sadovski Viktor**  
Stripping Voltammetric Monitoring of Heavy Metals Content in Shampoos ..... 164

**Matveika Mikalai, Zarapin Vitali, Artimovich Viktor**  
Modification of the Steel Fibers Surface for Disperse Reinforcement of Concrete ..... 171

**Tsimanava Alena, Hrachanikau Aliaksandr, Semianchukova Iryna, Tsimanov Ivan**  
Ecologically Oriented Professional Development of Teachers of Higher and Secondary Schools and Vocational Training Colleges ..... 179

**Sheleg Valery, Kovchur Andrej, Dzianisenka Siarhei**  
Optimization of Parameters of Cobalt Oxalate Deprivation..... 188

## **Economics**

**Balabanovich Olga**  
Formation of Controlling Scheme at Enterprises in the Republic of Belarus ..... 194

**Gluhova Natalya**  
The Role of Services in Global Value Chains..... 202

**Prakofyeva Nina**  
Human Resourcing Problems in the Innovative Development in Production Branch: Organizational-Economic and Educational Aspects..... 211

**Prudnikava Liudmila, Yurkevich Olga**

Assessment and Analysis of the System of Personnel Motivation and Stimulation in the  
Commercial Organization ..... 220

INFORMATION ABOUT AUTHORS..... 236

INSTRUCTIONS TO AUTHORS OF JOURNAL «VESTNIK OF VITEBSK STATE TECHNOLOGICAL  
UNIVERSITY»..... 246



## ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ТРИКОТАЖА НА ТЕПЛОПЕРЕДАЧУ И ОГНЕСТОЙКОСТЬ

## INFLUENCE OF KNIT STRUCTURE ON HEAT TRANSFER AND FLAME RETARDANCY

Д. Микучионене<sup>1\*</sup>, Л. Чэпуконе<sup>1</sup>, Е. Крищюнайте<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Каунасский технологический университет

<sup>2</sup> АО «Гарлита», Каунас

УДК 677.075

D. Mikucioniene<sup>1\*</sup>, L. Cepukone<sup>1</sup>, J. Krisciunaite<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kaunas University of Technology

<sup>2</sup> JSC «Garlita», Kaunas

### РЕФЕРАТ

#### ТРИКОТАЖНАЯ СТРУКТУРА, ТЕПЛОПЕРЕДАЧА, ОГНЕСТОЙКОСТЬ

Целью этой работы является исследование влияния структуры трикотажа на прожог и процесс теплопередачи через трикотажные полотна, используемые для функциональной одежды. Исследования огнестойкости проводились с кулирными трикотажными полотнами, вязаными из одиночной и вторичной нити Nomex Delta TA, а исследования теплопередачи, одного из комфорт определяющих свойств, были проведены на двухслойных трикотажных полотнах из целлюлозных нитей в наружном слое и синтетических нитей во внутреннем слое. Установлено, что динамика процесса теплопередачи зависит от трикотажного переплетения, так как количество воздуха внутри трикотажа зависит от порядка расположения петель в трикотажной структуре. Исследования также показали, что теплопередача и огнестойкость можно увеличить более чем в два раза только путем выбора подходящей вязальной структуры, не меняя сырья волокон и без применения дополнительных процессов отделки.

### ABSTRACT

#### KNITTED STRUCTURE, HEAT TRANSFER, FLAME RETARDANCY

The aim of this work was to investigate the influence of knitted structure on the burning time and heat transfer process through knitted fabrics used for functional garments. Investigations of flame retardancy were carried out on plain fabrics knitted from Nomex Delta TA single and folded yarns and investigations of comfort determinative heat transfer were carried out on double-layered fabrics with cellulose yarns in the outer layer and synthetic yarns in the inner layer. It was established that dynamic of the heat transfer process depends at a higher level on the knitting pattern because the amount of air depends on the order of loops ranged in the fabric. The investigations have also shown that it is possible to increase heat transfer and flame retardancy more than twice only by choosing reasonable knitting structure without changing of fibres raw composition or additional finishing processes.

Various aspects of flame retardancy, burning behaviour, heat transfer, etc., have been analysed, but only minority of investigations have been carried out on analysis of structure of textile materials and its influence on flame retardancy and heat transfer properties [1–4]. There are a

lot of investigations where the influence of raw material, composition of the material or materials of special treatment used are analysed [5–8], while the influence of pattern of textiles is usually not investigated. Pattern (i.e. the type and the range of structural elements) is very important parameter

\* E-mail: [daiva.mikucioniene@ktu.lt](mailto:daiva.mikucioniene@ktu.lt) (D. Mikucioniene)

for various physical and mechanical properties of textiles, such as strength, elasticity, stiffness, air and water permeability, and other. Flame retardancy and heat transfer process are also strongly related to the knitting or weaving pattern. The volumetric structure of cloth, i.e. the quantity and shape of various inter channels and pores in the textile structure, depends on the pattern of textile. The yarn diameter, knitting structure, course and wale density are the main factors, affecting porosity of the knitted fabrics. The porosity can influence flame retardancy or heat transfer process in a positive as well as in a negative way – air contains oxygen, which supports flame. On the other hand, air is the best thermal insulator and air without oxygen is the best flame retardant.

Consumers of the protective clothing are becoming increasingly demand on the comfortability of textiles. A state of comfort can be achieved through the complex interaction between a range of psychological, physiological and physical factors taken place in a satisfactory manner [8, 9]. Clothing comfort includes three main considerations: thermo-physiological (thermal comfort), sensorial (dryness-wetness, fineness-roughness, etc.) and psychological comfort (well-being) [10, 11]. With higher level of heat, generated by the body, heat transfer through the clothing often is insufficient to compensate for the body's energy balance, human begins to sweat and it causes annoyance feeling or even more – a cold after physical activity [10]. The heat transfer mechanism, i.e. conduction, convection and radiation, are well known and all of them coexist in the heat transfer process from a heated surface through a porous textile material attached onto it [12]. Most of the studies have been devoted to evaluation of static thermal properties of woven and knitted fabrics, and only few investigations have been made in the field of the heat transfer process through the knitted fabrics. However, heat transmission through the textiles over the time is very important for a consumer.

Protective clothing has a direct influence on a worker's comfort conditions during his activity. Therefore, the protective efficiency of the clothing must be compatible with the comfort properties, despite the fact that the requirement for adequate protection is usually contradictory

to the requirement for adequate ventilation. Therefore, investigations on the influence of structural parameters on fabric properties and creation of the fabric design in accordance with the characteristics determined are very topical. Unfortunately, in recent time there is a tendency that structural investigations are usually forgotten, narrowing to simplest patterns of fabrics and not estimating the significance of their structural parameters.

The main goal of this work was to determine the influence of structural characteristics on flammability and thermal properties and to increase flame retardancy of knit without decreasing of garment comfortability. This paper presents significance of the knit structure on the complex of properties, combining decreased flammability and increased comfortability. This is an essential difference from similar studies, which are usually limited to either the flame retardancy or comfortability investigations.

The structural characteristics of knitted fabrics tested are presented in Table 1, and the knitting structure – in Figure 1.

Investigations on heat transfer characteristics have been carried out on the double-layered fabrics knitted in single jersey plated pattern and two types of combined structure on a circular knitting machines in a gauge E22 from cotton yarns in outer layer (located outer from the skin) and polypropylene PP, polyamide PA, polyester PES, and Coolmax (tetra-channel fibres by DuPont) yarns in inner layer.

Investigations on burning time have been carried out on two groups of plain single jersey fabrics knitted on a circular knitting machine in a gauge E14 from Nomex Delta TA yarns, which are usually used for fire-protective clothing manufacture. Fabrics of the first group (**1YSJ**) have been made from the single Nomex Delta TA yarn with 37 tex total linear density. Fabrics of the second group (**2YSJ**) have been made from the two-fold assembled Nomex Delta TA yarns, i.e. with 74 tex total linear density. In both groups, three variants of knits with different loop length (4.80, 5.70, and 6.90 mm) have been manufactured (see Table 1). Three combinations of packets from knits of the first group **1YSJ** (single layer, two layers of the single knit, and four layers of the single

Table 1 - Main structural characteristics of knitted fabrics tested

Sample code	Pattern	Raw material, linear density of yarns in tex and percentage composition	Loop length in mm	Area density in g/m <sup>2</sup>
<b>1YSJ1</b>	Single jersey	Nomex Delta TA, 37 tex, 100%	4.80	135
<b>1YSJ2</b>	Single jersey	Nomex Delta TA, 37 tex, 100%	5.70	111
<b>1YSJ3</b>	Single jersey	Nomex Delta TA, 37 tex, 100%	6.90	92
<b>2YSJ1</b>	Single jersey	Nomex Delta TA, 37 tex × 2, 100%	4.80	317
<b>2YSJ2</b>	Single jersey	Nomex Delta TA, 37 tex × 2, 100%	5.70	270
<b>2YSJ3</b>	Single jersey	Nomex Delta TA, 37 tex × 2, 100%	6.90	216
<b>SJ1</b>	Single jersey plated	Cotton, 20 tex, 71% + PA, 7.8; 29%	2.84	229
<b>SJ2</b>	Single jersey plated	Cotton, 20 tex, 71% + Coolmax, 7.8; 29%	2.79	222
<b>SJ3</b>	Single jersey plated	Cotton, 20 tex, 71% + PES, 8.3; 29%	2.79	227
<b>SJ4</b>	Single jersey plated	Cotton, 20 tex, 71% + PP, 8.4; 29%	2.88	234
<b>FP1</b>	French piqué	Cotton, 20 tex, 71% + PA, 7.8; 29%	3.11	158
<b>FP2</b>	French piqué	Cotton, 20 tex, 71% + Coolmax, 7.8; 29%	3.10	158
<b>FP3</b>	French piqué	Cotton, 20 tex, 71% + PES, 8.3; 29%	3.10	160
<b>FP4</b>	French piqué	Cotton, 20 tex, 71% + PP, 8.4; 29%	3.21	163
<b>C1</b>	Combined	Cotton, 20 tex, 71% + PA, 7.8; 29%	3.24	134
<b>C2</b>	Combined	Cotton, 20 tex, 71% + Coolmax, 7.8; 29%	3.26	137
<b>C3</b>	Combined	Cotton, 20 tex, 71% + PES, 8.3; 29%	3.26	139
<b>C4</b>	Combined	Cotton, 20 tex, 71% + PP, 8.4; 29%	3.35	140

Note: the relative error of all measurements is less than 5 %.

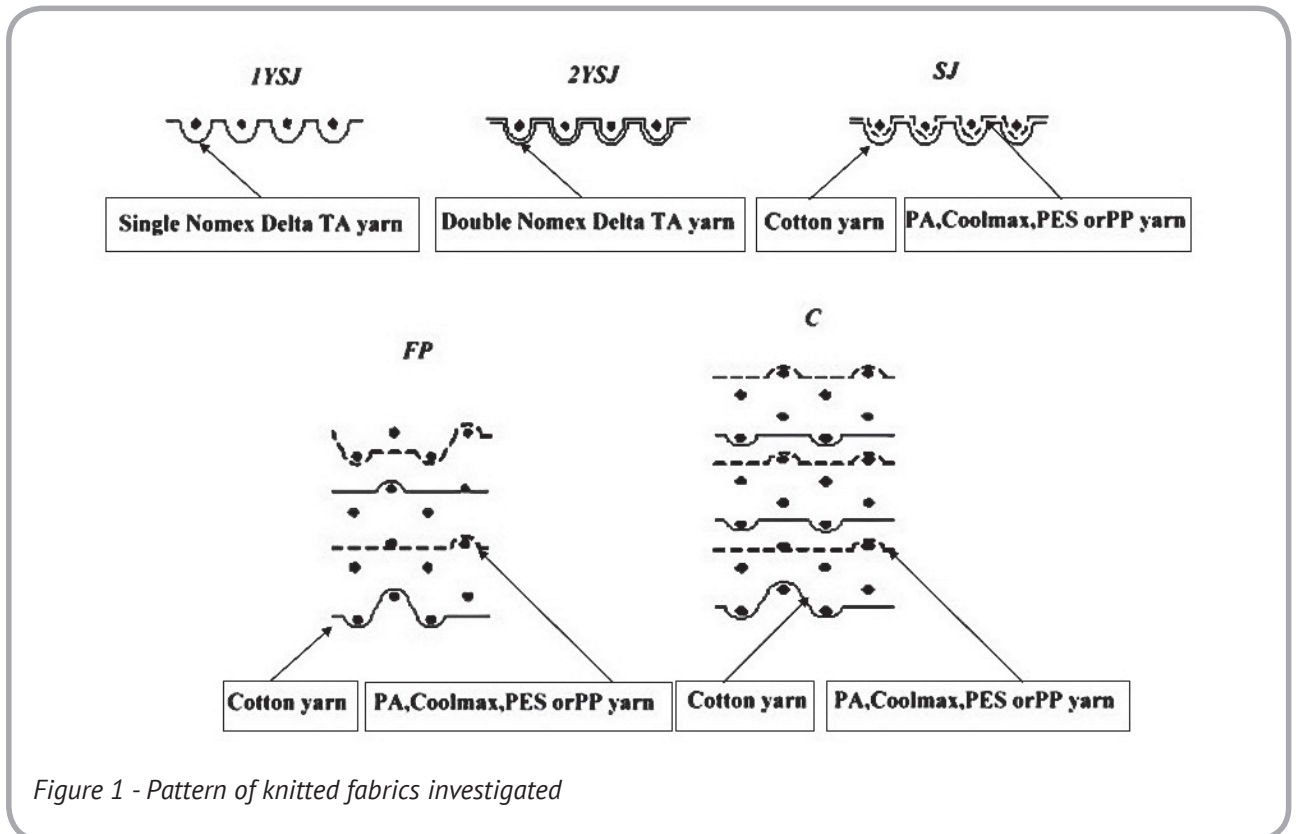


Figure 1 - Pattern of knitted fabrics investigated

knit) and two combinations of packets from knits of the second group **2YSJ** (single layer and two layers of the single knit) have been used in the investigations of flammability.

All experiments have been carried out in a standard atmosphere for testing according to the standard ISO 139:2005. Structure parameters of knitted samples (loop length, wale and course density, and area density) have been analysed according to the British Standard BS 5441:1998. Thickness of the knitted samples has been measured in accordance with ISO 5084:1996 standard. Relative error of these measurements did not exceed 3 %. Thermal conductivity has been determined with a measuring device precisely described in [13]. Temperatures have been registered using an ALMEMO 2590-9 device with microprocessor data processing and accumulation system. The resolving power of the device is 0.1 °C. The variation coefficient of the temperature measurements did not exceed 3.7 %. All measurements have been repeated six times at randomly chosen parts of the samples. Relative error values of the thermal conductivity coefficient have been calculated and found to range from 3.5–11.8 %.

The heat interchange (heat transfer dynamic) dependence on the structure and raw material of the knitted fabrics have been investigated using an IG/ISOC (Giuliani Technologies, Italy) device designed for the establishing of heat insulation. The measurement error of the digital thermometer with a platinum thermo sensor was equal to  $\pm (0.071 \div 0.076)$  °C. The knitted fabric was laid down on a heated plate and a thermo sensor was superimposed on the outward side of the fabric. The plate was heated up to 40 °C, and the temperature was recorded every 10 seconds. Changes in temperature were observed for 14 minutes and recorded every 10 seconds until alteration of the results were within the margins of error.

Flammability of the knits has been investigated using the horizontal test method according to standard DIN 50050-1:1989, which is applicable to all textile materials. In accordance with the procedure, a fabric specimen was clamped wrinkle free between two plates in a horizontal position. The horizontal flammability test was used, and the

burning time from the start until the knit break-up was measured. The height of the flame was 4 cm and the distance between the flame source and materials investigated was 2 cm. Average values of the tests were calculated from the five measurements. Relative error of the measurements of burning time did not exceed 5 %.

Two series of investigations with the different types of knits have been carried out: one type of knitted fabrics is used for fire-fighter's clothing, and another one for high activity clothing. For consumers of workwear and protective clothing, the ability of clothing to release heat from the body to the environment is very important, because the quick exchange of heat allows the well-being. Even a few tenths of temperature degree can influence the health and well-being of a human [10, 13].

Various combinations of natural and synthetic yarns are very popular for clothing used for high activity. There were the thermal conductivity and thermal resistance of double-layered fabrics knitted from cotton yarns and four types of synthetic yarns (PA, PES, Coolmax, an PP) in three different knitting patterns (see Fig. 1) investigated in this work. Natural fibres, such as cotton, bamboo or wool, are hygroscopic and, therefore, characterised by high absorption levels. On the other hand, cotton fabrics hold absorbed water, and their moisture transfer property is not especially high during activity. This retention of water may increase the weight of the garment as well as impair heat dissipation from the skin and post-activity evaporative cooling. Synthetic fibres, such as polyester, polypropylene and acrylic, are not hygroscopic and, therefore, only absorb a comparatively small amount of moisture. However, because of their hydrophilic fibre surface, they have a high moisture transfer rate. A combination of natural and synthetic fibre yarns is an optimal solution when designing clothing for high activity [9, 10].

The results of investigation are presented in Table 2. As it can be seen from the results presented, difference between the thermal characteristics (thermal conductivity and thermal resistance) of double-layered knitted fabrics investigated depending on the raw material of the yarns are not high, only 4–9 %. The influence of knitting pattern on the thermal characteristics, however, is

much higher. The fabrics knitted in French piqué and combined patterns (**FP** and **C** respectively) have up to 25 % higher thermal conductivity coefficient and up to 80 % higher thermal resistance as fabrics knitted in single jersey plated pattern (**SJ**). This is because French piqué and combined structures are not so tight, loops in such structure fabrics are ranged in two separate layers connected just in some points, whereas all loops in single jersey plated fabrics are knitted from two yarns and densely arranged in one line (see Fig.1). The thickness of single jersey plated fabrics is also lower than of French piqué and combined fabrics (see Table 2).

The results of measurement of heat transfer through the double-layered knitted fabrics **SJ**, **FP**, and **C**, depending on raw material and knitting structure, are presented in Figures 2 and 3. The curves present average values calculated from five tests for each knit at each time point (the coefficient of variation of the measurements ranges from 0.84 % to 2.51 %).

As it is shown in Figure 2, the process of heat transfer through the double-layered knits can be described by logarithmic equation with high coefficients of determination. However, the impact of the raw material composition of knitted fabric on the dynamic of heat transfer through the fabrics investigated is very low. This means that the raw materials of yarns that are commonly used

for such kind of clothing do not have perceptible influence on heat transfer dynamic.

The influence of knitting structure on heat transfer through the double-layered knitted fabrics investigated is shown in the Figure 3.

As shown in Figure 3, the influence of knitting structure on the heat transfer dynamic is evident. The same situation has been found with all the combinations of yarns investigated, what merely confirms that heat transfer through the single jersey plated knitted fabrics is apparently faster than through the fabrics with parallel double-layered (French piqué and combined) structures. In the single jersey plated knits all loops are ranged in one layer (while knitted on the same needle bed), whereas in the French piqué and combined structures (knitted on a double needle bed) the loops are ranged in two parallel layers, connected only in certain places. The amount of air in such double-layered structures is much higher than in the single jersey knits. It is well known that air is the best thermal insulator. For the present, the results of heat transfer through the both, French piqué and combined, double-layered structures are very close, as the type and order of the structural elements in the patterns is very similar.

Hence, it may be concluded that for clothing providing protection against heat the double-layered knitted structures have to be chosen, while single jersey knitted structures have to be used

Table 2 – Thermal characteristics of double-layered knitted fabrics tested

Sample code	Thermal conductivity coefficient in $W/mK$	Thermal resistance in $m^2K/W$	Thickness, $mm$
<b>SJ1</b>	0.052	0.013	0.617
<b>SJ2</b>	0.053	0.016	0.692
<b>SJ3</b>	0.054	0.013	0.646
<b>SJ4</b>	0.054	0.015	0.661
<b>FP1</b>	0.047	0.018	0.908
<b>FP2</b>	0.047	0.020	1.142
<b>FP3</b>	0.047	0.017	0.988
<b>FP4</b>	0.043	0.017	1.028
<b>C1</b>	0.043	0.024	1.243
<b>C2</b>	0.043	0.028	1.474
<b>C3</b>	0.043	0.023	1.268
<b>C4</b>	0.040	0.026	1.392

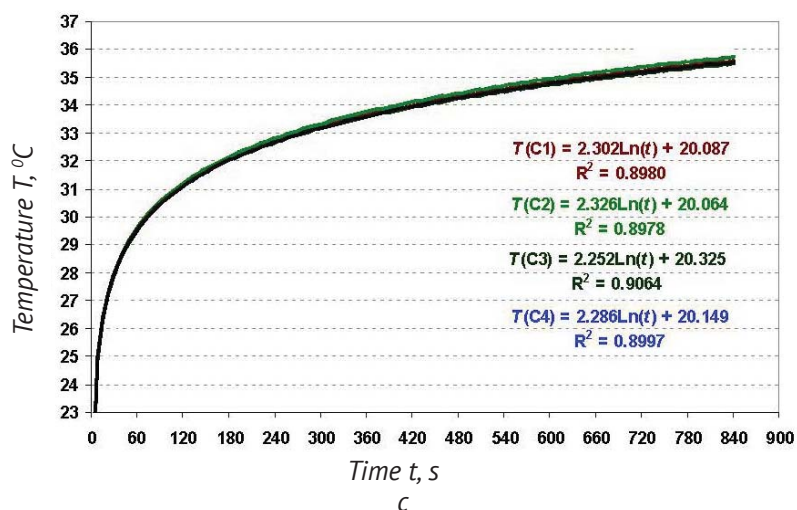
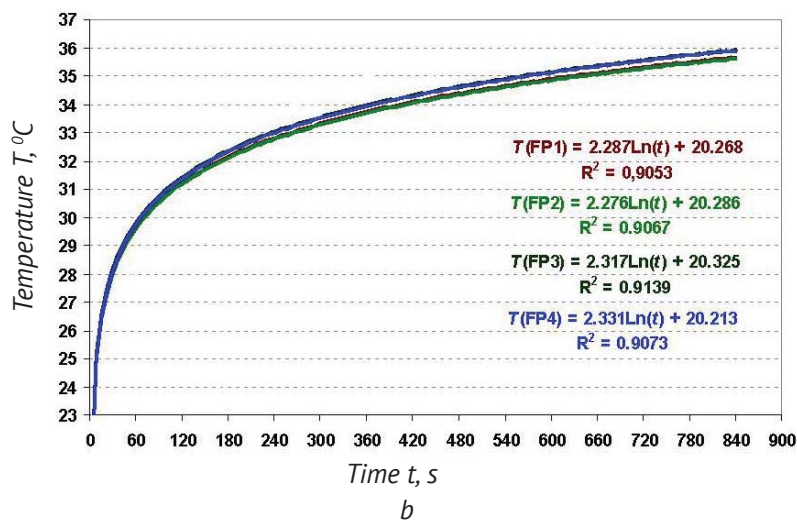
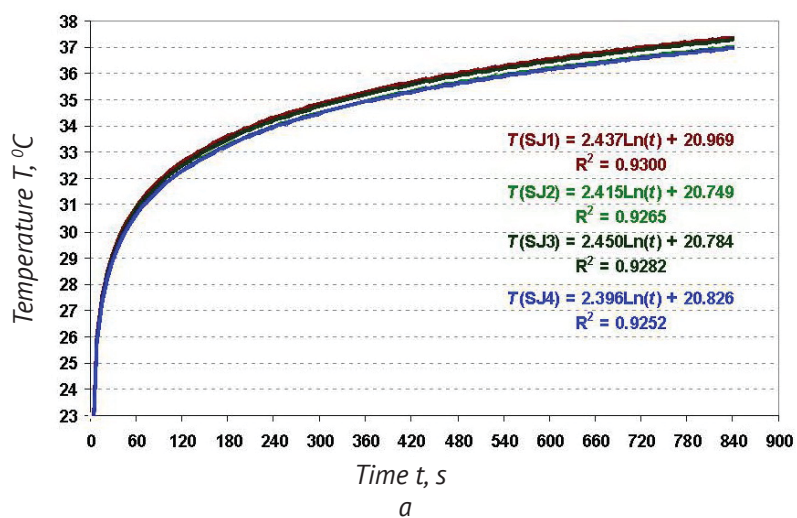


Figure 2 – Dependence of heat transfer dynamic on raw composition of knitted fabrics with structure of: a) single jersey plated (SJ); b) French piqué (FP); c) combined (C)

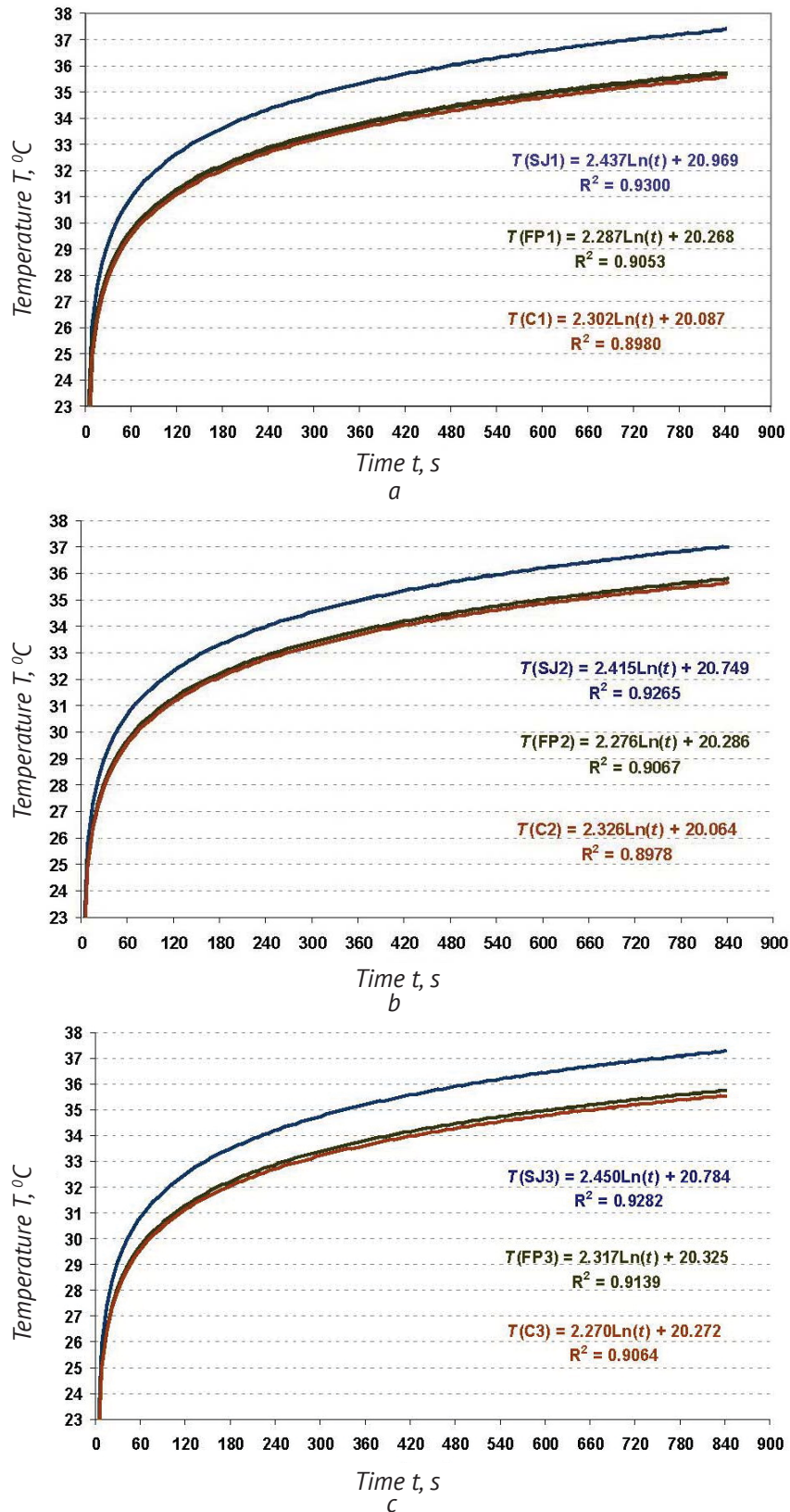


Figure 3 – Dependence of heat transfer dynamic on knitting structure of fabrics knitted from cotton and PA (a), Coolmax (b), PES (c) yarns combination: **SJ1** – single jersey plated structure; **FP** – French piqué structure; **C** – combined structure

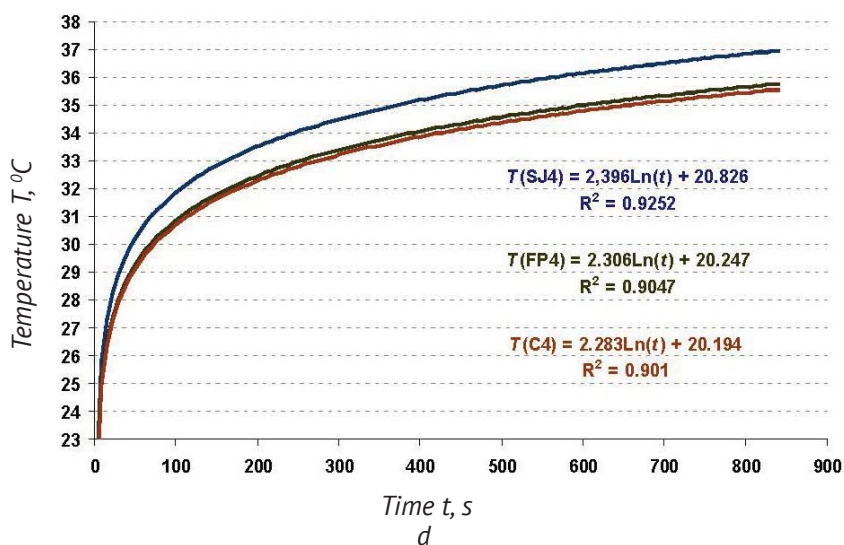


Figure 3 – Dependence of heat transfer dynamic on knitting structure of fabrics knitted from cotton and PP (d) yarns combination: **SJ1** – single jersey plated structure; **FP** – French piqué structure; **C** – combined structure

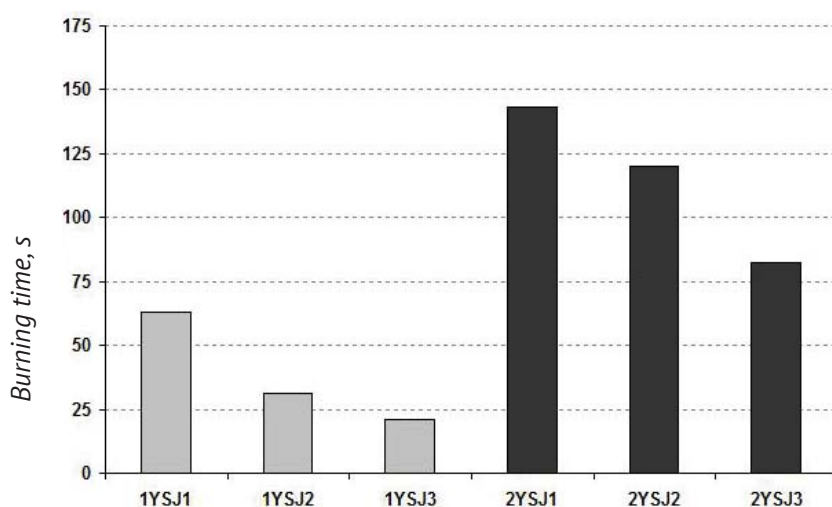


Figure 4 – Influence of loop length and number of yarns in the loop on burning time of knitted fabric

when high amount of heat needs to be released.

Investigations of the structure influence on flammability also show high importance of textiles' structure. The dependence of burning time on the loop length as well as on the number of yarns in the loop of fabrics knitted from Nomex Delta TA yarns is presented in Figure 4.

As seen from the results in Figure 4, the

reduced loop length can decrease burning time of the knit more than three times: when the loop length decreases 1.4 times (from 6.9 mm of the sample **1YSJ1** till 4.8 mm of the sample **1YSJ3**), the burning time decreases even 3 times. This influence is not so high than of the knits made of two-folded yarns (the variant **2YSJ**) – in this case the burning time increases in approximately 1.7

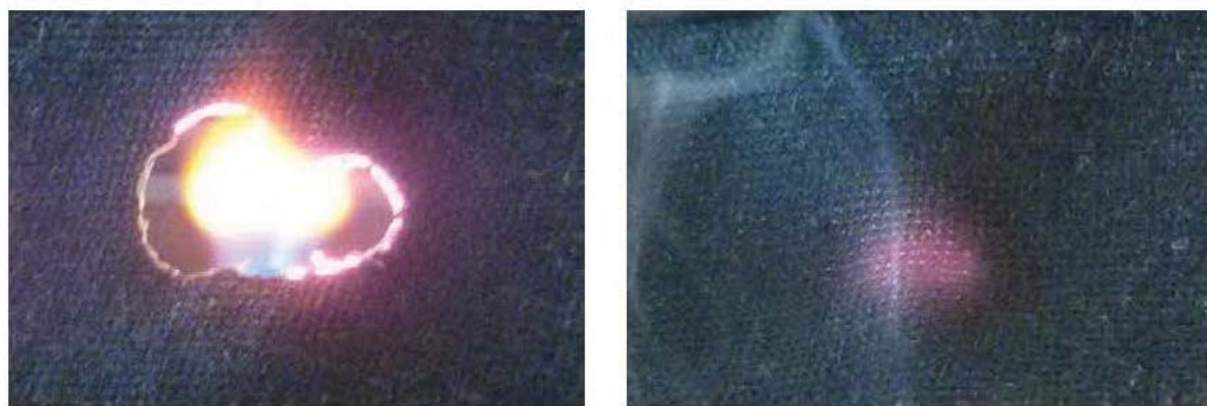


times. This is because of tighter structure.

The influence of higher yarn linear density on the burning time (when using two-folded yarns) is very well visible in Figure 5, where the view of the knits after 60 sec of burning is presented. The sample knitted from the single Nomex Delta TA yarn (the variant **1YSJ2**) is apparently destroyed, while surface of the sample knitted from two-folded yarns with the same loop lengths as in previous variant (the variant **2YSJ2**) is not

damaged and still can protect user from the flame source.

The difference of burning time between different knits of the same variant (single yarn or two-folded yarns) can be explained by increase of the surface density (mass per square unit) of the knit. On the other hand, the surface density of variants of **1YSJ1** (4 layers) and **2YSJ2** (2 layers) have the same 540 g/m<sup>2</sup> density but the burning time of these knits is absolutely different.



a

b

Figure 5 – Flammability resistance of knits of the variant **1YSJ2** (a) and the variant **2YSJ2** (b) after 60 sec of burning

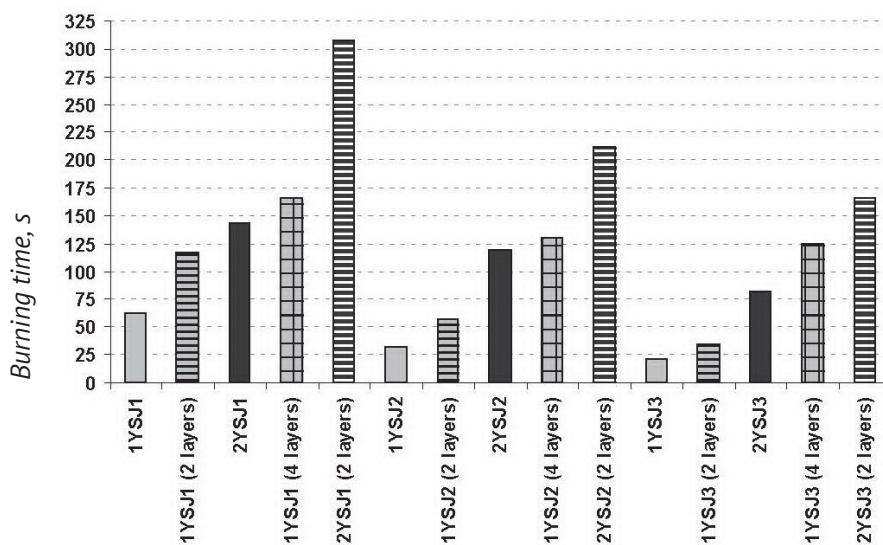


Figure 6 – Dependence of burning time on knitting structure and number of layers of knitted fabrics

It is well known that the burning time and thermal insulation (i.e. protective properties) of the garment increases, when the number of textile fabric layers in the packet increases [1, 9]. However, when comparing the burning time of single layer of knitted fabric made from single or two-folded yarns with the burning time of multilayered packet, it is found that protective properties of the single layered fabric with tighter structure is much higher than of the multilayered packet (see Figure 6).

Analysing various variants presented in Figure 6, it was established that burning time of the packet of 2 layers of **1YSJI** fabric (knitted from the single Nomex Delta TA yarn with the loop length 4.8 mm) is in 20 % lower than of the one layered fabric **2YSJI** (knitted from the two-folded Nomex Delta TA yarn with the same loop length – 4.8 mm). Even more, burning time of the packet of 4 layers of **1YSJI** fabric is in 45 % higher than of the packet of 2 layers of **2YSJI** fabric. The same situation has been found for the knits with the higher loop length – 5.7 and 6.9 mm, though for textiles with looser structure these differences are little bit lower. In any case, manufacturing process of two knits will be twice more expensive than of the one knit with two yarns in the loop. Hence, the usage of two yarns in the loop will be more cost-effective than using a packet with two layers.

So, it is evident that the surface density is not the main parameter, on which the burning time depends - the structure of a fabric is not less important than surface density. It can be noted that when using two-folded yarns in the loop it is possible to achieve higher flame retardancy of a garment than using single yarns, even without increasing of total surface density of a garment. Such phenomenon arises due to air gaps between the yarns. After folding, yarns never contact in whole area between them, the small air gap exists in all the cases [9]. At the time of burning, oxygen in these pores very quickly is used for flaming and, without oxygen the gaps, becomes the good flame retardant. The problem in predicting the burning time using models of knits depends on chaotic structure of two-folded yarns. The yarns after folding are not in parallel lines in the whole length. In some parts they are twisted, in some parts – untwisted, they could lay one on the other

as well as one beside other. This situation makes theoretical modelling very sophisticated and practically not usable. Due to that the empirical investigations of various variants of knits made from single and folded yarns (two, three or more) in combined patterns need to be carried out. These investigations will be the next step of our further works.

#### CONCLUSION

Process of heat transfer through the double-layered weft knits can be described by logarithmic equation – the coefficients of determination of equations are not lower than 0.89. The influence of knitting structure on heat transfer dynamic through the knitted fabric is much higher than the influence of the raw materials investigated. Heat transfer through the single jersey plated knitted fabrics is apparently faster than through the double-layered fabrics with French piqué and similar combined structures. In the single jersey plated knit, all loops are ranged in one layer, whereas in the French piqué and combined structures the loops are ranged in two layers, connected only in certain places. Due to that, the double-layered knitted structures are more suitable for clothing providing protection against heat, and the single jersey knitted structures have to be used when heat needs to be fast released.

Influence of the knitting structure is very important for flame retardancy of protective garment as well. The reduced loop length can decrease burning time of the knit even three times, and using two-folded yarns it is possible to achieve higher flame retardancy of a garment than using single yarns, even without increasing of total surface density of a garment. Area density of the fabric is not the main parameter, on which the burning time depends. The structure of a fabric is not less important than area density. Investigations in the field of structure influence on the flame retardancy are very important and need to be carried out in further works.

## REFERENCES

1. Sirvydas, P.A., Nadzeikiene, J., Milasius, R., Eicinas, J., Kerpauskas, P. (2006), The Role of the Textile Layer in the Garment Package in Suppressing Transient Heat Exchange Processes, *Fibres&Textiles in Eastern Europe*, 2006, № 2, pp. 55-58.
2. Mikucioniene, D., Milasiute, L., Baltusnikaite, J., Milasius, R. (2011), Influence of the Number of Yarns in a Loop on the Flammability of Knits, *Fibres&Textiles in Eastern Europe*, 2011, № 6, pp. 71-74.
3. Glombikova, V., Komarkova, P. (2013), The Efficiency of Non-Flammable Functional Underwear, *AUTEX Research Journal*, 2014, № 3, pp. 174-178.
4. Uçar, N., Yilmaz, T. (2004), Thermal Properties of 1×1, 2×2, 3×3 Rib Knit Fabrics, *Fibres&Textiles in Eastern Europe*, 2004, № 3, pp. 34-38.
5. Gilewicz, P., Dominiak, J., Cichocka, A., Frydrych, I. (2013), Change in Structural and Thermal Properties of Textile Fabric Packages Containing Basalt Fibres after Fatigue Bending Loading, *Fibres&Textiles in Eastern Europe*, 2013, № 5, pp. 80-84.
6. Long, Z.F., Feng, Q.Q., Liu, R., Yu, B., Zhou, Y. (2015), Enhancing the Thermal Protective Performance of Firefighters' Protective Fabrics by Incorporating Phase Change Materials, *Fibres&Textiles in Eastern Europe*, 2015, № 2, pp. 68-73.
7. Cui, Z., Ma, Ch., Na, L. (2015), Effects of Heat Treatment on the Mechanical and Thermal Performance of Fabric Used in Firefighter Protective Clothing, *Fibres&Textiles in Eastern Europe*, 2015, № 2, pp. 74-78.
8. Oglakcioglu, N., Marmarali, A. (2007), Thermal Comfort Properties of Some Knitted Structures, *Fibres&Textiles in Eastern Europe*, 2007, № 5, pp. 94-96.
9. Abramaviciute, J., Mikucioniene, D., Ciukas, R. (2011), Static Water Absorption of Knits from Natural and Textured Yarns, *Fibres&Textiles in Eastern Europe*, 2011, № 3, pp. 60-63.
10. Bivainyte, A., Mikucioniene, D. (2011), Investigation on the Dynamic Water Absorption of Double-Layered Weft Knitted Fabrics, *Fibres&Textiles in Eastern Europe*, 2011, № 6, pp. 64-70.
11. Sanches, R.A., Takamune, K.M., Guimaraes, B.M. (2015), Comparative Study of the Characteristics of Knitted Fabrics Produced from Recycled Fibres Employing the Chauvenet Criterion, Factorial Design and Statistical Analysis, *Fibres&Textiles in Eastern Europe*, 2015, № 4, pp. 19-24.
12. Matusiak, M. (2010), Thermal Comfort Index as a Method of Assessing the Thermal Comfort of Textile Materials, *Fibres&Textiles in Eastern Europe*, 2010, № 2, pp. 45-50.
13. Bivainyte, A., Mikucioniene, D., Kerpauskas, P. (2012), Investigation on thermal properties of double-layered weft knitted fabrics, *Material Science (Medziagotyra)*, 2012, № 2(18), pp. 167-171.

Статья поступила в редакцию 20. 02. 2017 г.

## АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ЗЕВООБРАЗОВАНИЯ НА ЛЕНТОТКАЦКИХ СТАНКАХ

## ANALYSIS OF THE PARAMETERS OF SHEDDING ON NARROW LOOMS

В.С. Башметов\*

Витебский государственный технологический университет

УДК 677.024.83

V. Bashmetau\*

Vitebsk State Technological University

## РЕФЕРАТ

ТЕХНОЛОГИЯ ЛЕНТОТКАЧЕСТВА, ПРОЦЕСС ЗЕВООБРАЗОВАНИЯ, ВЫСОТА ЗЕВА, ДЕФОРМАЦИЯ ОСНОВНЫХ НИТЕЙ, ОБРЫВНОСТЬ, КАЧЕСТВО ТКАНЫХ ЛЕНТ

Предметом исследования является процесс зевобразования на бесчелночных лентоткацких станках. В работе проведен анализ параметров зевобразования при синусоидальном законе движения ремизок и анализ параметров движения рапиры при прокладывании уточных нитей в зеве. Показана возможность уменьшения высоты зева в зависимости от ширины вырабатываемых лент, величины заступа на станке и других факторов. Приведены результаты расчетов движения ремизок для условий выработки тканых лент различной ширины.

Предложенная методика позволяет определять оптимальные наладочные параметры зевобразования для каждой конкретной заправки лентоткацкого станка с целью снижения высоты зева, уменьшения деформации основных нитей при зевобразовании, снижения их обрывности, повышения качества тканых лент и уменьшения динамических нагрузок.

## ABSTRACT

TECHNOLOGY OF THE NARROW WEAVING, SHED FORMATION, HEIGHT OF THE SHED, DEFORMATION OF WARP THREADS, BREAKAGES, QUALITY OF THE NARROW FABRIC

The subject of research is the process of shedding on narrow looms. The article analyses parameters of shedding under a sinusoidal law of motion of the heddles frame and studies motion parameters rapier for weft insertion in the shed. It shows the possibility of reducing the height of the shed depending on the width of the produced ribbons, spade value of narrow looms and other factors. The results of calculations of the motion of the heddles frame for the conditions of the production of narrows of different width are presented.

The proposed method allows determining the optimal adjustment parameters of shedding for each specific refueling of narrow looms to reduce the height of the throat, reducing deformation of the warp threads in shedding, reducing breakage, improving the quality of narrow fabrics and reduce dynamic loads.

На бесчелночных лентоткацких станках для зевобразования могут применяться механизмы с различными законами движения ремизок.

При наиболее простом [1] синусоидальном законе (рисунок 1), суммируя линейный закон  $S = K_1 + K_2\varphi$  со вспомогательной синусоидой (радиус вспомогательной окружности  $R = H / 2\pi$ ), можно определить закономерность перемещения ремизок (уравнение 1).

$$S = K_1 + K_2\varphi - \frac{H}{2\pi} \sin \frac{2\pi(\varphi - \varphi_1)}{\varphi_3 - \varphi_1}, \quad (1)$$

где  $K_1$  и  $K_2$  – коэффициенты уравнения прямой линии, проходящей через точки  $A$  и  $C$ ;  $\varphi$  – угол поворота главного вала станка;  $H$  – размах движения ремизки;  $\varphi_1$  и  $\varphi_3$  – угловые положения

\* E-mail: tk.vstu@gmail.com (V. Bashmetau)

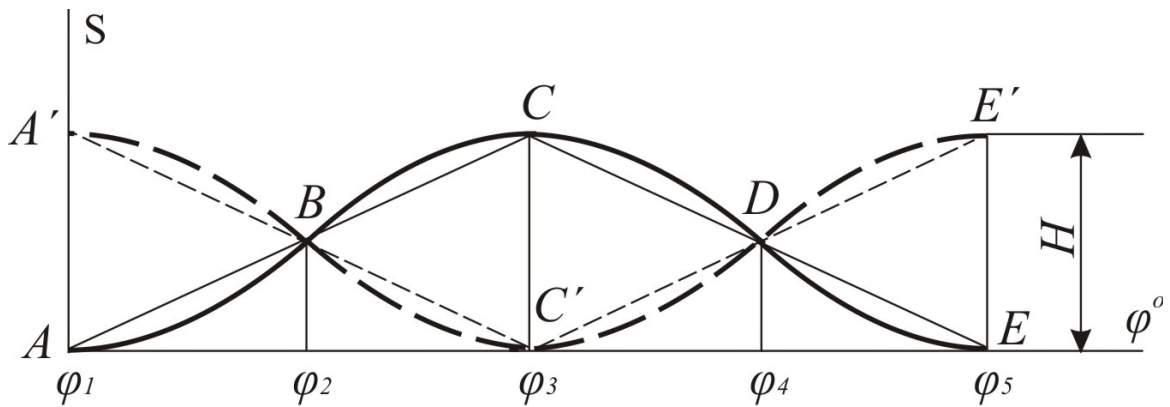


Рисунок 1 – Расчетная схема

главного вала станка в момент начала движения ремизки и конца движения ремизки соответственно.

При повороте главного вала станка от  $\varphi_1$  до  $\varphi_3$  одна ремизка движется снизу вверх (сплошная жирная линия  $ABC$ ), а затем при  $\varphi_3$  меняет направление и от  $\varphi_3$  до  $\varphi_5$  движется вниз (линия  $CDE$ ). Другие ремизки могут иметь такие же или противоположные (штриховая жирная линия) направления движения и свои размахи движения.

Нулевые положения главного вала  $\varphi_2$  и  $\varphi_4$  соответствуют моментам прибора уточных нитей к опушке ленты ( $\varphi_1 = -\pi$  рад,  $\varphi_2 = 0$ ,  $\varphi_3 = \pi$  рад), а при работе станка с нулевым заступом они соответствуют также и моментам начала открытия зева.

Решая уравнение (1) относительно точек  $A$  ( $\varphi_1; 0$ ) и  $C$  ( $\varphi_3; H$ ), можно определить  $K_1 = H / 2$  и  $K_2 = H / 2\pi$ .

Тогда

$$S = \frac{H}{2} \left[ 1 + \frac{\varphi}{\pi} - \frac{1}{\pi} \sin \frac{2\pi(\varphi - \varphi_1)}{\varphi_3 - \varphi_1} \right]. \quad (2)$$

По данной формуле выполнены расчеты перемещений ремизок за цикл зевобразования от  $\varphi = 0$  рад до  $\varphi = 2\pi$  рад. Определена закономерность изменения высоты зева в ре-

мизмом приборе с учетом высоты глазков галев  $h_z$  и зазора  $\delta$  ушек галев с галевоносителем [2]. Далее, с учетом длины  $l_1$  передней части зева (расстояние от опушки ленты до первой дальней ремизки) и расстояния  $l_p$  от опушки ленты до зоны прокладывания уточных нитей, определены параметры зева на участке движения рапиры.

В качестве примера для расчетов принят лентоткацкий станок NFN-42 фирмы J. Muller (Швейцария) в случае применения синусоидального закона движения ремизок. Использованы снятые со станка следующие данные:  $l_1 = 160$  мм,  $l_p = 23$  мм,  $h_z = 2,5$  мм,  $\delta = 1,5$  мм. Размах движения первой ремизки составил  $H = 50$  мм. Движения других ремизок должны обеспечивать получение чистого зева.

Результаты расчетов представлены на рисунке 2. При работе станка с нулевым заступом сплошные линии 1 и 2 показывают перемещения  $h_o$  и  $h_n$  основных нитей в зоне прокладывания утка при движении первой ремизки от среднего положения вверх и вниз. Расстояния между этими линиями 1 и 2 по вертикали показывают высоту зева  $H_p = h_o + h_n$  на участке движения рапиры. При работе станка с заступом эти линии смещены влево. Штриховые линии 3 и 4 соответствуют работе станка с заступом  $330^\circ$ , а штрихпунктирные линии 5 и 6 – с заступом  $300^\circ$ .

Аналогично при синусоидальном законе определим закономерность движения рапиры во время прокладывания утка (рисунок 3).

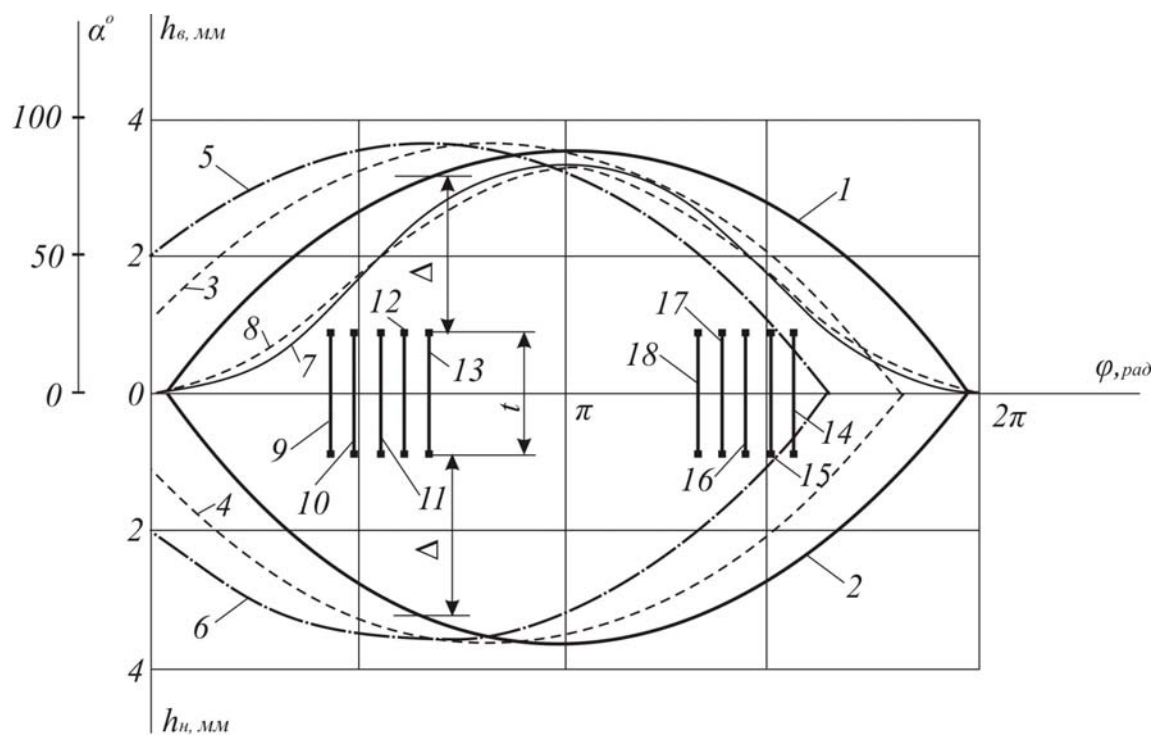


Рисунок 2 – Параметры зевобразования и прокладывания утка

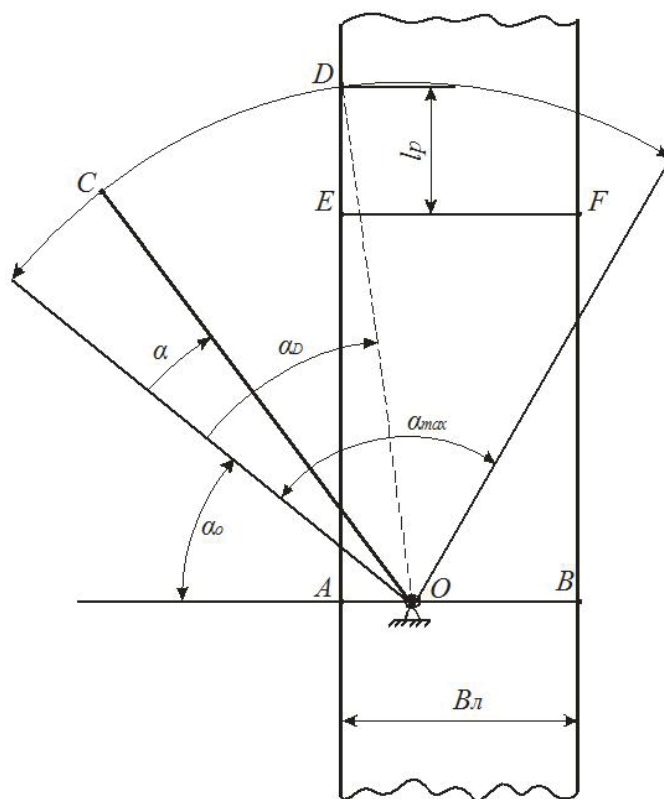


Рисунок 3 – Схема прокладывания уточных нитей

$$\alpha = \frac{\alpha_{max}}{\pi} \left[ \varphi - 0,5 \sin \frac{2\pi(\varphi - \varphi_1')}{\varphi_2' - \varphi_1'} \right], \quad (3)$$

где  $\alpha_{max}$  – размах угловых движений глазка  $C$  рапиры относительно оси  $O$ ;  $\varphi_1'$  и  $\varphi_2'$  – угловые положения главного вала станка соответственно в момент начала движения рапиры в зев и конца движения.

Рапира на лентоткацком станке NFN-42 совершает возвратно-вращательное движение вокруг оси  $O$  от начального положения  $\alpha_0$  на величину  $\alpha_{max}$  для прокладывания уточной нити на ширину ленты  $B_n$ . Правая кромка ленты (точка  $B$ ) строго фиксирована относительно оси  $O$  величиной  $l_{OB}$ . Головка рапиры с глазком  $C$  проходит в зеве на расстоянии  $l_p$  от опушки ленты  $EF$ . Начальное положение  $\alpha_0$  рапиры соответствует моменту прибоа утка при  $\varphi_1' = 0$ , а конечное положение – при  $\varphi_2' = \pi$  рад.

Результаты расчетов движения рапиры по синусоидальному закону при прокладывании утка представлены сплошной линией 7 на рисунке 2.

Следует отметить, что при синусоидальном законе движение рабочих органов [1] первая и вторая производные перемещения непрерывны. Такой закон удовлетворяет требованиям работы на высоких скоростях, обеспечивает минимальную вибрацию и отсутствие мягких и жестких ударов в механизмах. Это особенно важно для механизмов, работающих с выстоями: зевобразовательных механизмов ткацких станков, механизмов привода рапир лентоткацких станков типа ТЛБ-М [3] и других.

Однако для механизмов, имеющих движение рабочих органов без выстоя в цикле работы (это относится к механизму привода рапир станков типа АЛТБ [3], станков NFN-42 и других), наиболее целесообразно использовать косинусоидальный закон, дающий меньшую величину максимального ускорения и, соответственно, меньшие динамические нагрузки. Тогда угловое движение рапиры будет

$$\alpha = \frac{\alpha_{max}}{2} (1 - \cos \varphi). \quad (4)$$

Результаты расчетов движения рапиры по косинусоидальному закону при прокладывании утка показаны штриховой линией 8 на рисунке 2.

При косинусоидальном законе движения рапиры можно определить значение угла  $\alpha_D$  в моменты входа глазка  $C$  рапиры в зев у левой кромки ленты в точке  $D$  и выхода глазка из зева

$$\alpha_D = \arccos \frac{B_n - l_{OB}}{l_{OD}} - \alpha_0. \quad (5)$$

Тогда угловое положение  $\varphi_D$  главного вала станка, соответствующее моменту начала нахождения рапиры в зеве, будет

$$\varphi_D = \arccos \left( 1 - \frac{2\alpha_D}{\alpha_{max}} \right). \quad (6)$$

Расчеты угловых положений  $\varphi_D$  главного вала выполнены для условий выработки тканых лент различной ширины  $B_n$  при  $l_{OB} = 28$  мм,  $l_{OC} = 86$  мм,  $l_p = 23$  мм,  $\alpha_0 = 40^\circ$ ,  $\alpha_{max} = 82^\circ$ . Для ленты шириной  $B_n = 50$  мм вход рапиры в зев соответствует угловому положению главного вала  $81,8^\circ$  и выход из зева –  $278,2^\circ$ . При  $B_n = 40$  мм – соответственно  $88,6^\circ$  и  $271,6^\circ$ . При  $B_n = 30$  мм –  $100,8^\circ$  и  $259,2^\circ$ . При  $B_n = 20$  мм –  $110,5^\circ$  и  $249,5^\circ$ . При  $B_n = 10$  мм –  $120,9^\circ$  и  $239,1^\circ$ . На рисунке 2 вертикальные линии 9, 10, 11, 12 и 13 характеризуют размер по высоте головки рапиры ( $t = 1,8$  мм) и моменты входа ее в зев при значениях ширины ленты  $B_n$  соответственно 50 мм, 40 мм, 30 мм, 20 мм и 10 мм. Аналогично вертикальные линии 14, 15, 16, 17 и 18 характеризуют моменты выхода рапиры из зева соответственно при тех же значениях ширины ленты  $B_n$ .

В эти моменты входа рапиры в зев и выхода из зева расстояние от рапиры до верхней и нижней ветвей зева (зазоры  $\Delta$ ) должны быть минимально возможными, но достаточными для беспрепятственного прокладывания уточных нитей.

Из рисунка 2 видно, что эти зазоры зависят от ширины вырабатываемой ленты и от величин

ны заступа. Например, в данном случае при работе станка с нулевым заступом (линии 1 и 2) и ширине ленты  $B_n = 10 \text{ мм}$  (вертикальные линии 13 и 18) зазоры  $\Delta = 2,2 \text{ мм}$ . Эти зазоры могут быть значительно уменьшены в зависимости от  $B_n$  за счет уменьшения высоты зева в ремизном приборе, то есть за счет уменьшения размаха движения ремизок. Снижение высоты зева приведет к уменьшению деформации и натяжения основных нитей при зевобразовании, а значит и к снижению обрывности основных нитей и улучшению качества тканых лент. Кроме того, уменьшение размаха движения ремизок позволит снизить динамические нагрузки, шум, вибрацию и расход энергии.

С увеличением заступа (линии 3, 4 и 5, 6) зазоры  $\Delta$  в моменты входа рапиры в зев будут увеличиваться, а в моменты выхода рапиры из зева – уменьшаться.

Для каждой конкретной заправки лентоткацкого станка при наладке должны быть установлены оптимальные зазоры  $\Delta_{\text{ОПТ}}$  для получения оптимального размаха движения ремизки  $H_{\text{ОПТ}}$ . Таким зазорам при заданной ширине ленты  $B_n$  и определенном угловом положении главного вала  $\varphi_D$  соответствует оптимальное перемещение ремизки при зевобразовании

$$S_{\text{ОПТ}} = \left( \frac{t}{2} + \Delta_{\text{ОПТ}} \right) \frac{l_1}{l_p} + \frac{H_{\text{ОПТ}} + h_z + \delta}{2} \quad (7)$$

Тогда, из (2) с учетом (7) можно определить оптимальный размах движения ремизки

$$H_{\text{ОПТ}} = \frac{\left( t + 2\Delta_{\text{ОПТ}} \right) \frac{l_1}{l_p} + h_z + \delta}{\frac{\varphi_D}{\pi} - \frac{1}{\pi} \sin \frac{2\pi(\varphi_D - \varphi_1)}{\varphi_3 - \varphi_1}} \quad (8)$$

Выполненные расчеты показали, что в случае синусоидального закона движения ремизок на лентоткацком станке NFN-42 при его работе с нулевым заступом применение в качестве оптимальных зазоров  $\Delta_{\text{ОПТ}} = 1 \text{ мм}$  позволяет уменьшить размах движения первой ремизки  $H$  с  $50 \text{ мм}$ : до  $39,5 \text{ мм}$  (при  $B_n = 50 \text{ мм}$ ), до  $37,6 \text{ мм}$  (при  $B_n = 40 \text{ мм}$ ), до  $34,9 \text{ мм}$  (при  $B_n = 30 \text{ мм}$ ),

до  $33,4 \text{ мм}$  (при  $B_n = 20 \text{ мм}$ ) и до  $32,2 \text{ мм}$  (при  $B_n = 10 \text{ мм}$ ). Соответственно при чистом зеве на станке уменьшится размах движения и других ремизок. Если станок работает с заступом, то степень уменьшения размаха движения ремизок определяется условиями беспрепятственного выхода рапиры из зева и снижается с увеличением заступа.

Таким образом, данная методика расчетов позволяет определить оптимальные параметры движения ремизок на бесчелночных лентоткацких станках в зависимости от ширины вырабатываемых лент, величины заступа и других факторов с целью снижения высоты зева, уменьшения деформации основных нитей при зевобразовании, снижения их обрывности, повышения качества вырабатываемых тканых лент и уменьшения динамических нагрузок.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алехнович, Н.В. (1970), *Теория механизмов и машин*, Минск, Вышэйшая школа, 252 с.
2. Гаврилов, А.Н., Хозина, Е.Н., Макаров, В.А. (2015), Взаимодействие элементов ремизки в процессе образования зева, *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*, № 2 (356), С. 103-108.
3. Мшвениерадзе, А.П., Спиридонов, Г.К. (1987), *Бесчелночные лентоткацкие станки*, Москва, Легпромбытиздат, 152 с.

## REFERENCES

1. Alekhnovich, N.V. (1970), *Teoriya mekhanizmov i mashin* [Theory of mechanisms and machines], Minsk, Vysheyschaya shkola, 252 p.
2. Gavrilov, A.N., Khozina, Ye.N., Makarov, V.A. (2015), Interaction of the heald elements in the process of warp shed formation [Vzaimodeystviye elementov remizki v protsesse obrazovaniya zeva] *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti – News of High Educational Institution. Technology of Textile Industry*, 2015, № 2 (356), pp. 103-108.
3. Mshveniyeradze, A.P., Spiridonov, G.K. (1987), *Beschelnochnyye lentotkatskiye stanki* [Shuttleless narrow-fabric looms], Moscow, Legprombytizdat, 1987, 152 p.

*Статья поступила в редакцию 15. 03. 2017 г.*

## КОНЦЕПЦИЯ ИНТЕРАКТИВНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО РУКОВОДСТВА ПО РЕМОНТУ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

### CONCEPT OF INTERACTIVE VIRTUAL MANUAL ON METAL CUTTING MACHINES REPAIR

**Н.В. Беляков, В.И. Ольшанский\*, Р.Р. Атабаев**  
*Витебский государственный технологический университет*

УДК 658.51:621.81  
**N. Belyakov, V. Alshanski\*, R. Atabaeyeu**  
*Vitebsk State Technological University*

#### РЕФЕРАТ

*МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ СТАНКИ, СБОРКА, БАЗИРОВАНИЕ, СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ФОРМАЛИЗАЦИЯ, ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, ИНТЕРАКТИВНОЕ ЭЛЕКТРОННОЕ РУКОВОДСТВО*

*В работе авторами выполнен анализ машиностроительных систем автоматизированного проектирования. Исследованы проблемы теории базирования, формализации проектирования схем базирования и приспособлений, обеспечение условий собираемости узлов и деталей. Выполнен анализ имеющихся на данный момент программных продуктов для создания интерактивных виртуальныхборок. Проводится работа по разработке алгоритмического, методического и программного обеспечения интерактивного виртуального руководства для изготовления и ремонта металлорежущих станков (на базе ОАО «Вистан»). Система поддержки принятия решений по ремонту поможет избежать проблем ошибочного базирования элементов при сборке, ускорит процесс адаптации сборщиков к новому типу собираемого оборудования, облегчит процессы сборки и обслуживания, что приведет к снижению затрат времени и повышению качества сборки.*

#### ABSTRACT

*METAL CUTTING MACHINES, ASSEMBLY, BASING, COMPUTER-AIDED DESIGN, FORMALIZATION, SOFTWARE, INTERACTIVE ELECTRONIC MANUAL*

*In this paper the authors analyzed the engineering computer-aided design systems. They investigated problems of the basing theory, formalization of basing and devices layout design, and provision of conditions for units and parts assemblability. Currently available software for creating interactive virtual assembly is analyzed. The urgency and the objective are justified. It will result in the development of algorithmic, methodical software for interactive virtual manual on metal cutting machines manufacture and repair (on the basis of JSC «Vistan»). Decision support systems for repair process will solve the problem of false-based elements during the assembly, accelerate the process of adaptation of assembly workers to a new type of assembled equipment, and simplify assembly and maintenance processes, which will reduce the amount of time and the probability of error for the assembly personnel.*

При длительной эксплуатации металлорежущих станков возникают негарантийные отказы, устранением которых занимаются фирмы, использующие оборудование или сервисные службы. Для этого разрабатываются технологические

процессы по ремонту. При подготовке механосборочного производства на станкостроительных предприятиях оформляется комплект технологической документации. Однако работать с этими документами на рабочих местах при

\* E-mail: [olshanskiy.valeriy@mail.ru](mailto:olshanskiy.valeriy@mail.ru) (V. Alshanski)

выполнении операций (особенно сборочных) могут только квалифицированные рабочие, имеющие определенный навык и опыт. Поэтому при приеме на работу ремонтника или сборщика предприятию приходится затрачивать немалые средства на обучение.

Проведенный анализ машиностроительных систем автоматизированного проектирования показал, что рынок систем автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроении представлен большим разнообразием САПР как зарубежного, так и отечественного производства (CATIA, Pro/ENGINEER, CADD5, EUCLID, UNIGRAPHICS, CADdy, T-FLEX, КОМПАС, СПРУТ, УП «Институт «Белоргстанкинпром», «Интермех», Consistent Software и др.). Большую часть этого рынка занимают системы автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП): TechCard («Интермех»), ТехноПро (T-FLEX), АВТОПРОЕКТ, Вертикаль (КОМПАС), GTP (СПРУТ), САПР ТП (УП «Институт «Белоргстанкинпром»), Technologi CS, FOBOS (Consistent Software) и др. Существует ряд программных продуктов для имитации действий сборщика. Это такие системы как Cortona 3D (Rapid Manual, Rapid Catalog, Rapid Learning), Siemens Tecnomatix Plant Simulation и др. Стоимость вышеперечисленных систем абстрактного назначения составляет десятки тысяч долларов.

Однако для металлорежущих станков специализированные интерактивные виртуальные системы для изготовления и ремонта не разрабатывались ввиду отсутствия формальных методик по базированию при сборке и ремонте, обеспечению условий собираемости узлов и деталей, а также большой трудоемкости, необходимости иллюстрации технологического процесса разборки и сборки в динамике.

Исследованиям проблемы формализации проектирования в Республике Беларусь посвящены работы: Жолобова А. А., Левина Г. М., Владимирова Е. В., Ламбина Л. Н., Цветкова В. Д., Махнач В. И., Горанского Г. К., Ярмоша Н. А., Раковича А. Г., Медведева С. В. и других (Формализация проектирования процессов сборки, САПР ТП деталей и компоновок агрегатных станков, САПР ТП обработки деталей класса «валы и втулки», САПР конструкций приспособлений) – ОИПИ НАНБ г. Минск;

Кане М. М., Медведева А. И., Филонова И. П., Курча Л. В. и других (Формализация и стандартизация проектирования процессов изготовления зубчатых колес; выбор и назначение баз при контроле деталей) – БНТУ г. Минск; Попок Н. Н., Хейфеца М. Л., Кухты С. В. (Автоматизация проектирования технологических процессов многоменклатурного производства) – ПГУ г. Новополоцк; Пашкевича М. Ф. (Теория базирования заготовок) – МГТУ, г. Могилев. За пределами Республики Беларусь тематика разрабатывалась Серебряковым В. И. (Польша); Норенковым И. П., Соломенцевым Ю. М., Базровым Б. М., Байором Б. Н., Емельяновым В. Н., Абрамовым Ф. Н., Ивановым А. А., Самаркиным А. И. и других (Россия).

В настоящее время теория базирования, формализация проектирования схем базирования и приспособлений, обеспечение условий собираемости узлов и деталей является предметом обсуждения специалистов [1-10 и других]. Так в статье [1] рассмотрены вопросы теоретического обеспечения сборки. Показано, что при сборке ответственных изделий необходимо рассматривать схемы базирования деталей в узле. Приведены положения теории сборочного базирования, рекомендуемые определять число сборочных связей по всем базовым поверхностям, учитывать влияние избыточных связей на качество сборки и надежность. Представлены возможные пути совершенствования технологии сборки. В работе [2] рассмотрены текущие проблемы базирования, несогласованность информации по данному вопросу. Предложена новая логика базирования. Проанализированы просчеты в существующей системе базирования. Рассмотрены методы базирования деталей сложной конфигурации. В статье [3] приведены факторы, влияющие на выбор базирующих элементов, их классификатор и пример выбора базирующих элементов. Описано, как влияет лишение степеней свободы заготовки на конструкцию базирующего элемента. Влияние вида базы (явная, скрытая), поверхности заготовки и жесткости заготовки. В работе [4] представлена методика определения отсчетных баз и их нормируемых участков для заданных на чертежах изделий размеров. В качестве примера выполнен анализ указанных баз по чертежу призматической детали. Изложены основные факторы, вызывающие

погрешность базирования, и дополнительные факторы, влияющие на величину последней. Приведен анализ влияния указанных факторов на точность базирования призматической заготовки. В статье [5] рассмотрены три способа базирования сопрягаемых деталей при сборке: жесткое, полужесткое, свободное. Показано, что жесткое базирование характерно для сборочных систем, в основе которых лежит принцип полной взаимозаменяемости. Полужесткое базирование используется в системах, построенных по принципу частичной взаимозаменяемости. Свободное базирование в основном имеет место в системах кассетирования деталей с невысокими требованиями к точности операции совмещения. В работе [6] показано, что конструкция сборочной головки определяется видом соединения деталей в узел: путем геометрического или силового замыкания. Приведены схемы сборочных головок с вращательным и поступательным движением инструмента и их сравнительные характеристики с электро- и пневмоприводом. Даны принципиальные и конструктивные схемы сборочных головок для разъёмных и неразъёмных соединений с использованием различных технологий, позволяющие выработать оптимальные проектные рекомендации. В статье [7] проведен анализ технических требований, предъявляемых к соединениям деталей при проектировании технологических процессов сборки. Рассмотрены основные виды соединений и особенности их получения. В статье [8] рассматривается реализация парадигмы цифрового прототипирования на основе первичности 3D-модели изделия. Показаны особенности начального этапа конструкторского проектирования в CAD Inventor Autodesk с использованием инструментов ассоциативности, параметризации и адаптивности на примере создания сборки валкового механизма. В статье [9] рассматриваются особенности автоматизированного проектирования технологических процессов сборки изделий в машиностроении. Приводится анализ существующего программного обеспечения. Сделаны выводы, что на сегодняшний день разработки в области САПР ТП сборки сильно разрознены, отсутствует наиболее приближенная к реальным требованиям концепция системы в целом. В работе [10] рассмотрена методика ав-

томатизированного определения конструктивно-технологического состава изделия. Использована система распознавания электронного макета конструкции типового изделия по его геометрическим параметрам.

Однако в работах не описываются задачи, которые решаются при базировании, нет разграничения понятий схем базирования и установки, проектного и реального базирования и, как следствие, не приводятся формальные методики, алгоритмы, правила разработки сборочных приспособлений, формальные методики оценки условий собираемости, работоспособные программные продукты для металлорежущих станков.

Таким образом, целью настоящей работы является разработка алгоритмического, методического и программного обеспечения интерактивного виртуального руководства для изготовления и ремонта металлорежущих станков (на базе ОАО «Вистан»).

Предлагается концепция системы поддержки принятия решений, согласно которой интерактивное виртуальное руководство будет представлять собой программный продукт, включающий: 2D и 3D модели узлов, деталей, приспособлений, сборочных стендов и инструментов; базу данных отказов и способов их устранения; технологические схемы разборки и сборки узлов; пооперационную технологию разборки и сборки с текстовым описанием технологических операций; виртуальные и анимационные модели разборки и сборки узлов.

В соответствии с указанной целью работы решены следующие задачи: изучение современного состояния вопроса по алгоритмизации процессов базирования при сборке и обеспечению условий собираемости; анализ отказов при работе металлорежущих станков, а также способов их обнаружения; разработка общей структуры программного обеспечения; разработка алгоритма функционирования системы поддержки принятия решений; анализ и классификация технологических и конструкторских документов базового предприятия (ОАО «Вистан»); разработка технологических схем сборки и разборки при ремонте металлорежущих станков и сельскохозяйственных агрегатов; разработка формата базы данных и баз данных трехмерных моделей

конструктивных элементов металлорежущих станков; разработка имитационных моделей процессов сборки и разборки металлорежущих станков; определение конфигурации технических средств; разработка методики и программы испытаний; разработка программного обеспечения и его комплексная отладка.

Указанные концептуальные представления реализованы в виде пилотного проекта интерактивного электронного технического руководства (ИЭТР) для изготовления и ремонта суппорта зубодолбежного станка ВС122 (рисунок 1) (на базе ОАО «Вистан»).

отображается технологический процесс сборки/разборки в виде дерева, во 2-й расположена область вывода видеоинструкций, в 3-й отображается описание каждой операции ТП сборки и в 4-й производится выбор задачи с пояснениями.

ИЭТР построено в виде древовидного графа. В левой части содержится структура документа, а в правой – видеоинструкция по сборке, выполненной в Autodesk Inventor, а также текстовая информация – описание этапов сборки.

Разработанная программа (ИЭТР) имеет несколько вариантов отображения.

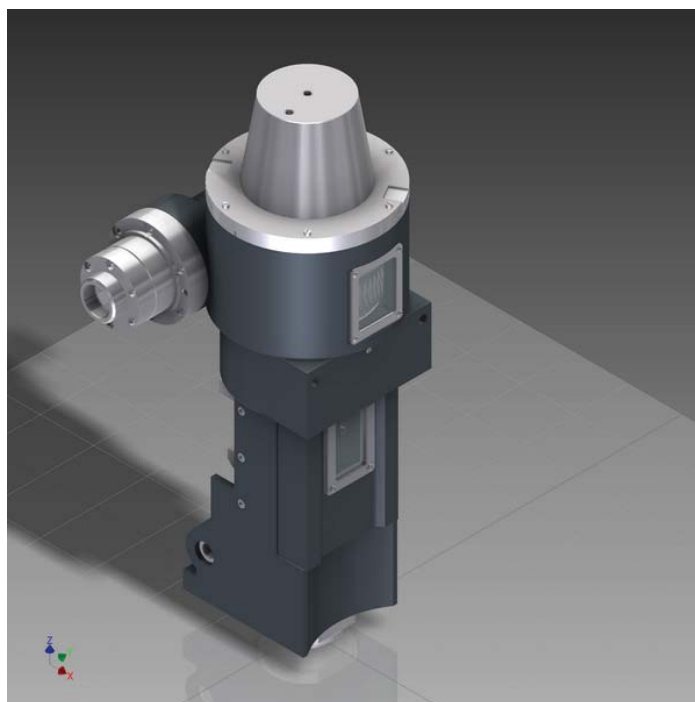


Рисунок 1 – Суппорт зубодолбежного станка ВС122

Создание ИЭТР производится на языке C#. Окно программы (рисунок 2) создано с минимальным разрешением 800×600 пикселей для отображения на старых мониторах, которые поддерживают разрешение экрана не более 1024×768. По умолчанию вставлены кнопки свернуть, развернуть на весь экран (не активна так как все элементы отображаются корректно) и кнопка завершения программы как «крестиком», так и кнопкой «Выход». Предварительная версия оболочки содержит 4 области: в 1-й

Разборка или сборка по операциям. Этот вариант предлагает посмотреть процесс разборки или сборки узла поочередно. Все операции расположены в порядке, установленном ТП сборки. При выборе операции из дерева слева в правой части выводится последовательность сборки с указанием используемых деталей. Под окном описания сборки выводится видеоинструкция, которая отражает ход выполнения операции. Воспроизводимую видеоинструкцию можно останавливать, отматывать назад и вперед при

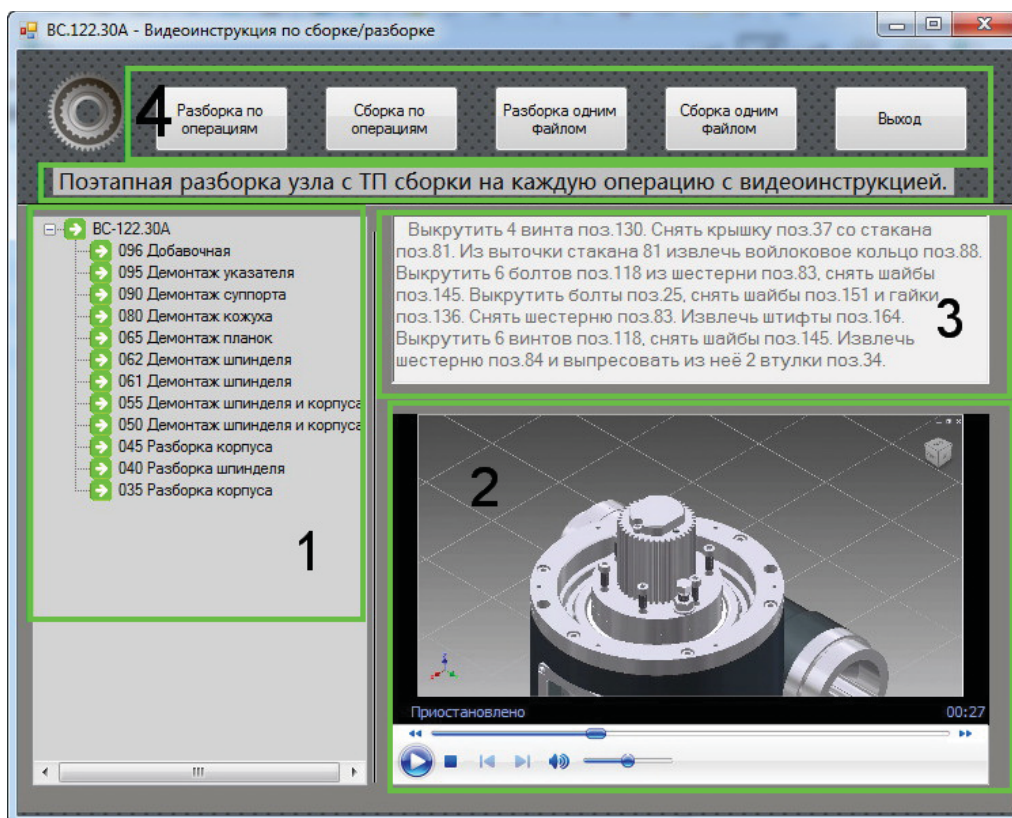


Рисунок 2 – Многооконный интерфейс ИЭТР

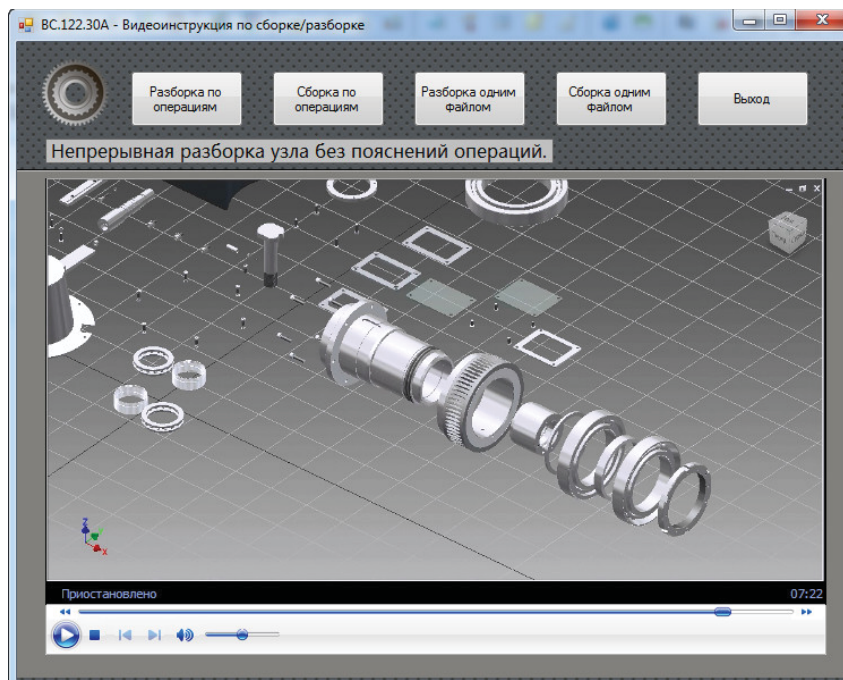


Рисунок 3 – Процесс разборки одним файлом

необходимости. Двойной щелчок мыши разворачивает видеоруководство на весь экран.

Разборка/сборка представлена одним файлом. Этот вариант предлагает изучить процесс сборки или разборки без пояснений ТП сборки. Размер окна вывода видеоинструкции увеличен, для более удобного просмотра и как в предыдущем варианте доступно изображение на весь экран при двойном нажатии левой клавиши мыши. Данный вариант будет полезен для первичного ознакомления с процессом сборки узла (рисунок 3).

Современные графические пакеты дают возможность трёхмерного представления сложных технических процедур. Интерактивные виртуальные системы открывают принципиально новый подход к электронной документации: визуальная информация воспринимается пользователями значительно легче, чем традиционные текстовые руководства, не требует перевода на другие языки, а использование оптимизированных 3D-данных позволяет получать инструкции через интернет и просматривать их на настольных, мобильных или карманных ЭВМ.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Семенов, А.Н. (2008), Влияние закономерностей базирования деталей на функциональное качество и надежность машин, *Сборка в машиностроении, приборостроении*, 2008, № 12, С. 3-8.
2. Новоселов, Ю.А. (2009), Альтернативная концепция теории базирования в машиностроении, *Вестник машиностроения*, 2009, № 2, С. 48-55.
3. Базров, Б.М. (2009), Классификация базирующих элементов станочных приспособлений, *Вестник машиностроения*, 2009, № 11, С. 53-56.
4. Абрамов, Ф.Н. (2009), К вопросу об основных и дополнительных факторах, влияющих на точность базирования заготовок, *Вестник машиностроения*, 2009, № 7, С. 59-62.
5. Иванов, А.А. (2014), Способы базирования сопрягаемых деталей при сборке, *Сборка в машиностроении, приборостроении*, 2014, № 11, С. 14-18.
6. Иванов, А.А. (2014), Инструментальная оснастка сборочного модуля для соединения деталей в узел, *Сборка в машиностроении, приборостроении*, 2015, № 3, С. 19-22.

#### REFERENCES

1. Semenov, A.N. (2008), The effect of laws based on the functional details of the quality and reliability of the machines [Vliyaniye zakonomernostey bazirovaniya detalej na funktsional'noe kachestvo i nadezhnost' mashin], *Sborka v mashinostroenii, priborostroenii – Assembly in mechanical engineering, instrument making*, 2008, № 12, pp. 3-8.
2. Novoselov, J.A. (2009), Alternative concept based theory in engineering [Al'ternativnaya koncepciya teorii bazirovaniya v mashinostroenii], *Vestnik mashinostroeniya – Mechanical engineering Bulletin*, 2009, № 2, pp. 48-55.
3. Bazrov, B.M. (2009), Classification is based elements of machine tools [Klassifikaciya baziruyushchih ehlementov stanochnyh prispособlenij], *Vestnik mashinostroeniya – Mechanical engineering Bulletin*, 2009, № 11, pp. 53-56.
4. Abramov, F.N. (2009), On the question of the basic and additional factors which influence the accuracy of the bases of blanks [K voprosu ob osnovnyh i dopolnitel'nyh faktorah], *Vestnik mashinostroeniya – Mechanical engineering Bulletin*, 2009, № 7, pp. 59-62.
5. Ivanov, A.A. (2014), Methods based mating parts during assembly [Sposoby bazirovaniya

7. Спиридонов, О.В. (2014), Анализ соединений деталей при разработке технологических процессов сборки, *Сборка в машиностроении, приборостроении*, 2014, № 1, С. 19-22.
8. Калачев, О.Н. (2016), Особенности методики экранной сборки цифрового прототипа в CAD Inventor Autodesk, *Сборка в машиностроении, приборостроении*, 2016, № 3, С. 3-6.
9. Самаркин, А.И. (2016), Автоматизированное проектирование технологических процессов сборки, *Сборка в машиностроении, приборостроении*, 2016, № 1, С. 19-24.
10. Ахатов, Р.Х. (2015), Распознавание конструктивно-технологического состава изделия по его электронной модели, *Сборка в машиностроении, приборостроении*, 2015, № 8, С. 8-14.
6. Ivanov, A.A. (2014), Tooling assembly module for the connection of parts in assembly [Instrumental'naya osnastka sborochnogo modulya dlya soedineniya detalej v uzel], *Sborka v mashinostroenii, priborostroenii – Assembly in mechanical engineering*, 2014, № 11, pp. 14-18.
7. Spiridonov, O.V. (2014), Analysis of connections of details in the design of technological assembly processes [Analiz soedinenij detalej pri razrabotke tekhnologicheskikh processov sborki], *Sborka v mashinostroenii, priborostroenii – Assembly in mechanical engineering, instrument making*, 2014, № 1, pp. 19-22.
8. Kalachev, O.N. (2016), Features a screen assembly technique in a digital prototype CAD Inventor Autodesk [Osobennosti metodiki ehkrannoj sborki cifrovogo prototipa v CAD Inventor Autodesk], *Sborka v mashinostroenii, priborostroenii – Assembly in mechanical engineering, instrument making*, 2016, № 3, pp. 3-6.
9. Samarkin, A.I. (2016), Computer-aided design of technological assembly processes [Avtomatizirovannoe proektirovanie tekhnologicheskikh processov sborki], *Sborka v mashinostroenii, priborostroenii – Assembly in mechanical engineering, instrument making*, 2016, № 1, pp. 19-24.
10. Akhatov, B.C. (2015), Recognition of constructive-technological composition of products on its electronic model assembly in mechanical engineering [Raspoznavanie konstruktivno-tekhnologicheskogo sostava izdeliya po ego ehlektronnoj modeli], *Sborka v mashinostroenii, priborostroenii – Assembly in mechanical engineering, instrument making*, 2015, № 8, pp. 8-14.

Статья поступила в редакцию 05. 12. 2016 г.



## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ АРМИРУЮЩИХ ХИМИЧЕСКИХ НИТЕЙ

### SIMULATION MODELING OF POROUS STRUCTURE OF REINFORCING CHEMICAL THREADS

А.Н. Бизюк, Н.Н. Ясинская\*

*Витебский государственный технологический университет*

УДК 004.9:677.494.674

A. Biziuk, N. Yasinskaya\*

*Vitebsk State Technological University*

#### РЕФЕРАТ

*ВОЛОКНИСТЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ПОЛИЭФИР, ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ПОРИСТОСТЬ, ПРОПИТКА*

*В статье рассматривается процесс пропитки армирующих волокнистых наполнителей из химических волокон в процессе получения волокнистых полимерных композиционных материалов. Пропитка является одним из самых важных этапов производства таких материалов, влияющим на эксплуатационные характеристики готовых изделий. На качество пропитки сильное влияние оказывает пористая структура армирующего волокнистого материала. С целью анализа процесса пропитки и регулирования капиллярных свойств армирующего волокнистого материала было проведено моделирование его пористой структуры. Разработана математическая модель и на ее основе создано программное обеспечение, выполняющее имитационное моделирование пористой структуры волокнистого материала. Произведено сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными, которое показало высокую точность модели.*

#### ABSTRACT

*FIBROUS POLYMER COMPOSITE MATERIALS, POLYETHER, SIMULATION MODELING, POROSITY, IMPREGNATION*

*The article describes the process of impregnating of reinforcing fibrous fillers made from chemical fibers during the production of fibrous polymeric composites. The impregnation is one of the most important stages of the production of such materials, affecting the operating characteristics of finished products. Strong influence on the quality of impregnation has a porous structure of a reinforcing fiber material. In order to analyze the impregnation process and regulation of the capillary properties of the reinforcing fibrous material, simulation of its porous structure was carried out. The mathematical model and software based on it that performs the simulation of the porous structure of the fiber material was created. Comparison of simulation results with experimental data was conducted, which showed high accuracy of the model.*

#### ВВЕДЕНИЕ

Волокнистые полимерные композиционные материалы и изделия из них обладают рядом уникальных свойств. Это определяет их широкое применение в различных отраслях современного производственного комплекса. Для армирования волокнистых полимерных композиционных материалов широко используются армирующие

волокнистые наполнители из химических волокон, которые входят в состав композита в виде коротких волокон, нитей, жгутов, тканей, нетканых материалов и других волокнистых структур. Одним из способов формирования волокнистых полимерных композиционных материалов является пропитка армирующего волокнистого наполнителя полимерным связующим [1, 4-8].

\* E-mail: [yasinskaynn@rambler.ru](mailto:yasinskaynn@rambler.ru) (N. Yasinskaya)

Требования обеспечения заданной прочности материала при производстве волокнистых полимерных композиционных материалов могут быть выполнены только при реализации качественной пропитки волокнистого наполнителя связующим (матрицей).

#### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Недостаточная пропитка полимерным связующим волокнистых наполнителей в процессе производства ведет к снижению эксплуатационных характеристик и преждевременному разрушению изделий из волокнистых полимерных композиционных материалов.

Пропитка коллоидных капиллярно-пористых материалов жидкостями – сложный процесс, зависящий от физико-химических свойств полимерного связующего и капиллярной структуры волокнистого материала, определяемой размерами и конфигурацией пор, их пространственным расположением.

Капиллярная структура волокнистого материала складывается из микроструктуры вещества волокна, из которого оно состоит, и из макроструктуры волокнистого материала [1]. Проникновение связующего вглубь капилляров, имеющих в отдельных волокнах, в особенности за то короткое время, в течение которого происходит пропитывание, не может быть значительным. Несоизмеримо большее значение для практики имеет проникновение связующего в пространство между волокнами или нитями волокнистого материала [8].

Для регулирования капиллярных свойств, создания армирующего волокнистого материала с заданной пористостью, а также анализа процесса его пропитки полимерным связующим необходима модель пористой структуры волокнистого армирующего материала.

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ ВОЛОКНИСТОГО МАТЕРИАЛА

Создание имитационной модели пористой структуры волокнистого материала для описания его пропитки связующим целесообразно начать с решения вопросов расположения волокон в пространстве, взаимодействия между отдельными волокнами, определения геометрических свойств волокнистого материала, а также случайного изменения свойств материала по длине и площади, то есть неровноту.

Моделирование пористой структуры волокнистого материала рассмотрим на примере пряжи с заданной линейной плотностью, круткой, диаметром. В пряже волокна располагаются по винтовым линиям переменного шага и радиуса. Каждое волокно по своей длине лежит не в одном слое пряжи, а в ряде слоев, переходя от центра пряжи к периферии и обратно [2].

Волокнистый материал в модели состоит из заданного количества волокон, которое можно определить, зная линейную плотность, их средний диаметр и плотность вещества. Каждое волокно описывается набором из конечного числа точек в пространстве. Расположение точек каждого волокна в пространстве задается параметрическим уравнением спирали:

$$\begin{cases} y = b \cdot t, \\ x = a \cdot \sin(t), \\ z = a \cdot \cos(t), \end{cases} \quad (1)$$

где  $x, y, z$  – координаты в пространстве,  $m$ ;  $a$  – радиус спирали,  $m$ ;  $b/a$  – угловой коэффициент спирали;  $t$  – параметр дискретизации.

Для того, чтобы расстояние между точками не зависело от параметров спирали (диаметр, количество витков, длина), использована формула длины дуги спирали:

$$L = l/b \cdot \sqrt{a^2 + b^2}, \quad (2)$$

где  $L$  – длина дуги спирали,  $m$ ;  $l$  – длина проекции спирали на ось  $y, m$ .

Для моделирования спирали нужно задать длину проекции  $l$  на ось  $y$ , количество витков спирали  $k$ , радиус спирали  $a$  и шаг дискретизации  $d$ . Тогда  $b$  можно найти по формуле:

$$b = l / (2 \cdot \pi \cdot k). \quad (3)$$

Учитывая (2), описать спираль радиуса  $a$ , с количеством витков  $k$ , длиной вдоль оси  $y$  равной  $l$ , и шагом дискретизации  $d$  можно следующими формулами:

$$\begin{cases} t = \frac{t_2}{\sqrt{a^2 + b^2}}, \\ y = b \cdot t, \quad \text{при } t_2 \in [0, L] \text{ с шагом } d. \\ x = a \cdot \sin(t), \\ z = a \cdot \cos(t), \end{cases} \quad (4)$$

Для моделирования отрезка волокнистого материала нужно сгенерировать несколько волокон со случайными параметрами: радиус спирали  $a$ , количество витков  $k$ , смещение витков вдоль оси  $y$  равное  $r_2$ , смещение волокна вдоль оси  $x$  равное  $r_1$ , смещение волокна вдоль оси  $z$  равное  $r_3$ . Тогда формулы (4) примут вид:

$$\begin{cases} t = \frac{t_2}{\sqrt{a^2 + b^2}}, \\ y = b \cdot t, \\ x = a \cdot \sin\left(t + \frac{r_2}{b}\right) + r_1, \quad \text{при } t_2 \in [0, L] \text{ с шагом } d. \\ z = a \cdot \cos\left(t + \frac{r_2}{b}\right) + r_3, \end{cases} \quad (5)$$

Необходимой линейной плотности, диаметра и равномерного распределения волокон по толщине волокнистого материала можно добиться, задавая диапазоны изменения случайных величин в модели.

На рисунке 1 изображено волокно, смоделированное согласно формулам (3), (5). Количество витков  $k$  выбрано равным 4. Показаны смещения  $r_1, r_2, r_3$  волокна относительно начального положения. Для каждого волокна эти смещения, а также радиус спирали  $a$ , выбираются случайным образом, что образует картину, видимую на рисунке 2.

На рисунке 2 изображены результаты имитационного моделирования пряжи с различной линейной плотностью и пористостью и виды по-

перечных сечений.

Модель волокнистого материала (5) используется при разработке программного обеспечения для определения пористости при заданной линейной плотности, крутке и диаметре волокнистого материала.

В результате моделирования волокнистого продукта можно определить истинную пористость, то есть объем пор, содержащихся в определенном объеме пряжи (комплексной нити).

Истинная пористость модели находится по формуле (6):

$$P_u = \left(1 - \frac{\bar{V}_g}{\bar{V}_o}\right) \cdot 100, \quad (6)$$

где  $P_u$  – истинная пористость модели, %;  $\bar{V}_g$  – суммарный объем вещества волокон,  $m^3$ ;  $\bar{V}_o$  – общий объем нити,  $m^3$ .

При вычислении общего объема нити учитывалось, что при смачивании нити жидкостью, жидкость накапливается не только внутри нити, но и на ее поверхности, образуя пленку. Чтобы учесть этот эффект при расчете пористости, в модель введен эмпирический коэффициент увеличения диаметра нити, который должен быть определен экспериментально для каждого типа вещества нитей. Для полиэфира этот коэффициент равен 1,36. Диаметр нитей вычислялся по цифровым фотографиям, полученным с помощью микроскопа [3].

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРИСТОСТИ ВОЛОКНИСТОГО МАТЕРИАЛА

В результате экспериментальных исследований можно определить кажущуюся пористость волокнистого материала, то есть объем незамкнутых пор, способных заполняться жидкостью.

Кажущуюся пористость волокнистого материала определяли путем заполнения капиллярных пространств образца комплексной полиэфирной нити жидкостью, полностью смачивающей волокно. В качестве такой жидкости в результате предварительных опытов был выбран этиловый спирт, показывающий краевой угол на синтетическом волокне, близкий к нулю.

Предварительно взвешенный образец полиэфирной нити погружали в спирт при комнат-

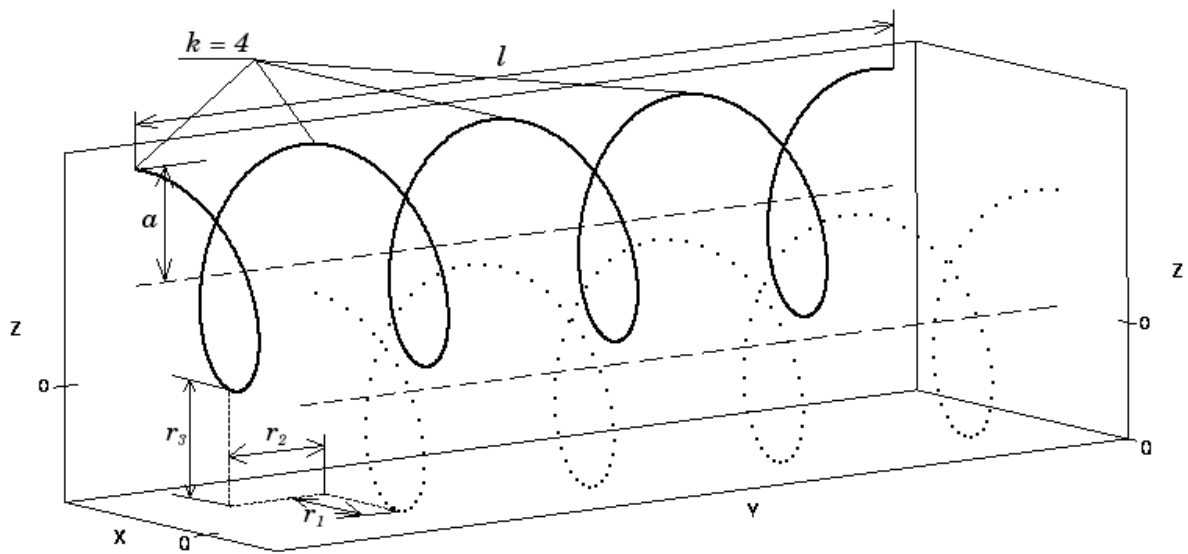


Рисунок 1 – Модель волокна

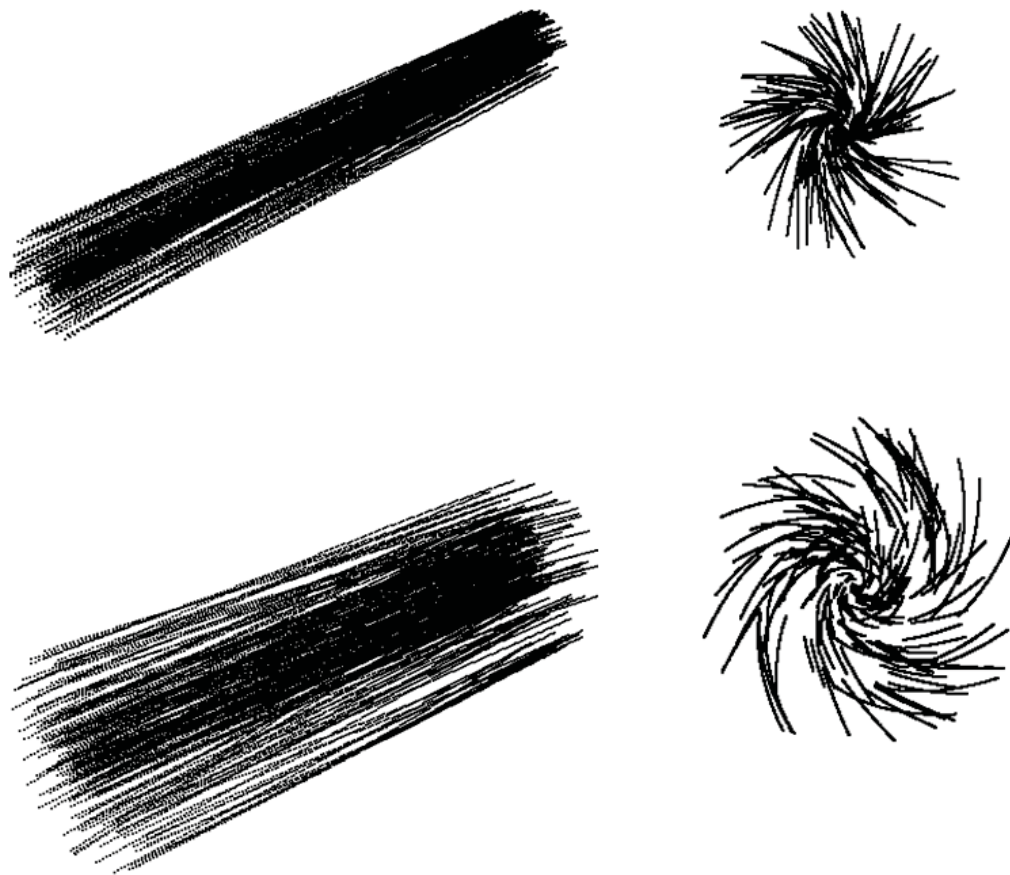


Рисунок 2 – Имитационная модель волокнистого материала (пряжи, комплексной нити)

ной температуре (18–22 °С). Предварительные исследования показали, что продолжительность погружения полиэфирной нити в спирт не влияет на результат определения кажущейся пористости. Это подтверждает очень хорошее смачивание волокнистого материала спиртом и указывает на то, что процесс проникновения спирта в те поры, в которые он способен проникнуть, практически заканчивается за несколько секунд. После пропитки образец вынимали с такой скоростью, чтобы спирт успевал стечь с поверхности нити, и проводили взвешивание.

Расчет кажущейся пористости волокнистых материалов по результатам эксперимента проводился по формуле (7):

$$P_k = \left(1 - \bar{V}_m / (\bar{V}_{жс} + \bar{V}_m)\right) \cdot 100, \quad (7)$$

где  $P_k$  – кажущаяся пористость, %;  $\bar{V}_m$  – средний объем материала волокон (филаментов),  $м^3$ ;  $\bar{V}_{жс}$  – средний объем впитанной жидкости,  $м^3$ .

Для определения среднего объема материала волокон использовались данные о средней массе образцов и плотности материала волокон (филаментов):

$$\bar{V}_m = \bar{m}_m / \rho_m, \quad (8)$$

где  $\bar{m}_m$  – средняя масса образца волокнистого материала,  $кг$ ;  $\rho_m$  – плотность материала волокон (филаментов),  $кг/м^3$ .

Объем жидкости определялся по формуле:

$$\bar{V}_{жс} = \bar{m}_{жс} / \rho_{жс}, \quad (9)$$

где  $\bar{m}_{жс}$  – средняя масса впитанной жидкости,  $кг$ ;  $\rho_{жс}$  – плотность пропитывающей жидкости,  $кг/м^3$ .

При расчетах использовались данные о плотностях материала и пропитывающей жидкости, приведенные в таблице 1.

На рисунке 3 представлена графическая за-

висимость показателя истинной пористости от линейной плотности и диаметра, рассчитанная для смоделированной полиэфирной комплексной нити с использованием разработанного программного обеспечения, а также экспериментально определенные значения пористости для 5 образцов полиэфирной нити.

Результаты экспериментальных исследований и расчет кажущейся пористости полиэфирной комплексной нити при различных значениях диаметра и линейной плотности нитей представлены в таблице 2.

Из приведенных на графике данных видно, что пористость волокнистого материала может достигать 80 % и выше, что подтверждается данными литературных источников [1]. Кроме того, установлено, что отклонения значений истинной (расчетной) и кажущейся (экспериментальной) пористости для полиэфирной комплексной нити составляют 5–6 %, что позволяет считать модель достаточно точной.

Полученные результаты моделирования волокнистого материала и экспериментальных исследований подтверждают возможность использования разработанного программного обеспечения в технологических расчетах при проектировании армирующих волокнистых материалов для пропитки их связующими.

#### ВЫВОДЫ

Разработана математическая модель волокнистого материала с заданной линейной плотностью и диаметром. На основе разработанной математической модели создано программное обеспечение, позволяющее создавать имитационные модели пористой структуры пряжи (комплексной нити) со случайным расположением волокон (филаментных нитей). Проведены экспериментальные исследования пористости текстильных волокнистых материалов и подтверждена высокая точность моделирования армирующих текстильных материалов из гидрофобных волокон. Разработанное программное обеспечение может использоваться для прогнозирования процесса пропитки в процессе производства волокнистых полимерных композиционных материалов.

Таблица 1 – Плотность материалов

Название	Плотность, кг/м <sup>3</sup>
Полиэфирное волокно	1390
Этиловый спирт	789

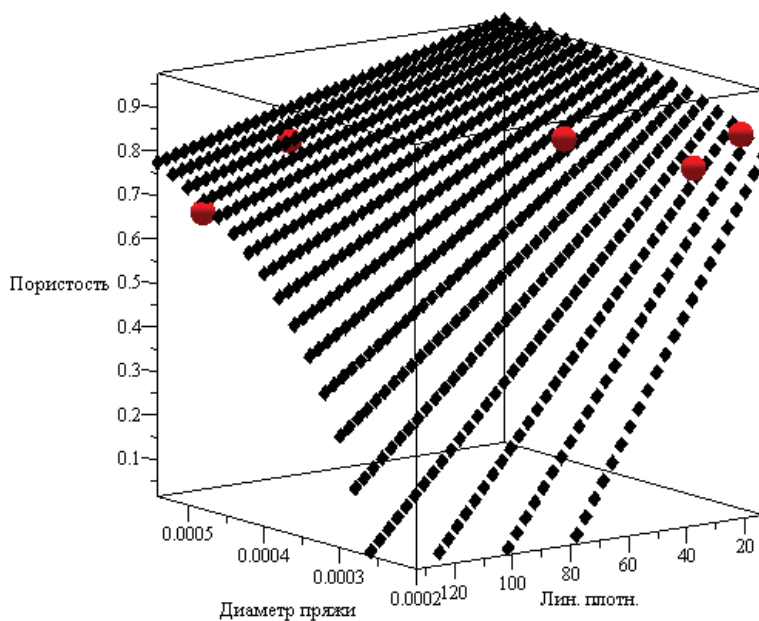


Рисунок 3 – Результаты расчета пористости

Таблица 2 – Сравнение модели с экспериментальными значениями

N	Эксперимент			Модель
	Линейная плотность, текс	Диаметр нити, D, м	Пористость, P, %	Пористость, P <sub>м</sub> , %
1	28	0,00024	79,8	75,7
2	17	0,00022	87,3	82,3
3	46	0,00034	83,5	80,1
4	133	0,00048	68,9	71,7
5	93	0,00052	79,2	83,1

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Воюцкий, С.С. (1969), *Физикохимические основы пропитывания и ипрегнирования волокнистых систем водными дисперсиями полимеров*, Ленинград, Химия, 336 с.
2. Кукин, Г.Н., Соловьев, А.Н., Кобляков, А.И. (1989), *Текстильное материаловедение (волокна и нити) : учебник для вузов, 2-е изд., перераб. и доп.*, Москва, Легпромбытиздат, 352 с.
3. Кобляков, А.И., Кукин, Г.Н., Соловьев, А.Н. и др. (1986), *Лабораторный практикум по текстильному материаловедению: учеб. пособ. для вузов, 2-е изд., перераб. и доп.*, Москва, Легпромбытиздат, 344 с.: ил.
4. Бизюк, А.Н., Ясинская, Н.Н. (2015), Численное моделирование пропитки многослойных текстильных материалов, *Материалы докладов 48 Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, посвященной 50-летию университета в 2 т.*, Витебский государственный технологический университет, 2015, С. 23-25.
5. Бизюк, А.Н., Жерносек, С.В., Ясинская, Н.Н., Ольшанский, В.И. (2015), Оптимизация технологического процесса формирования текстильных композиционных материалов в условиях воздействия электромагнитных волн СВЧ- и ИК-диапазона, *Химическая технология*, 2015, Т. 16. № 1, С. 6-12.
6. Бизюк, А.Н., Жерносек, С.В., Ольшанский, В.И., Ясинская, Н.Н. (2014), Исследование влияния СВЧ-излучения на показатели качества тканых полотен, *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, 2014, № 2 (350), С. 17-20.
7. Бизюк, А.Н., Жерносек, С.В., Ольшанский, В.И., Ясинская, Н.Н. (2014), Моделирование процесса пропитки текстильных материалов под действием СВЧ-излучения, *Известия высших*

## REFERENCES

1. Voyutskiy, S.S. (1969), *Fizikohimicheskie osnovy propityvaniya i ipregnirovaniya voloknistyh sistem vodnymi dispersijami polimerov* [Physicochemical foundations of impregnation and impregnation of fibrous systems with aqueous dispersions of polymers], Leningrad, Chemistry, 336 p.
2. Kukin, G.N., Soloviev, A.N., Koblyakov, A.I. (1989), *Tekstil'noe materialovedenie (volokna i niti) : uchebnyk dlja vuzov, 2-e izd., pererab. i dop* [Textile Materials (fibers and yarns): the textbook for high schools, 2 ed., supplm. and revised], Moscow, Legprombytizdat, 352.
3. Koblyakov, A.I, Kukin, G.N., Soloviev, A.N. and others (1986), *Laboratoryj praktikum po tekstil'nomu materialovedeniju: ucheb. posob. dlja vuzov, 2-e izd., pererab. i dop.* [Laboratory Workshop on Textile Material Science: Proc. Help. for high schools, 2 ed., supplm. and revised], Moscow, Legprombytizdat, 344 p. : ill.
4. Biziuk, A.N., Yasinskaya, N.N. (2015), Numerical simulation of multi-layer textile impregnation [Chislennoe modelirovanie propitki mnogoslojnyh tekstil'nyh materialov], *Proceedings of the 48 International scientific-technical conference of teachers and students dedicated to the 50th anniversary of the University of 2 t.*, the Vitebsk State Technological University, 2015, pp. 23-25.
5. Biziuk, A.N., Zhernosek, S.V., Yasinskaya, N.N., Alshanski, V.I. (2015), Optimization of the technological process of formation of textile composite materials under the influence of electromagnetic waves in the microwave and infrared range [Optimizacija tehnologicheskogo processa formirovanija tekstil'nyh kompozicionnyh materialov v uslovijah vozdejstvija jelektromagnitnyh voln SVCh- i IK-diapazona], *Chemical Technology*, 2015, T. 16. No. 1, P. 6-12.
6. Biziuk, A.N., Zhernosek, S.V., Alshanski, V.I., Yasinskaya, N.N. (2014), Investigation of the

учебных заведений. *Технология легкой промышленности*, 2014, Т. 23, № 1, С. 16-18.

8. Бизюк, А.Н., Жерносек, С.В., Ясинская, Н.Н., Ольшанский, В.И. (2014), Исследование пропитки текстильных материалов в поле СВЧ излучения, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2014, № 1 (26), С. 21-28..

effect of microwave radiation on the quality of woven fabrics [Issledovanie vlijanija SVCh-izluchenija na pokazateli kachestva tkanyh poloten], *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti – The New of higher educational institution. Technology of the Textile Industry*, 2014, No. 2 (350), pp. 17-20.

7. Biziuk, A.N., Zhernosek, S.V., Alshanski, V.I., Yasinskaya, N.N. (2014), Modeling textile impregnation process under the influence of microwave radiation [Modelirovanie processa propitki tekstil'nyh materialov pod dejstviem SVCh-izluchenija], *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Tehnologija legkoj promyshlennosti – Proceedings of the higher educational institutions. Technology of Light Industry*, 2014, Vol. 23, No. 1, P. 16-18.
8. Biziuk, A.N., Zhernosek, S.V., Yasinskaya, N.N., Alshanski, V.I. (2014), Study of the impregnation of textile materials in the field of microwave radiation [Issledovanie propitki tekstil'nyh materialov v pole SVCh izluchenija], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta – Vestnik of the Vitebsk State Technological University*, 2014, No. 1 (26), pp. 21-28.

Статья поступила в редакцию 09. 03. 2017 г.



## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕНОСА ТЕПЛОТЫ ЧЕРЕЗ УЧАСТКИ ОКОЛОШОВНОЙ ЗОНЫ ОДЕЖДЫ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

## MODELING OF WARMTH TRANSFER PROCESS THROUGH THE SITES LOCATED AROUND A SEAM IN SPECIAL PURPOSE CLOTHES IN THE CONDITIONS OF NON-STATIONARY HEAT CONDUCTIVITY

**В.П. Довыденкова\***

*Витебский государственный технологический университет*

УДК 677.072.6 – 037.4

**V. Davydzienkava\***

*Vitebsk State Technological University*

### РЕФЕРАТ

*СПЕЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТНАЯ ОДЕЖДА ПОЖАРНЫХ, ПЕРФОРИРОВАННЫЙ МАТЕРИАЛ, ПЕРЕНОС ТЕПЛОТЫ, МЕТОД КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ*

*Объектами исследования являются узлы и соединения специальной защитной одежды пожарных, изготавливаемой из огнестойких многослойных материалов с металлизированным покрытием.*

*Целью работы является математическое моделирование процесса переноса теплоты через неповреждённые участки околошовной зоны одежды специального назначения в условиях нестационарной теплопроводности на базе применения метода сеток.*

*Рассмотрена и формализована задача моделирования механизма переноса теплоты через участки околошовной зоны одежды специального назначения. Представлены математические зависимости, отражающие изменение температуры и плотности теплового потока на внутренней поверхности неповреждённых околошовных участков защитной одежды в условиях нестационарной теплопроводности. Получена обобщённая математическая зависимость в виде системы уравнений, позволяющая моделировать, последовательно воспроизводить процесс нагрева и определять температуру и плотность теплового потока на внутренней поверхности огнестойкого металлизированного материала в любой момент времени. Данная зависимость является базовой для дальнейшего исследова-*

### ABSTRACT

*SPECIAL PROTECTIVE CLOTHING FOR FIRE-GUARD, PERFORATED MATERIAL, WARMTH TRANSFER, FINITE DIFFERENCE METHOD*

*The problem of modeling of the mechanism of a warmth transfer through sites which are located around a seam in clothes of a special purpose are considered and formalized. The mathematical dependence, reflecting temperature and heat flux density changes in an internal surface of the integrity of the sites which are located round a seam in protective clothes in the conditions of non-stationary heat conductivity is presented. The generalized model is received which allows to simulate, and consistently reproduce process of heating and to determine temperature and a heat flux density on an internal surface of the multilayered metallized material at any moment of time. Adequacy to the received mathematical model is confirmed experimentally.*

\* E-mail: [davydzienkava@mail.ru](mailto:davydzienkava@mail.ru) (V. Davydzienkava)

*ния и визуализации процесса переноса теплоты через перфорированные иглой швейной машины участки специальной защитной одежды пожарных от повышенных тепловых воздействий тяжелого типа в условиях нестационарной теплопроводности. Адекватность полученной базовой математической зависимости в виде системы уравнений подтверждена экспериментальными исследованиями.*

Для обеспечения безопасных условий труда пожарных используется специальная одежда, защищающая от воздействия интенсивных тепловых потоков, высоких температур, механических и климатических воздействий. При её изготовлении в настоящее время все чаще применяются многослойные огнестойкие материалы. Металлизированные огнестойкие материалы на тканой основе обладают рядом преимуществ. Не теряя свойств, присущих текстилю (невысокая жёсткость, хорошая драпируемость, высокие прочностные характеристики), они приобретают свойства, присущие металлам (обладают электрической проводимостью, отражают тепловое и электромагнитное излучение).

При соединении деталей специальной защитной одежды из огнестойких металлизированных материалов с пленочным покрытием возникают повреждения металлизированного слоя и тканой основы. В процессе эксплуатации происходит постепенное увеличение размера отверстий от прокола иглы в местах ниточного скрепления, в результате чего между боковой поверхностью поры огнестойкого металлизированного материала и переплетением швейных ниток образуются зазоры, способствующие переносу влаги и теплоты.

Специальная защитная одежда, изготовленная из указанных материалов, предназначена для ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций и проведения аварийно-спасательных работ непосредственно вблизи или в очаге пожара. Несущественное и незаметное при визуальном осмотре повреждение огнестойкого металлизированного материала в околошовной зоне и последующая раздвижка нитей в швах не является индикатором очевидных повреждений,

но может привести к преждевременному отказу готового изделия во время его использования.

Для исключения возможных отказов специальной защитной одежды пожарных необходим всесторонний контроль, включающий исследование динамики изменения теплозащитных свойств огнестойкого металлизированного материала верха на неповрежденных участках и в местах соединения деталей, то есть в швах.

В настоящее время известен ряд работ российских и зарубежных ученых, посвященных исследованию теплозащитных свойств материалов (пакетов материалов). Однако теоретических исследований, описывающих механизм переноса теплоты через околошовные участки одежды, устанавливающих влияние размеров пор на изменение теплозащитных свойств готовых изделий, не существует.

Целью данной работы является математическое моделирование процесса переноса теплоты через неповреждённые участки околошовной зоны одежды специального назначения в условиях нестационарной теплопроводности на базе применения метода сеток. Полученная математическая зависимость будет являться исходной для исследования и визуализации процесса переноса теплоты через перфорированные иглой швейной машины участки одежды специальной защитной пожарной от повышенных тепловых воздействий тяжелого типа (далее ОСЗ ПТВ Т) в условиях нестационарной теплопроводности.

В работах российских и зарубежных исследователей решение задач теплопроводности в многослойных текстильных материалах (пакетах материалов) реализовано преимущественно с использованием классических методов расчёта

(метода разделения переменных, операционно-го). Однако получение точного аналитического решения применительно к процессу нагрева (охлаждения) текстильного многослойного материала зачастую связано с трудностью адекватного описания граничных условий, которые не всегда однозначны.

В реальных условиях ликвидации чрезвычайных ситуаций при воздействии высоких температур, интенсивного теплового излучения между источником теплоты и огнетермостойким металлизированным материалом происходит теплообмен, включающий: 1) сложный теплообмен между источником и внешней поверхностью огнетермостойкого металлизированного материала; 2) теплопроводность в огнетермостойком металлизированном материале; 3) конвективную теплоотдачу от внутренней поверхности огнетермостойкого металлизированного материала к внутреннему слою воздуха.

Сложный теплообмен, протекающий между источником и внешней поверхностью огнетермостойкого металлизированного материала, является результатом совместного действия конвекции и лучеиспускания. В данном случае огнетермостойкий металлизированный материал расположен в непосредственной близости к источнику излучения, соответственно плотность теплового потока, подводимого к внешней поверхности огнетермостойкого металлизированного материала ( $q_1$ ), определена без учета конвективной составляющей, так как основная часть теплоты передается лучеиспусканием. Расчёт лучистой составляющей теплообмена между источником и внешней поверхностью огнетермостойкого металлизированного материала подробно рассматривался ранее в [1]. Формула для определения плотности теплового потока, подводимого к внешней поверхности огнетермостойкого металлизированного материала, записана в виде выражения:

$$q_1 = \frac{\varepsilon_{прив.} \cdot C_0}{10^8} (T_{ист.}^4 - T_{н1}^4), \quad (1)$$

где  $C_0$  – коэффициент излучения абсолютно черного тела,  $Вт/(м^2 \cdot К^4)$ ;  $T_{ист.}$  – температура источника, которая в данном случае равна

температуре среды ( $T_{с1}$ ) со стороны внешней поверхности огнетермостойкого металлизированного материала,  $К$ ;  $T_{н1}$  – температура на внешней поверхности огнетермостойкого металлизированного материала,  $К$ ;  $\varepsilon_{прив.}$  – приведенная поглощающая способность системы, определяемая по формуле:

$$\varepsilon_{прив.} = \frac{1}{\varepsilon_1^{-1} + \varepsilon_2^{-1} - 1}, \quad (2)$$

где  $\varepsilon_1$  – степень черноты источника излучения;  $\varepsilon_2$  – степень черноты поверхности исследуемого огнетермостойкого металлизированного материала.

Зависимость для определения плотности теплового потока, отведенного от внутренней поверхности огнетермостойкого металлизированного материала ( $q_2$ ) путем конвективной теплоотдачи была получена экспериментально, так как получить аналитическую зависимость, которая бы учитывала влияние всех факторов (объема пространства, физических свойств среды и т. п.), возникающих при проведении эксперимента в лабораторных условиях, не представляется возможным:

$$q_2 = 16 \exp [0,085 \Delta T_{вн.}], \quad (3)$$

где  $\Delta T_{вн.}$  – изменение температуры на внутренней поверхности материала,  $К$ , определяемое по формуле:

$$\Delta T_{вн.} = T_{н2} - T_{с2}, \quad (4)$$

где  $T_{н2}$  – температура на внутренней поверхности огнетермостойкого металлизированного материала,  $К$ ;  $T_{с2}$  – температура среды со стороны внутренней поверхности огнетермостойкого металлизированного материала,  $К$ .

При проведении работ вблизи источника теплового излучения происходит постепенное нагревание огнетермостойкого металлизированного материала, то есть имеет место процесс

переноса теплоты внутри твердого тела при нестационарном режиме.

В настоящее время существует множество различных численных методов расчёта теплопроводности, которые дают хорошее приближение к решению задач, трудноразрешимых при помощи аналитических методов. Из численных методов решения задач теплопроводности в настоящее время наиболее широко используется метод конечных разностей (метод сеток) [2].

Решение поставленной задачи методом конечных разностей сводится к разбиению огнетермостойкого металлизированного многослойного материала на элементарные объёмы, как показано на рисунке 1, с выделением опорных узловых точек: 1 – на границе «воздух – металлизированный слой»; 2 – внутри расчетной области «металлизированный слой»; 3 – на границе «металлизированный слой – слой полимерной пленки»; 4 – внутри расчетной области «слой полимерной пленки»; 5 – на границе «слой полимерной пленки – слой стекловолокна»; 6 – внутри расчетной области «слой стекловолокна»; 7 – на границе «слой стекловолокна – воздух».

Должно выполняться равенство:

$$q_1 = q_2 + q_{н.м.},$$

где  $q_{н.м.}$  – тепловой поток на нагрев огнетермостойкого металлизированного многослойного материала за время ( $\tau$ ),  $Вт/м^2$ :

$$q_{н.м.} = \frac{\Delta U}{F \Delta \tau}.$$

Расход теплоты ( $\Delta Q_{н.м.}$ ) на нагрев огнетермостойкого металлизированного многослойного материала,  $Дж$ :

$$\Delta Q_{н.м.} = \Delta Q_1 - \Delta Q_2 = \Delta U_{\Sigma} = c\rho V(\Delta T),$$

где  $\Delta T$  – разность температур между внешней и внутренней поверхностью огнетермостойкого металлизированного материала за время ( $\tau$ ),  $К$ .

Для разработанной модели приняты следующие обозначения:  $\Delta Q_1$  – количество теплоты, подведенное к наружной поверхности огнетермостойкого металлизированного материала при нагревании,  $Дж$ ;  $\Delta Q_2$  – количество теплоты, отведенное от внутренней поверхности огнетермостойкого металлизированного материала при нагревании,  $Дж$ ;  $\delta_1, \delta_2, \delta_3$  – соответственно, толщина металлизированного слоя, слоя полимерной плёнки, слоя тканой основы огнетермостойкого металлизированного материала,  $м$ ;  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  – соответственно, коэффициенты теплопроводности металлизированного слоя, слоя полимерной плёнки, слоя тканой основы огнетермостойкого металлизированного материала,  $Вт/м \cdot К$ .

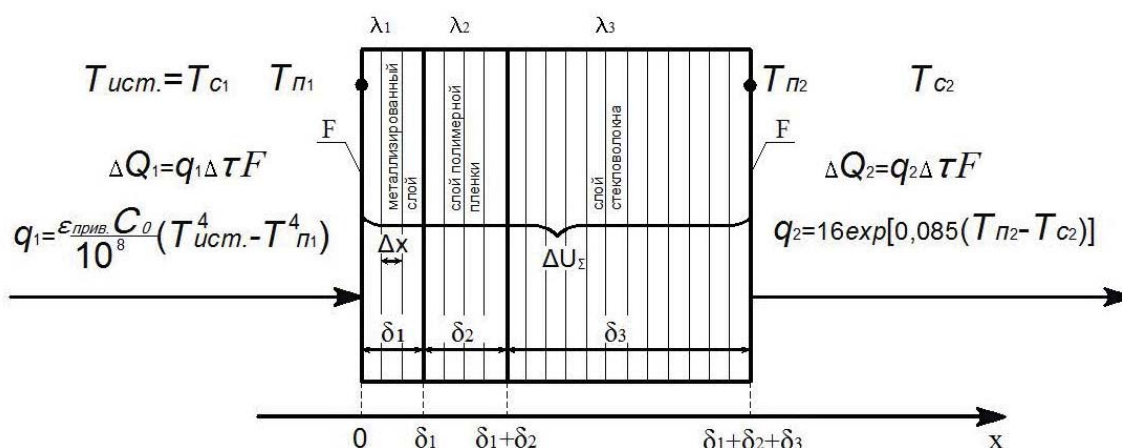


Рисунок 1 – К выводу уравнения для расчета температуры и плотности теплового потока в огнетермостойком металлизированном материале методом конечных разностей

термостойкого металлизированного материала,  $Bm/m \cdot ^\circ K$ ;  $\Delta U_\Sigma$  – суммарное изменение внутренней энергии огнетермостойкого металлизированного материала, Дж;  $\Delta x$  – элементарный шаг между узлами решетки, м;  $\tau$  – время, с;  $F$  – площадь огнетермостойкого металлизированного многослойного материала, м<sup>2</sup>.

Максимально точное решение поставленной задачи возможно в случае, если величина элементарного шага стремиться к нулю, что позволяет базовую формулу для расчета теплового потока и дифференциальное уравнение теплопроводности Фурье аппроксимировать разностными уравнениями [3]:

$$q = -\lambda \frac{dT}{dx} \Rightarrow q = -\lambda \frac{\Delta T}{\Delta x}, \text{ если } \Delta x \rightarrow 0, \quad (5)$$

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \Rightarrow \frac{\Delta T}{\Delta \tau} = a \frac{\Delta^2 T}{\Delta x^2}, \text{ если } \begin{cases} \Delta \tau \rightarrow 0 \\ \Delta x \rightarrow 0 \end{cases}, \quad (6)$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности,  $Bm/m \cdot ^\circ K$ ;  $q$  – плотность теплового потока,  $Bm/m^2$ ;  $a$  – коэффициент температуропроводности, м<sup>2</sup>/с.

Для указанных элементарных объемов суммарное изменение внутренней энергии всей системы рассматривается как суммарное изменение внутренних энергий в каждом из перечисленных объемов:

$$\begin{aligned} \Delta U_\Sigma = & \sum_{i=0}^{n_3} \Delta U(x_i, \tau) = \Delta U_1(0, \tau) + \sum_{i=1}^{n_1-1} \Delta U_2(x_i, \tau) + \\ & + \Delta U_3(\delta_1, \tau) + \sum_{i=n_1+1}^{n_2-1} \Delta U_4(x_i, \tau) + \Delta U_5(\delta_1 + \delta_2, \tau) + \\ & + \sum_{i=n_2+1}^{n_3-1} \Delta U_6(x_i, \tau) + \Delta U_7(\delta_1 + \delta_2 + \delta_3, \tau), \quad (7) \end{aligned}$$

где  $\Delta U_1(0, \tau)$  – изменение внутренней энергии на границе «воздух – металлизированный слой» при наличии подводимого к наружной поверхности потока  $q_1$ ;  $\sum_{i=1}^{n_1-1} \Delta U_2(x_i, \tau)$  – изменение внутренней энергии внутри расчетной области «металлизированный слой»;  $\Delta U_3(\delta_1, \tau)$  – изменение внутренней энергии на границе «металлизированный слой – слой полимерной пленки»;

$\sum_{i=n_1+1}^{n_2-1} \Delta U_4(x_i, \tau)$  – изменение внутренней энергии внутри расчетной области «слой полимерной пленки»;  $\Delta U_5(\delta_1 + \delta_2, \tau)$  – изменение внутренней энергии на границе «слой металлизированной пленки – слой стекловолокна»;  $\sum_{i=n_2+1}^{n_3-1} \Delta U_6(x_i, \tau)$  – изменение внутренней энергии внутри расчетной области «слой стекловолокна»;  $\Delta U_7(\delta_1 + \delta_2 + \delta_3, \tau)$  – изменение внутренней энергии на границе «слой стекловолокна – воздух» при наличии отведенного от внутренней поверхности потока  $q^2$ ;  $x_i = \Delta x \cdot i$  – координата  $i$ -ой узловой точки, м;  $n_1$  – количество узловых точек в первом слое материала, определяемое по формуле:

$$n_1 = \frac{\delta_1}{\Delta x}, \quad (8)$$

где  $n_2$  – количество узловых точек в первом и втором слоях материала, определяемое по выражению:

$$n_2 = \frac{\delta_1 + \delta_2}{\Delta x}, \quad (9)$$

$n_3$  – суммарное количество узловых точек в материале, определяемое по формуле:

$$n_3 = \frac{\delta_1 + \delta_2 + \delta_3}{\Delta x}. \quad (10)$$

Согласно закону сохранения энергии, с учетом уравнения (5), изменение внутренней энергии ( $\Delta U_1$ ) при наличии подводимого теплового потока ( $q_1$ ) определяется по формуле:

$$\begin{aligned} \Delta U_1(0, \tau) = & \Delta Q_1 - \Delta Q(\Delta x, \tau) = q_1 F \Delta \tau - q(\Delta x, \tau) F \Delta \tau = \\ = & \left( q_1 - \left( -\lambda_1 \frac{\Delta T(0, \tau)}{\Delta x} \right) \right) F \Delta \tau = \lambda_1 \left( \frac{\Delta T(0, \tau)}{\Delta x} + \frac{q_1}{\lambda_1} \right) F \Delta \tau. \quad (11) \end{aligned}$$

Изменение внутренней энергии ( $\Delta U$ ) в любой точке огнетермостойкого металлизированного материала определяется выражением:

$$\Delta U = c\rho V \Delta T, \quad (12)$$

где  $c$  – массовая теплоемкость слоя огнетермостойкого металлизированного материала,  $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{°К})$ ;  $\rho$  – плотность слоя огнетермостойкого металлизированного материала,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\Delta V$  – элементарный объем,  $\text{м}^3$ :

$$\Delta V = F \cdot \Delta x. \quad (13)$$

Алгебраические преобразования выражения (12), позволяют определить изменение температуры во времени по формуле:

$$\frac{\Delta T}{\Delta \tau} = \frac{\Delta U}{c\rho\Delta V\Delta \tau} = \frac{\Delta U}{c\rho\Delta x\Delta \tau}. \quad (14)$$

Изменение температуры наружной поверхности огнетермостойкого металлизированного материала во времени определяется с использованием закона теплопроводности Фурье [4] и зависимости (14), по формуле:

$$\frac{\Delta T(0, \tau)}{\Delta \tau} = \frac{\lambda_1}{c_1\rho_1\Delta x} \left( \frac{\Delta T(0, \tau)}{\Delta x} + \frac{q_1}{\lambda_1} \right), \quad (15)$$

где  $c_1$  – удельная массовая теплоемкость металлизированного слоя огнетермостойкого металлизированного материала,  $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{°К})$ ;  $\rho_1$  – плотность металлизированного слоя огнетермостойкого металлизированного материала,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Аналогично (11) выражение для определения изменения внутренней энергии для узловой точки, лежащей внутри расчетной области «металлизированный слой», имеет вид:

$$\begin{aligned} \Delta U_2(x, \tau) &= \Delta Q(x - \Delta x, \tau) - \Delta Q(x + \Delta x, \tau) = \\ &= (q(x - \Delta x, \tau) - q(x + \Delta x, \tau))F\Delta \tau = \\ &= \left( -\lambda_1 \frac{(T(x - \Delta x, \tau) - T(x, \tau))}{\Delta x} - \right. \\ &\left. - \left( -\lambda_1 \left( \frac{(T(x, \tau) - T(x + \Delta x, \tau))}{\Delta x} \right) \right) \right) F\Delta \tau = \\ &= \lambda_1 \left( \frac{T(x - \Delta x, \tau) + T(x + \Delta x, \tau) - 2T(x, \tau)}{\Delta x} \right) F\Delta \tau. \quad (16) \end{aligned}$$

Аналогично уравнению (15) неизвестная температура для узловой точки, лежащей внутри

расчетной области «металлизированный слой», определяется выражением:

$$\frac{\Delta T(x, \tau)}{\Delta \tau} = \frac{\lambda_1}{c_1\rho_1\Delta x} \left( \frac{T(x - \Delta x, \tau) + T(x + \Delta x, \tau) - 2T(x, \tau)}{\Delta x} \right). \quad (17)$$

В соответствии с выражением (16) изменение внутренней энергии для узловой точки, лежащей на границе расчетной области «металлизированный слой – слой полимерной пленки», будет иметь вид:

$$\begin{aligned} \Delta U_3(\delta_1, \tau) &= \Delta Q(\delta_1 - \Delta x, \tau) - \Delta Q(\delta_1 + \Delta x, \tau) = \\ &= (q(\delta_1 - \Delta x, \tau) - q(\delta_1 + \Delta x, \tau))F\Delta \tau = \\ &= \left( \lambda_1 \frac{T(\delta_1 - \Delta x, \tau) - T(\delta_1, \tau)}{\Delta x} - \lambda_2 \frac{T(\delta_1, \tau) - T(\delta_1 + \Delta x, \tau)}{\Delta x} \right) F\Delta \tau. \quad (18) \end{aligned}$$

Для определения неизвестной температуры узловых точек, лежащих на границе (стыке слоев материала), необходимо рассчитать приведенные значения теплоемкости и плотности. Величина приведенной теплоемкости определяется по формуле:

$$c_{ij} = \frac{c_i\rho_i + c_j\rho_j}{\rho_i + \rho_j}, \quad (19)$$

где  $c_{ij}$  – приведенная массовая теплоемкость узловой точки, лежащей на стыке  $i$ -го и  $j$ -го слоев огнетермостойкого металлизированного материала,  $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{°К})$ ;  $c_i$  – удельная массовая теплоемкость  $i$ -го слоя огнетермостойкого металлизированного материала,  $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{°К})$ ;  $c_j$  – удельная массовая теплоемкость  $j$ -го слоя огнетермостойкого металлизированного материала,  $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{°К})$ ;  $\rho_i$  – плотность  $i$ -го слоя огнетермостойкого металлизированного материала,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\rho_j$  – плотность  $j$ -го слоя огнетермостойкого металлизированного материала,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Приведенная плотность огнетермостойкого металлизированного материала ( $\rho_{ij}$ ) рассчитывается по формуле:

$$\rho_{ij} = \frac{\rho_i + \rho_j}{2}. \quad (20)$$

Аналогично выражению (17) неизвестная температура для узловой точки, лежащей на границе «металлизированный слой – слой полимерной пленки» будет иметь вид:

$$\frac{\Delta T(\delta_1, \tau)}{\Delta \tau} = \frac{2}{(c_1 \rho_1 + c_2 \rho_2) \Delta x} \times \left( \lambda_1 \frac{T(\delta_1 - \Delta x, \tau) - T(\delta_1, \tau)}{\Delta x} - \lambda_2 \frac{T(\delta_1, \tau) - T(\delta_1 + \Delta x, \tau)}{\Delta x} \right). \quad (21)$$

Расчет изменения внутренней энергии и температуры внутри расчетных областей «слой полимерной пленки», «слой стекловолокна» ( $\Delta U_4(x, \tau)$ ,  $\Delta U_6(x, \tau)$ ) аналогичен расчету изменения внутренней энергии и температуры для узловой точки, лежащей внутри расчетной области «металлизированный слой» ( $\Delta U_2(x, \tau)$ ), поэтому далее подробно не рассматривается.

Расчет изменения внутренней энергии и температуры на границе «слой металлизированной пленки – слой стекловолокна» ( $\Delta U_5(\delta_1 + \delta_2, \tau)$ ) аналогичен расчету изменения внутренней энергии и температуры для узловой точки, лежащей на границе расчетной области «металлизированный слой – слой полимерной пленки» ( $\Delta U_3(\delta_1, \tau)$ ), поэтому далее подробно не рассматривается.

Согласно закону сохранения энергии количество теплоты, отведенное с внутренней поверхности огнетермостойкого металлизированного материала, определяется выражением:

$$\Delta Q(\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 - \Delta x, \tau) - \Delta U(\delta_1 + \delta_2 + \delta_3, \tau) = \Delta Q_2. \quad (22)$$

Тогда расчет изменения внутренней энергии на границе «слой стекловолокна – воздух» при наличии отведенного от внутренней поверхности потока ( $q_2$ ) выполняется по формуле:

$$\begin{aligned} \Delta U_7(\delta_1 + \delta_2 + \delta_3, \tau) &= -\Delta Q_2 + \Delta Q(\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 - \Delta x, \tau) = \\ &= -q_2 F \Delta \tau + q(\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 - \Delta x, \tau) F \Delta \tau = \\ &= -\lambda_3 \left( \frac{q_2}{\lambda_1} + \frac{\Delta T(\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 - \Delta x, \tau)}{\Delta x} \right) F \Delta \tau. \end{aligned} \quad (23)$$

В соответствии с выражением (17) формула для определения неизвестной температуры для узловой точки, лежащей на границе «слой стекловолокна – воздух», будет иметь вид:

$$\frac{\Delta T(\delta_1 + \delta_2 + \delta_3, \tau)}{\Delta \tau} = -\frac{\lambda_3}{c_3 \rho_3 \Delta x} \left( \frac{q_2}{\lambda_1} + \frac{\Delta T(\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 - \Delta x, \tau)}{\Delta x} \right). \quad (24)$$

После преобразования выражения (7) с учетом выражений (11), (16), (17), (23) получена расчетная формула (25) для определения внутренней энергии огнетермостойкого металлизированного материала в условиях нестационарной теплопроводности (при нагреве):

$$\begin{aligned} \Delta U_\Sigma &= \lambda_1 \left( \frac{\Delta T(0, \tau)}{\Delta x} + \frac{q_1}{\lambda_1} \right) F \Delta \tau + \\ &+ \sum_{i=1}^{n_1-1} \lambda_1 \left( \frac{T(x - \Delta x, \tau) + T(x + \Delta x, \tau) - 2T(x, \tau)}{\Delta x} \right) F \Delta \tau + \\ &+ \left( \lambda_1 \frac{T(\delta_1 - \Delta x, \tau) - T(\delta_1, \tau)}{\Delta x} - \lambda_2 \frac{T(\delta_1, \tau) - T(\delta_1 + \Delta x, \tau)}{\Delta x} \right) F \Delta \tau + \\ &+ \sum_{i=n_1+1}^{n_2-1} \lambda_2 \left( \frac{T(x - \Delta x, \tau) + T(x + \Delta x, \tau) - 2T(x, \tau)}{\Delta x} \right) F \Delta \tau + \\ &+ \left( \lambda_2 \frac{T(\delta_1 + \delta_2 - \Delta x, \tau) - T(\delta_1 + \delta_2, \tau)}{\Delta x} - \right. \\ &\left. - \lambda_3 \frac{T(\delta_1 + \delta_2, \tau) - T(\delta_1 + \delta_2 + \Delta x, \tau)}{\Delta x} \right) F \Delta \tau + \\ &+ \sum_{i=n_2+1}^{n_3-1} \lambda_3 \left( \frac{T(x - \Delta x, \tau) + T(x + \Delta x, \tau) - 2T(x, \tau)}{\Delta x} \right) F \Delta \tau - \\ &- \lambda_3 \left( \frac{q_2}{\lambda_1} + \frac{\Delta T(\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 - \Delta x, \tau)}{\Delta x} \right) F \Delta \tau. \end{aligned} \quad (25)$$

Согласно закону сохранения энергии, изменение внутренней энергии огнетермостойкого металлизированного материала определяется выражением:

$$q_1 F \Delta \tau - q_2 F \Delta \tau = \Delta U_\Sigma. \quad (26)$$

Тогда расчетную формулу (25) можно записать в виде выражения:

$$\begin{aligned}
 & \lambda_1 \left( \frac{\Delta T(0, \tau)}{\Delta x} \right) + \sum_{i=1}^{n_1-1} \lambda_1 \left( \frac{T(x - \Delta x, \tau) + T(x + \Delta x, \tau) - 2T(x, \tau)}{\Delta x} \right) + \lambda_1 \frac{T(\delta_1 - \Delta x, \tau) - T(\delta_1, \tau)}{\Delta x} - \\
 & - \lambda_2 \frac{T(\delta_1, \tau) - T(\delta_1 + \Delta x, \tau)}{\Delta x} + \sum_{i=n_1+1}^{n_2-1} \lambda_2 \left( \frac{T(x - \Delta x, \tau) + T(x + \Delta x, \tau) - 2T(x, \tau)}{\Delta x} \right) + \\
 & + \lambda_2 \frac{T(\delta_1 + \delta_2 - \Delta x, \tau) - T(\delta_1 + \delta_2, \tau)}{\Delta x} - \lambda_3 \frac{T(\delta_1 + \delta_2, \tau) - T(\delta_1 + \delta_2 + \Delta x, \tau)}{\Delta x} + \\
 & + \sum_{i=n_2+1}^{n_3-1} \lambda_3 \left( \frac{T(x - \Delta x, \tau) + T(x + \Delta x, \tau) - 2T(x, \tau)}{\Delta x} \right) - \lambda_3 \frac{\Delta T(\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 - \Delta x, \tau)}{\Delta x} = 0. \tag{27}
 \end{aligned}$$

$$\frac{\Delta T(x)}{\Delta \tau} = \begin{cases} \frac{\lambda_1}{c_1 \rho_1 \Delta x} \left( \frac{\Delta T(0, \tau)}{\Delta x} + \frac{q_1}{\lambda_1} \right), & \text{если } x = 0; \\ \frac{\lambda_1}{c_1 \rho_1 \Delta x} \left( \frac{T(x - \Delta x, \tau) + T(x + \Delta x, \tau) - 2T(x, \tau)}{\Delta x} \right), & \text{если } 0 < x < \delta_1; \\ \frac{2}{(c_1 \rho_1 + c_2 \rho_2) \Delta x} \left( \lambda_1 \frac{T(\delta_1 - \Delta x, \tau) - T(\delta_1, \tau)}{\Delta x} - \lambda_2 \frac{T(\delta_1, \tau) - T(\delta_1 + \Delta x, \tau)}{\Delta x} \right), & \text{если } x = \delta_1; \\ \frac{\lambda_2}{c_2 \rho_2 \Delta x} \left( \frac{T(x - \Delta x, \tau) + T(x + \Delta x, \tau) - 2T(x, \tau)}{\Delta x} \right), & \text{если } \delta_1 < x < \delta_1 + \delta_2; \\ \frac{2}{(c_2 \rho_2 + c_3 \rho_3) \Delta x} \left( \lambda_2 \frac{T(\delta_1 + \delta_2 - \Delta x, \tau) - T(\delta_1 + \delta_2, \tau)}{\Delta x} - \lambda_3 \frac{T(\delta_1 + \delta_2, \tau) - T(\delta_1 + \delta_2 + \Delta x, \tau)}{\Delta x} \right), & \text{если } x = \delta_1 + \delta_2; \\ \frac{\lambda_3}{c_3 \rho_3 \Delta x} \left( \frac{T(x - \Delta x, \tau) + T(x + \Delta x, \tau) - 2T(x, \tau)}{\Delta x} \right), & \text{если } \delta_1 + \delta_2 < x < \delta_1 + \delta_2 + \delta_3; \\ - \frac{\lambda_3}{c_3 \rho_3 \Delta x} \left( \frac{q_2}{\lambda_3} + \frac{\Delta T(\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 - \Delta x, \tau)}{\Delta x} \right), & \text{если } x = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3; \\ q_1 = \frac{\varepsilon_{прив.} \cdot C_0}{10^8} (T_{уст.}^4 - T_{nl}^4), \\ q_2 = 16 \exp [0,085 (T_{n2} - T_{c2})]. \end{cases} \tag{28}$$

Таким образом, применение численного интегрирования, основанного на методе конечных разностей и методе тепловых балансов, позволяет представить расчет нагрева огнетермостойкого металлизированного материала в виде системы уравнений (28). Многократное повторение решений системы (28) с применением средств

автоматизированного вычисления позволяет моделировать и последовательно воспроизводить процесс нагрева огнетермостойкого металлизированного материала.

Система уравнений (28) описывает процесс переноса теплоты через огнетермостойкий металлизированный материал, состоящий из трех



слоев. Однако анализ зависимостей, составляющих данную систему, позволяет записать выражение для расчета температуры и плотности теплового потока на внутренней поверхности металлизированного многослойного материала (пакета материалов) в условиях нестационарной теплопроводности для любого количества слоев в виде системы уравнений:

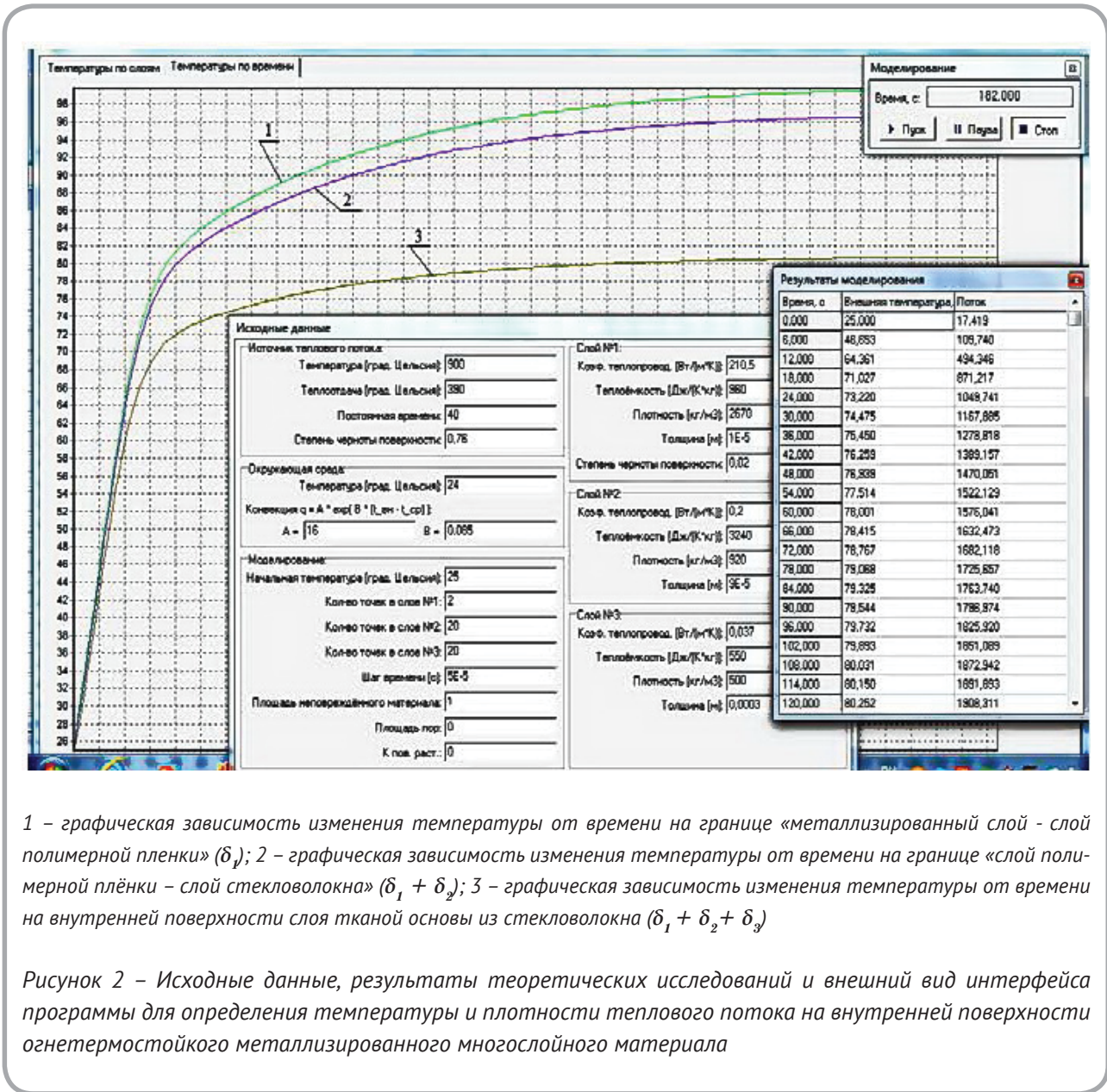
с возможностью визуализации процесса переноса теплоты через огнетермостойкий металлизированный материал. Исходные данные, результаты теоретических исследований, внешний вид интерфейса программы представлены на рисунке 2.

$$\frac{\Delta T_i(x)}{\Delta \tau} = \begin{cases} \frac{\lambda_1}{c_1 \rho_1 \Delta x} \left( \frac{\Delta T(0, \tau)}{\Delta x} + \frac{q_1}{\lambda_1} \right), \text{ если } x = 0; \\ \frac{\lambda_i}{c_i \rho_i \Delta x} \left( \frac{T(x - \Delta x, \tau) + T(x + \Delta x, \tau) - 2T(x, \tau)}{\Delta x} \right), \text{ если } 0 < x < \delta_1; \delta_1 < x < \delta_2 \dots \delta_{i-1} < x < \delta_{i+1} \\ \frac{2}{(c_i \rho_i + c_j \rho_j) \Delta x} \left( \frac{\lambda_i T(\delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_i - \Delta x, \tau) - T(\delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_i, \tau)}{\Delta x} - \frac{\lambda_{i+1} T(\delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_i, \tau) - T(\delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_i + \Delta x, \tau)}{\Delta x} \right), \text{ если } x = \delta_1; \delta_1 + \delta_2; \dots; \delta_1 + \dots + \delta_2; \\ - \frac{\lambda_n}{c_n \rho_n \Delta x} \left( \frac{q_2}{\lambda_n} + \frac{\Delta T(\delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_{n-1} + \delta_n - \Delta x, \tau)}{\Delta x} \right), \text{ если } x = \delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_n; \\ q_1 = \frac{\varepsilon_{прив.}}{10^8} \cdot C_0 (T_{ист.}^4 - T_n^4); \\ q_2 = 16 \exp [0,085 (T_{n2} - T_{c2})]. \end{cases} \quad (29)$$

где  $\Delta T_i(x)$  – изменение температуры огнетермостойкого многослойного металлизированного материала за время ( $\tau$ ), **К**;  $\lambda_i$  – коэффициент теплопроводности  $i$ -го слоя огнетермостойкого металлизированного материала, **Вт/м·К**;  $\delta_i$  – толщина  $i$ -го слоя огнетермостойкого металлизированного материала, **м**;  $\lambda_n$  – коэффициент теплопроводности  $n$ -го (последнего) слоя огнетермостойкого металлизированного материала, **Вт/м·К**;  $c_n$  – удельная массовая теплоемкость  $n$ -го (последнего) слоя огнетермостойкого металлизированного материала, **кДж/(кг·К)**;  $\rho_n$  – плотность  $n$ -го (последнего) слоя огнетермостойкого металлизированного материала, **кг/м<sup>3</sup>**.

Полученные математические зависимости предполагают обработку большого массива данных. Поэтому для реализации расчетов разработан специализированный программный продукт

Для оценки результатов теоретических исследований в испытательной лаборатории учреждения «Научно-исследовательский центр Витебского областного управления МЧС Республики Беларусь» определены экспериментальные значения изменения температуры и плотности теплового потока на внутренней поверхности огнетермостойкого металлизированного материала торговой марки «Alfa-Maritex» (стекловолокно, 100 %, поверхностная плотность  $460 \pm 10$  **г/м<sup>2</sup>**) при плотности теплового потока, падающего на пробу  $40$  **кВт/м<sup>2</sup>** в течение  $120$  **с**. Испытания проводились согласно СТБ 1972-2009 (п. 9.26, стр. 11) при температуре окружающей среды  $22 \pm 1$ °C [5]. Сопоставление значений расчётных и экспериментально определённых температуры и плотности теплового потока на внутренней поверхности огнетермостойкого металлизированного материала представлены в таблице 1.



1 – графическая зависимость изменения температуры от времени на границе «металлизированный слой - слой полимерной плёнки» ( $\delta_1$ ); 2 – графическая зависимость изменения температуры от времени на границе «слой полимерной плёнки – слой стекловолокна» ( $\delta_1 + \delta_2$ ); 3 – графическая зависимость изменения температуры от времени на внутренней поверхности слоя тканой основы из стекловолокна ( $\delta_1 + \delta_2 + \delta_3$ )

Рисунок 2 – Исходные данные, результаты теоретических исследований и внешний вид интерфейса программы для определения температуры и плотности теплового потока на внутренней поверхности огнетермостойкого металлизированного многослойного материала

Анализ таблицы 1 показывает, что в диапазоне  $24 < \tau \leq 120$  относительная погрешность результатов теоретических и экспериментальных исследований температуры и плотности теплового потока на внутренней поверхности неповрежденного участка огнетермостойкого металлизированного материала не превышает 7 %, что говорит о хорошей сходимости результатов и адекватности построенной математической зависимости. В диапазоне  $0 < \tau \leq 24$  относительная погрешность результатов теоретических и экспериментальных исследований указанных параметров превышает 7 %, что объясняется не-

возможностью учета всех факторов, влияющих на процесс теплообмена в реальных условиях.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

С использованием метода конечных разностей получена математическая зависимость процесса переноса теплоты через неповреждённые участки огнетермостойкого металлизированного материала, используемого при изготовлении наружного защитного слоя ОСЗ ПТВ Т, в условиях нестационарной теплопроводности. Разработан программный продукт, позволяющий моделировать, последовательно воспроизводить процесс нагрева и определять температуру и плотность

Таблица 1 – Результаты экспериментальных и теоретических исследований температуры и плотности теплового потока на внутренней поверхности огнетермостойкого металлизированного материала «Alfa-Maritex» (волоконный состав – стекловолокно, 100 %, поверхностная плотность  $460 \pm 10 \text{ г/м}^2$ )

Время воздействия, $t$ , с	Температура на внутренней поверхности, $t$ , °С		Плотность теплового потока на внутренней поверхности, $q$ , кВт/м <sup>2</sup>	
	экспериментальная	расчетная (модель 28)	экспериментальная	расчетная (модель 28)
1	2	3	4	5
0	25	25	0,22	0,02
6	44	46,7	0,37	0,11
12	54	64,4	0,62	0,49
18	59	71,0	0,86	0,87
24	65	73,2	1,05	1,05
30	70	74,5	1,24	1,17
36	72	75,5	1,37	1,28
42	75	76,3	1,49	1,39
48	76	76,9	1,57	1,47
54	79	77,5	1,63	1,52
60	81	78,0	1,68	1,58
66	82	78,4	1,72	1,63
72	83	78,8	1,78	1,68
78	84	79,1	1,83	1,73
84	84	79,3	1,85	1,76
90	85	79,5	1,86	1,80
96	85	79,7	1,86	1,83
102	86	79,9	1,88	1,85
108	86	80,0	1,89	1,87
114	86	80,2	1,89	1,89
120	86	80,3	1,89	1,91

теплового потока на внутренней поверхности огнетермостойкого металлизированного материала в любой момент времени. Проведённые теоретические исследования показали хорошую сходимость результатов с экспериментальными данными, что подтверждает адекватность полученной математической зависимости и возможность её дальнейшего использования в качестве базовой для исследования процесса переноса теплоты через перфорированные иглой швейной машины участки околшовной зоны ОСЗ ПТВ Т в условиях нестационарной теплопроводности.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Довыденкова, В.П., Ольшанский, В.И., Дмитрикович, Н.М., Прохоров, А.П. (2013), Расчет теплофизических параметров материала верха специальной защитной одежды пожарных с применением средств автоматизированного вычисления, *Чрезвычайные ситуации: Предупреждение и ликвидация*, 2013, № 1 (33), С. – 94-102.
2. Numerical methods in heat conduction [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.kostic.niu.edu/555/\\_555-posted/cen-ch05-cond-num.pdf](http://www.kostic.niu.edu/555/_555-posted/cen-ch05-cond-num.pdf). – Дата доступа: 21.02.2017.
3. Рудобашта, С.П. *Теплотехника*, (2010), Колас, Москва, 599 с.
4. Михеев, М.А., Михеева, И.М. (1973), *Основы теплопередачи*, (1973), Энергия, Москва, 319 с.
5. СТБ 1972-2009 *Одежда пожарных специальная защитная от повышенных тепловых воздействий. Общие технические условия* – Введ. 2010 – 01 – 01.

## REFERENCES

1. Davydenkova, V.P., Alshanski, V.I., Dmitrakovich, N.M., Prohorov, A.P. (2013), Calculation thermophysical parameters of the material of top of special protective clothing for firemen with the use means of automated calculation [Raschet teplofizicheskikh parametrov materiala verha spetsialnoy zashitnoy odezhdyi pozharnyih s primeneniem sredstv avtomatizirovannogo vyichisleniya], *Chrezvyichaynyie situatsii: Preduprezhdenie i likvidatsiya – Emergency situations: Prevention and elimination*, 2013, № 1 (33), pp. 94-102.
2. Numerical methods in heat conduction [Chislennyye metodyi v teploprovodnosti], [Elektronnyi resurs]. – Rezhim dostupa: [http://www.kostic.niu.edu/555/\\_555-posted/cen-ch05-cond-num.pdf](http://www.kostic.niu.edu/555/_555-posted/cen-ch05-cond-num.pdf). – Data dostupa : 21.02.2017.
3. Rudobashta S.P. (2010), *Teplotehnika* [Thermotechnics], Kolas, Moscow, 599 p.
4. Miheev, M.A., Miheeva, I.M. (1973), *Osnovy teploperedachi* [Heat transfer bases], Energiya – Energy, 319 p.
5. Standard 1972-2009. *Odezhda pozharnyih special'naja zashhitnaja ot povyshennyh teplovyh vozdeystvij. Obshhie tehicheskie uslovija* [Clothing fireman special protective against high heat. General specifications], Vved. 2010 – 01 – 01.

Статья поступила в редакцию 03. 03. 2017 г.

## ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НОВОЙ РАЗМЕРНОЙ ТИПОЛОГИИ ЖЕНСКОГО НАСЕЛЕНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

### ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF APPLYING A NEW DIMENSIONAL TYPOLOGY OF FEMALE POPULATION IN THE REPUBLIC OF BELARUS

Е.Л. Зимина\*, Н.Н. Бодяло, Н.П. Гарская

*Витебский государственный технологический университет*

УДК 004.4:687

A. Zimina\*, N. Bodyalo, N. Garskaya

*Vitebsk State Technological University*

#### РЕФЕРАТ

##### *РАЗМЕРНАЯ ТИПОЛОГИЯ, ОБМЕРЫ ФИГУР, РАЗМЕРНЫЕ ПРИЗНАКИ*

*Объект исследований – размерные признаки фигур женщин Республики Беларусь.*

*Использованные методы – методика определения размерных характеристик фигуры человека путем обмеров.*

*Результаты работы – проведены обмеры женского населения с целью разработки шкалы процентного распределения женского населения Республики Беларусь.*

*Область применения результатов – швейная промышленность.*

*Для успешной работы швейных предприятий по выпуску женской одежды на внутренний рынок требуется информация о размерах типовых фигур и их распределении среди населения, так как она определяет объёмы выпуска продукции в швейной промышленности.*

*Проведены обмеры женского населения с целью разработки шкалы процентного распределения женского населения Республики Беларусь. Результаты обмеров подтвердили тенденцию изменения ведущих размерных признаков женского населения в сторону уменьшения размеров фигур и увеличения роста, что является следствием процесса акселерации.*

#### ABSTRACT

##### *DIMENSIONAL TYPOLOGY, MEASUREMENTS OF THE SHAPES, DIMENSIONAL SIGNS*

*For successful work of garment factories producing women's clothing in the domestic market it's necessary to have more precise information not only on the size of the model figures, but also on its distribution among the population, since this determines the volume of output.*

*By the order of consortium «Bellegprom» mass measurements of the female population were arranged. The results of measurements confirmed the trend of leading the dimensional characteristics of female population in the direction to reducing the size of shapes and to increasing in the result of acceleration.*

Эффективная работа швейных предприятий в современных рыночных условиях возможна только при условии максимального обеспечения населения одеждой высокого качества. Одним

из важнейших показателей качества одежды является её соответствие размерам и форме тела потребителей.

При производстве изделий по индивиду-

\* E-mail: [alenakul26@mail.ru](mailto:alenakul26@mail.ru) (A. Zimina)

альным заказам все параметры определяются размерами и формой тела его будущего потребителя, при этом число возможных вариантов размеров одежды практически бесконечно.

В условиях промышленного производства одежды для максимального обеспечения населения (85–90 % потребителей) соразмерной одеждой необходимым является совершенствование размерной стандартизации, целью которой является оптимизация размеров одежды.

Известно, что размерная типология должна пересматриваться через каждые 10–15 лет, так как за этот период в результате процесса акселерации происходит изменение размеров, пропорций и формы тела человека. Так, например, европейские страны (Германия, Бельгия, Греция, Великобритания, Швейцария и Испания) регулярно проводят масштабные кампании антропометрического обследования населения для проектирования соразмерной одежды.

С целью разработки размерной типологии для проектирования одежды, соответствующей современным размерным характеристикам типовых фигур населения, в 2001–2005 годах ОАО «ЦНИИШП» в России было проведено антропометрическое обследование детского и взрослого населения. По сравнению с размерной типологией, разработанной на основе результатов обмеров 1970–1972 годов, были выявлены различия в значениях ряда размерных признаков.

Отмечалось существенное увеличение большинства продольных признаков (длины тела, высоты линии талии, высоты верхнегрудной точки и др.), в то время как величины обхвата талии и бедер уменьшились. Обхват груди и обхват плеча изменились мало, но увеличился обхват бедра.

Не остались без изменения и пропорции тела: при одинаковой длине туловища у женщин стали длиннее ноги, поднялась линия талии, увеличилась длина руки, плечи стали шире, изменилась осанка (стала более выпрямленной).

В классификацию типовых фигур женщин в действующей размерной типологии была дополнительно введена нулевая полнотная группа, в которой величина обхвата груди превышает обхват бедер на 2 *см*. Так же в классификацию была включена пятая полнотная группа с разницей между обхватом бедер и обхватом груди в

18 *см*.

В каждой полнотной группе расширен диапазон ростов и размеров, а вторая и третья группы дополнены подгруппой фигур больших размеров с обхватом груди 128 и 132 *см*.

В целом был сделан вывод о том, что женщины младшего и среднего возраста стали выше и стройнее.

В результате проведенного антропометрического обследования женщин в России в 2003 году была разработана и введена в действие новая размерная типология женского населения, которая устанавливает:

- основные антропометрические точки;
- определение размерных признаков и методов их измерения;
- классификацию типовых фигур женщин по полнотным группам, а внутри каждой группы по подгруппам размеров с установлением в каждой из них базовой типовой фигуры;
- полную размерную характеристику типовых фигур, то есть значения размерных признаков, необходимые для проектирования одежды из ткани, трикотажа, кожи и меха.

Новые антропометрические исследования, проведенные в России, выявили так же необходимость разработки классификации типовых фигур женщин особо больших размеров, так как увеличился покупательский спрос на одежду сверхбольших размеров. По подсчетам, 12–15 % россиян имеют размеры с обхватом груди свыше 124 *см*. Еще в 80-е годы прошлого столетия таких было в два раза меньше. Целеобразной являлась так же и разработка размерной типологии беременных женщин, дающая полную размерную характеристику фигур по срокам беременности (5 и 7 месяцев) [1].

В Беларуси за прошедшие 30 лет наряду с процессом акселерации произошли изменения социально-экономического характера, миграция населения, что определенным образом сказалось на типологическом составе населения Республики Беларусь. Применение в нашей стране результатов антропологических исследований, проведенных в Российской Федерации, может быть обосновано схожестью генотипа, климатических условий, среднего уровня доходов. Однако для успешной работы швейных предприятий по выпуску женской одежды на внутренний

рынок требуется более чёткая информация не только о размерах типовых фигур, но и об их распределении среди населения Республики Беларусь, так как именно это определяет объёмы выпуска продукции.

Цель данной работы – оценка возможности применения на отечественных швейных предприятиях разработанного ОАО «ЦНИИШП» нового стандарта по классификации типовых фигур женщин на основании антропометрических исследований женского населения Республики Беларусь.

По заданию концерна «Беллепром» проводились массовые обмеры женского населения. Так как изучить и исследовать всю совокупность объектов (весь состав женского населения Республики Беларусь) не представлялось возможным, для исследований был применён выборочный метод [2, 3]. Вся совокупность в этом случае была определена как генеральная. Для того чтобы получить детальную характеристику разнообразия морфологических типов и рассчитать частоту встречаемости отдельных вариантов признаков в генеральной совокупности, то есть во всём населении или в какой-то группе населения, необходимо измерить определённое число людей. Группа людей, на которых проводятся измерения, определена как выборка из генеральной совокупности.

Выборка считается представительной, или репрезентативной, для всей генеральной совокупности, если определённые типы людей встречаются в ней с той же частотой, что и во всём населении.

Известно, что на форму тела человека влияет целый ряд факторов, которые вызывают неравномерное распределение типов фигур в группах, различающихся по территориальному, возрастному, профессиональному и социальному признакам. Поэтому для получения репрезентативной выборки для обследования женского населения Республики Беларусь учитывались следующие требования:

- для учёта возрастных изменений телосложения в выборку включались женщины всех возрастных групп: младшая возрастная группа – 18–29 лет, средняя возрастная группа – 30–45 лет, старшая возрастная группа – свыше 45 лет;
- исследование проводилось как среди го-

родского, так и среди сельского населения для учёта возможных особенностей каждой из групп;

- в выборку включались люди различных профессий, так как наблюдаются известные отличия в типах телосложения между людьми физического и умственного труда, рабочими тяжёлой и лёгкой промышленности и т. п.

Обследуемые каждой из вышеперечисленных категорий были представлены в выборке в тех же пропорциях, с теми же относительными частотами встречаемости, что и в генеральной совокупности, то есть пропорции отдельных групп были рассчитаны с учётом переписи населения. Женское население в РБ составляет 54 % от общего числа населения [4].

В региональном разрезе соотношение численности женского населения ко всей численности населения страны выглядит так, как показано на рисунке 1.

После определения процентного соотношения женского населения, подлежащего измерению, были определены населённые пункты, где проводились измерения: Гродненская, Могилевская, Витебская, Брестская, Гомельская, Минская области и г. Минск.

Одно из основных требований, которое следует учитывать при планировании выборки – строго случайный выбор лиц, подлежащих измерению, в каждой из перечисленных групп. Это значит, что каждый человек должен иметь равные шансы быть измеренным, никакой специальный подбор не допустим, так как это приводит к субъективности и потере представительности выборки [2].

Случайность выборки заключается в том, что в каждую из возрастных групп на предприятиях и в организациях, где проводились измерения, включалась любая женщина, имеющая данный возраст.

Кроме всех указанных выше условий, выборка должна быть представительной и по своему объёму. Небольшое число наблюдений не может обеспечить достоверных данных. Приёмы математической статистики дают возможность рассчитать количество людей (объём выборки), которое должно быть обследовано исходя из общей численности населения страны. В результате расчётов установлено, что достаточно высокая точность конечных результатов обмеров

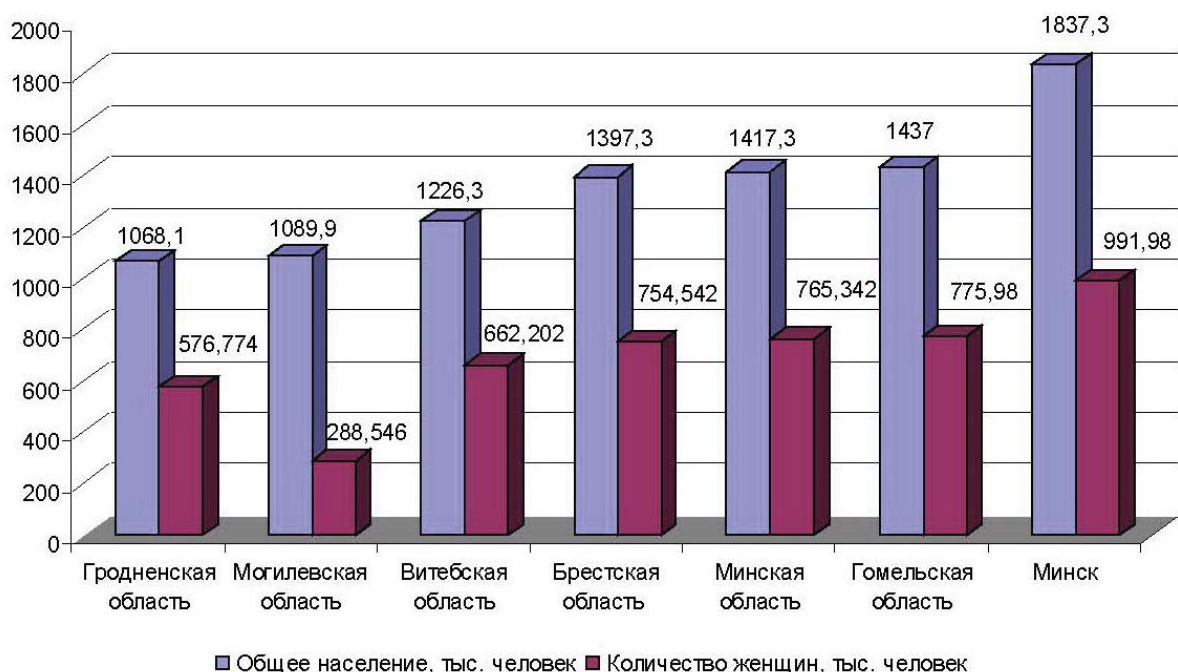


Рисунок 1 – Соотношение численности женского населения по регионам Республики Беларусь

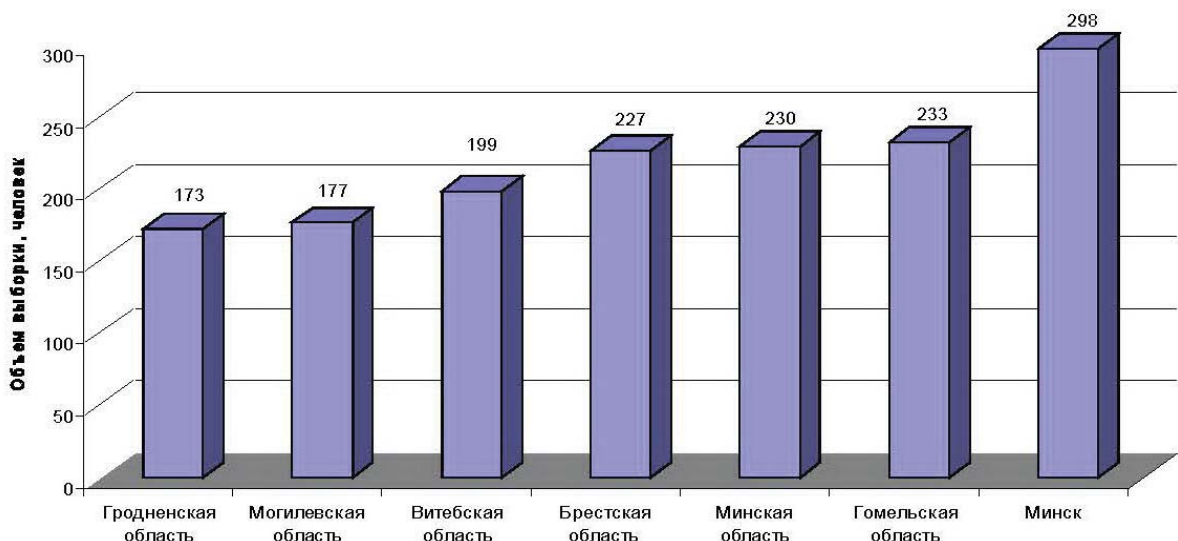


Рисунок 2 – Распределение объема выборки женского населения по регионам Республики Беларусь

женского населения достигается измерениями не десятков тысяч, а 1500 женщин (при объёме генеральной совокупности более 2 млн чел.) [5].

Распределение объёма выборки женского населения по регионам представлено на рисунке 2.

Расчёт количества женского населения в каждом регионе производился с учётом возраста и принадлежности к городскому или сельскому типу населения.

В сельской местности проживает 26 % всего



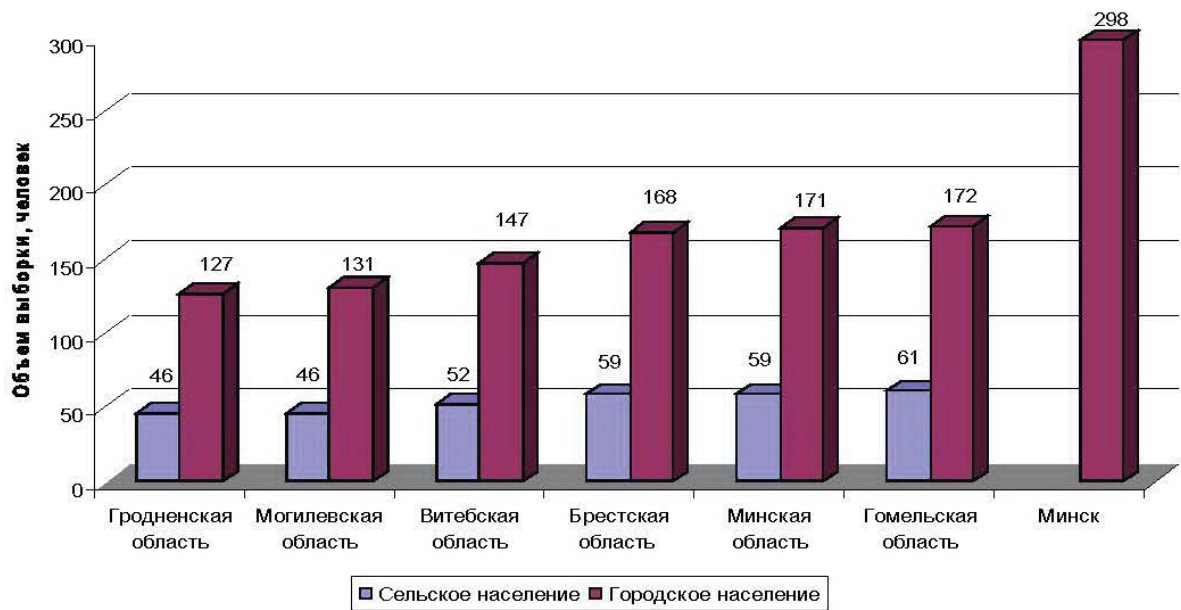


Рисунок 3 – Соотношение объёмов выборки женского населения с учётом принадлежности к городскому или сельскому типу

населения Республики Беларусь. Соотношение объёмов выборки женщин, проживающих в сельской и городской местности, по регионам в численном выражении представлено на рисунке 3.

Процесс акселерации, проявившийся особенно заметно в последние годы, не ограничивается влиянием только на общие размеры тела – ведущие размерные признаки фигур женщин: длина тела, обхват груди третий и обхват бедер с учетом выступания живота [2]. Ускорение роста сопровождается некоторыми изменениями формы тела и его пропорций. На сегодняшний день перед швейной промышленностью остро стоит вопрос о выпуске одежды соразмерной потребителю не только по ведущим размерным признакам. Проблема заключается в том, покупатель зачастую не может приобрести брюки нужной длины, плечевые изделия с соразмерной длиной рукава. Чтобы определить тенденцию изменения размерных признаков, определяющих пропорции тела человека и влияющих на ряд конструктивных параметров одежды, дополнительно в программу измерений были включены следующие измерения: высота линии талии, длина плечевого ската, расстояние от точки основания шеи сбоку до линии обхвата запястья.

Данные обмеров, полученные в результате антропометрического исследования 1990 женщин, проживающих на территории Республики Беларусь, были обработаны методами математической статистики с использованием пакета прикладных программ «STATISTIKA for WINDOWS». Основные статистические параметры были рассчитаны для ведущих размерных признаков (длина тела ( $P$ ), обхват груди третий ( $O_{г3}$ ), обхват бедер с учётом выступания живота ( $Oб$ ), и некоторых подчинённых (расстояние от точки основания шеи сбоку до линии обхвата запястья ( $Др$ ), высота линии талии ( $Влт$ ), обхват талии ( $От$ ), длина плеча ( $Дп$ )).

В результате математической обработки данных обмеров женского населения Республики Беларусь для каждого региона были получены значения основных статистических параметров, которые представлены в таблицах 1 и 2, принадлежность конкретной фигуры к определённой типовой определялась согласно классификации типовых фигур женщин, приведённой в ГОСТ 31396-2009.

Статистическая обработка результатов обмеров проводилась исходя из того, что таблицы процентного соотношения типовых фигур будут составлены с учётом частоты их встречаемости

Таблица 1 – Результаты статистической обработки данных по показателю «минимальное значение размерного признака» (Min)

Регион	Размерный признак					
	<i>О<sub>гIII</sub></i>	<i>Р</i>	<i>Др</i>	<i>Влт</i>	<i>Об</i>	<i>От</i>
Витебский	75,0	150,0	56,0	92,3	81,0	59,0
Брестский	73,0	143,8	56,5	67,0	80,5	55,5
Гродненский	75,0	139,5	57,6	86,6	78,0	60,0
Гомельский	69,0	139,5	57,6	86,6	69,0	60,0
Минский	74,5	146,6	53,9	89,3	80,0	57,0
Могилёвский	79,0	147,5	53,5	90,2	84,0	58,5

Таблица 2 – Результаты статистической обработки данных по показателю «максимальное значение размерного признака» (Max)

Регион	Размерный признак					
	<i>О<sub>гIII</sub></i>	<i>Р</i>	<i>Др</i>	<i>Влт</i>	<i>Об</i>	<i>От</i>
Витебский	133,0	186,5	79,9	115,7	137,0	117,0
Брестский	126,2	179,5	79,1	117,2	136,0	110,0
Гродненский	132,0	185,5	77,6	120,8	137,0	118,0
Гомельский	143,0	185,5	78,7	120,8	143,7	139,0
Минский	129,4	185,3	76,5	117,4	138,0	121,3
Могилёвский	138,0	177,5	78,5	118,0	137,0	114,0

от 0,1 % [6]. Типы фигур, составляющие менее 0,1 % от численности выборки, не включались в математическую обработку данных.

Согласно данным таблицы 1 минимальные значения ведущих размерных признаков конкретной фигуры по исследуемым регионам колеблются в следующих пределах: по обхвату груди третьему от 69 до 79 *см*, по росту от 139,5 до 150,0 *см*, по обхвату бёдер с учётом выпуклости живота от 69 до 84 *см*. Минимальные значения подчинённых размерных признаков колеблются: по обхвату талии от 55,5 до 60,0 *см*, по размерному признаку «Расстояние от точки основания шеи сбоку до линии обхвата запястья» от 53,5 до 57,6 *см*, по высоте линии талии от 67,0 до 92,3 *см*.

Максимальные значения ведущих размерных признаков по исследуемым регионам (таблица 2) колеблются в следующих пределах:

- по обхвату груди третьему от 126,2 до 143 *см*,
- по росту от 177,5 до 186,5 *см*,
- по обхвату бёдер с учётом выпуклости жи-

вота от 137,0 до 143,7 *см*.

Значения подчинённых размерных признаков колеблются:

- по обхвату талии от 110,0 до 139,0 *см*,
- по размерному признаку «Расстояние от точки основания шеи сбоку до линии обхвата запястья» от 76,5 до 79,9 *см*,
- по высоте линии талии от 115,7 до 120,8 *см*.

Статистические параметры рассматриваемых размерных признаков фигур женского населения Республики Беларусь представлены в таблице 3.

Анализ статистических параметров, представленных в таблице 3, показал, что тенденции, отмеченные при изучении закономерности распределения размерных признаков по регионам Республики Беларусь, характерны для всей территории страны.

Минимальное значение обхвата груди третьего конкретной фигуры, обнаруженное в ходе исследования, на территории Республики Беларусь составляет 69 *см*, что соответствует типовому значению *О<sub>гIII</sub>*, равному 68 *см*, макси-

Таблица 3 – Статистические параметры изучаемых размерных признаков фигур женского населения Республики Беларусь

Статистические параметры	Размерные признаки					
	<i>О<sub>гIII</sub></i>	<i>P</i>	<i>Др</i>	<i>Влт</i>	<i>Об</i>	<i>От</i>
Число элементов совокупности	1990	1990	1990	1990	1990	1990
Среднее арифметическое	97,47	163,89	68,05	104,37	103,75	79,80
Медиана	95,50	164,00	68,00	104,30	102,00	77,00
Min	69,00	139,50	53,50	67,00	69,00	55,50
Max	143,00	186,50	78,70	120,80	143,70	139,00
Среднеквадратическое отклонение	12,11	6,14	3,42	4,96	11,23	13,26
Ошибка средне-арифметической величины	0,27	0,138	0,077	0,11	0,25	0,31
Асимметрия	0,66	0,07	0,17	-0,28	0,62	0,74
Эксцесс	-0,09	0,36	4,22	1,90	0,09	-0,04
Коэффициент вариации	12,4	3,7	5,0	4,8	10,8	16,6
Погрешность	8,82	2,97	-	-	8,26	-

мальное – 143,0 *см*, что соответствует типовому значению *О<sub>гIII</sub>*, равному 144 *см*.

Для белорусских женщин минимальное значение длины тела конкретной фигуры составляет 139,5 *см*, что соответствует типовому значению *P*, равному 140 *см*, максимальное значение длины тела конкретной фигуры составляет 186,5 *см*, что соответствует типовому значению *P*, равному 188 *см*.

Минимальное значение обхвата бёдер с учётом выступания живота конкретной фигуры составляет 69,0 *см*, что соответствует типовому значению *Об*, равному 68 *см*, максимальное – 143,7 *см*, что соответствует типовому значению *Об*, равному 144 *см*.

#### ВЫВОДЫ

Закономерности в распределении ведущих размерных признаков, выявленные в результате обмеров женского населения Республики Беларусь, подтверждают тенденцию их изменения в сторону уменьшения обхватов фигур и увеличения роста, установленную российскими специалистами.

Применение на швейных предприятиях Республики Беларусь разработанного ОАО «ЦНИ-ИШП» нового стандарта по классификации типовых фигур женщин позволит выпускать соразмерную качественную женскую одежду как на российский, так и на внутренний рынок.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Совершенствование размерной характеристики фигур молодёжной возрастной группы потребителей (2005), режим доступа: <http://www.cniishp.ru> (дата доступа 11 ноября 2016).
2. Дунаевская, Т.Н., Коблякова, Е.Б., Ивлева, Г.С. (2005), *Основы прикладной антропологии и биомеханики*, Москва, 2005, 280 с.
3. Савич, Л.К., Смольская, Н.А. (2006), *Теория вероятностей и математическая статистика*, Минск, 208 с.
4. Население Беларуси накануне переписи (2009), режим доступа: [demoscope@demoscope.ru](mailto:demoscope@demoscope.ru) (дата доступа 12 ноября 2016).
5. Дунаевская, Т.Н. (2001), *Размерная типология населения с основами анатомии и морфологии*, Москва, 288 с.
6. Система [ТС<sup>2</sup>] для измерения размерных признаков фигур (2005), режим доступа: <http://www.tc.2.com> (дата доступа 11 ноября 2016).

## REFERENCES

1. Sovershenstvovanie razmernoy harakteristiki figur molodYozhnoy vozrastnoy gruppyi potrebiteley [Improvement of the dimensional characteristics of the figures of the youth age group of consumers], (2005), available at: <http://www.cniishp.ru> (accessed 11 November 2016).
2. Dunaevskaya, T.N., Koblyakova, E.B., Ivleva, G.S. (2005), *Osnovy prikladnoy antropologii i biomehaniki* [Fundamentals of applied anthropology and biomechanics], Moscow, 2005, 280 p.
3. Savich, L.K., Smolskaya, N.A. (2006), *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika* [Probability theory and mathematical statistics], Minsk, 208 p.
4. Naselenie Belorussii nakanune perepisi [The population of Belarus on the eve of the census], (2009), available at: [demoscope@demoscope.ru](mailto:demoscope@demoscope.ru) (accessed 12 November 2016).
5. Dunaevskaya, T. N. (2001), *Razmernaya tipologiya naseleniya s osnovami anatomii i morfologii* [Dimensional typology of the population with the basics of anatomy and morphology], Moscow, 2001, 288 p.
6. Sistema [ТС<sup>2</sup>] dlya izmereniya razmernyih priznakov figur [System [ТС<sup>2</sup>] for measuring the dimensional characteristics of the shapes], (2005), available at: <http://www.cniishp.ru> (accessed 11 November 2016).

Статья поступила в редакцию 03. 03. 2017 г.

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШТУЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ ПО МОТИВАМ СЛУЦКИХ ПОЯСОВ****PIECE GOODS DESIGN ON GROUNDS OF SLUTSK BELT****Г.В. Казарновская\*, Н.А. Абрамович***Витебский государственный технологический университет*

УДК 677.024

**G. Kazarnovskaya\*, N. Abramovich***Vitebsk State Technological University***РЕФЕРАТ****СЛУЦКИЕ ПОЯСА, ПЕРЕПЛЕТЕНИЕ, ЖАККАРДОВАЯ МАШИНА, ТЕХНИЧЕСКИЙ РИСУНОК, СУВЕНИРНАЯ ПРОДУКЦИЯ, НАЦИОНАЛЬНЫЙ БРЕНД**

*Предметом исследований является проектирование и наработка сувенирной продукции на РУП «Слуцкие пояса». Основная задача – разработка штучных изделий, базирующихся как на художественной концепции аутентичных слуцких поясов, так и на технологических разработках, полученных в результате реконструкции исторических поясов на современном ткацком оборудовании РУП «Слуцкие пояса».*

*Разработанная продукция направлена на создание белорусского национального культурного бренда, который можно тиражировать в различных вариациях, параллельно с возрождением аналогов аутентичных слуцких поясов.*

*Внешний вид штучных изделий представляет собой своего рода развитие темы поясов. Анализ исторических поясов определил направление для организации композиционной структуры и пластических форм в следующих типах сувенирной продукции: закладка для книг, шарф, панно. Вопросы технологии, способа воспроизведения, строения изделий нашли свое развитие в предшествующих исследованиях структуры исторических поясов. Представленные штучные изделия наработаны и внедрены в производство на РУП «Слуцкие пояса».*

**ABSTRACT****SLUTSK BELTS, WEAVE, JACQUARD MACHINE, TECHNICAL DRAWING, SOUVENIRS, NATIONAL BRAND**

*The main subject of this study is development of piece-goods, based on the artistic concept of authentic Slutsk belts, and on technological developments resulting from the reconstruction of historical Slutsk belts in modern weaving machinery RUE «Slutsk Belts». The developed products aimed at the creation of the Belarusian national cultural brand, which can be replicated in different variations, along with the revival of unique authentic Slutsk belts.*

*Analysis of historical belts defined direction for the organization of the composite structure and plastic forms in the following types of souvenirs: the tab for books, the scarf, panels. The issues of technology and structure of products were discussed in previous studies of structure of the historical belts. Presented piece-goods are tried and tested and implemented in production process at RUE «Slutsk Belts».*

Целью проведенной работы является проектирование штучных изделий, базирующихся на художественной концепции и строении аутентичных слуцких поясов. Научные исследова-

ния по реконструкции исторических поясов на современном ткацком оборудовании легли в основу и нашли свое дальнейшее развитие в наработке опытных образцов сувенирной продук-

\* E-mail: [galina\\_kazarnovskaya@mail.ru](mailto:galina_kazarnovskaya@mail.ru) (G. Kazarnovskaya)

ции. Разработанные штучные изделия направлены на создание белорусского национального культурного бренда, символа, который можно тиражировать в различных вариациях, параллельно с возрождением аналогов аутентичных слущких поясов, развивая ассортимент сувенирной продукции.

В истории культуры разных стран мира есть исключительно знаковые достижения, которые позволяют объективно оценить ступени и масштабность национального вклада в мировое художественное наследие. Классический слущкий пояс – это длинная (до 350–400 см) ткань шириной 35–40 см, которую, складывая вдвое или скручивая, повязывали поверх шляхетского костюма (кунтуша). Аксессуар мог быть одно-, двух-, трех-, четырехлицевым. Каждая из сторон использовалась в зависимости от колорита наряда и ситуации [1].

Слущкие пояса – это произведения шелкового ткачества с особой композиционной гармонией и изысканной орнаментикой. По композиции слущкий пояс разделен на три части: два прямоугольных завершения – «головы» и основная часть – «середник» (рисунок 1).

Работа с традицией очень ответственна: богатая и насыщенная сама по себе, она диктует жесткие ограничения для проявления креативности, ставит в узкие рамки, заставляет находить компромисс между копией и новаторством. В случае, когда создается совершенно новая композиция, теряется характерная образность пояса, его узнаваемая стилистика. Это составляет сложную задачу визуальной концепции: не уйти в полное копирование, но и сохранить образную

узнаваемость исторического источника.

При работе над внешним видом штучных изделий использовался метод интерпретации. Этот метод позволяет более свободно обращаться с традиционным орнаментом прошлого. Примером такого решения могут служить орнаментальные композиции лоскутного построения. С использованием фрагментов старинных орнаментов создается композиция, построенная на сочетании простых или сложных геометрических форм, заполненных формами орнамента. Можно сочетать одни и те же формы разного масштаба, варианты колористического решения или несколько разных фрагментов, объединенных стилистическим характером элементов. Как и в любой другой композиции, необходимо решить такой рисунок цельно, подчиняя все единому ритмическому и пластическому строю, цветовой гармонии.

Внешний вид штучных изделий представляет развитие темы поясов. Форма объектов – вытянутый по вертикали прямоугольник, композиционная организация заполняющих элементов статичная и характеризуется наличием вертикальной и горизонтальной симметрий. Пластика заполняющих элементов криволинейная, статичная, в большинстве симметричная по горизонтали и вертикали.

Анализ структуры и рисунка исторических поясов определил направление для организации композиционной структуры и пластических форм в типе сувенирной продукции – закладка для книг. В качестве источника базовой композиции, строения, технологии изготовления послужил пояс, представленный на рисунке 2.

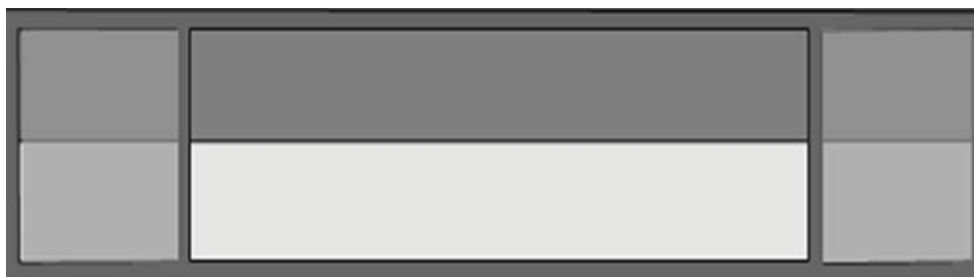


Рисунок 1 – Композиционная схема



Рисунок 2 – Исторический пояс – мотив

Технология, способ воспроизведения, оборудование и сырье, несомненно, влияют на характер рисунка исходной продукции. При сохранении композиционной схемы, присущей слуцким поясам, с учетом размерности изделия, рисунок становится мелкозорчатым, что определяет вы-

бор элементов. Они должны быть читаемы после изготовления в материале. В качестве узора в бордюре и полосах середника выбран один и тот же элемент, чтобы не разрушать целостность восприятия композиции (рисунок 3).

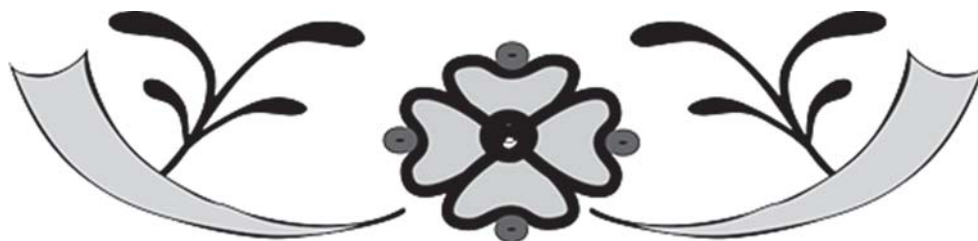


Рисунок 3 – Элемент, повторяющийся в бордюре и полосах середника

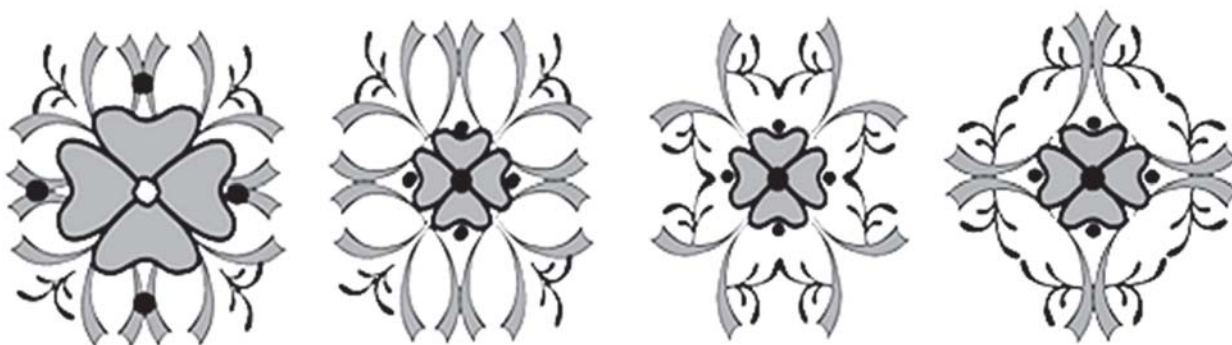


Рисунок 4 – Узоры для головы пояса

Элементы головы симметрично повторяются два раза. На базе выбранной стилистики и с учетом технологических возможностей разработаны следующие элементы для головы пояса.

Как и в историческом поясе, в эскизе сувенирной продукции присутствуют метки в виде латинских букв **FS**.

Разработанная технология, базирующаяся на исследовании структуры слуцкого пояса и ее особенностей, легла в основу кода файла для управления работой ткацкого станка, созданного в программной среде DesignScore victor фирмы EAT (Германия). Для воспроизведения штучного изделия разработан технический рисунок, представленный на рисунке 5.

Строение представленного изделия соответствует строению реконструированного пояса аналога [2]. Для исключения перезаправки ткацкого станка, рисунок закладки расположен го-

ризонтально. Длина закладки соответствует ширине заправки ткацкого станка для выработки копии пояса, представленного на рисунке 2. В строении участвуют две системы нитей основы и четыре системы нитей утка. На поверхности ткани присутствуют 8 ткацких и 5 цветовых эффектов. Модельные переплетения для ткацких эффектов показаны на рисунке 6.

Мотивом для второго варианта образца штучного изделия послужил пояс слуцкого типа, изготовленный во второй половине 18 века. Этот пояс хранится в музее древнебелорусской культуры при ГНУ центра исследований белорусской культуры, языка и литературы НАН Беларуси (рисунок 7).

Композиция второй закладки имеет совершенно другой подход. В качестве головы представлена метка SLUCK. Элементы рисунка пояса-аналога взяты без изменений, но характер



Рисунок 5 – Технический рисунок штучного изделия – закладка для книг



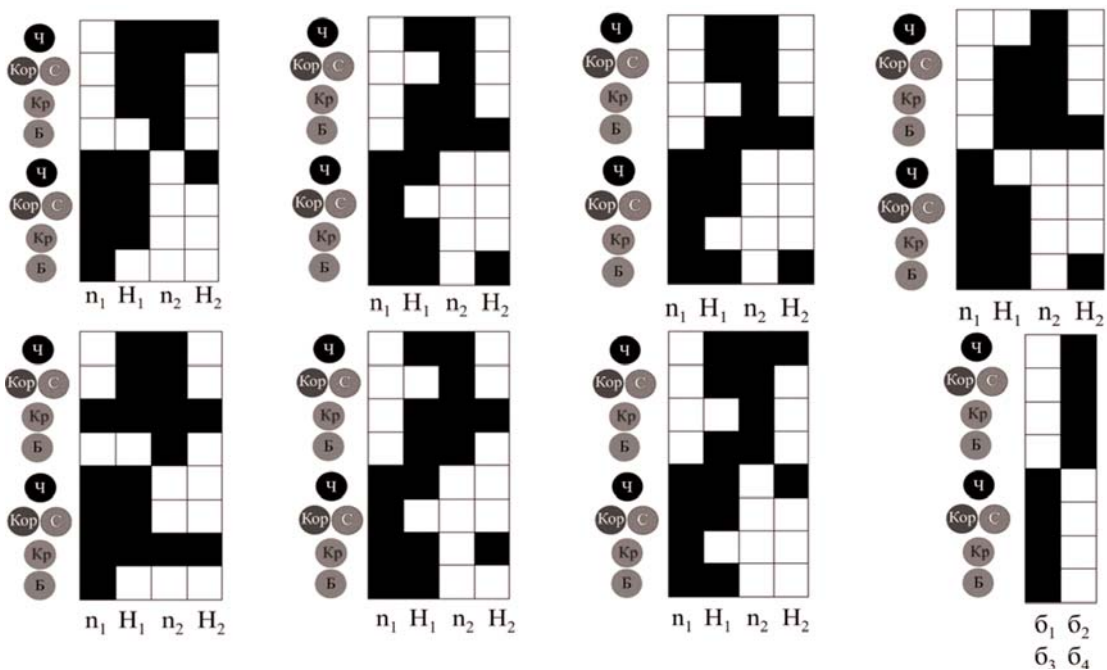


Рисунок 6 – Модельные переплетения



Рисунок 7 – Фрагмент исторического пояса – мотив

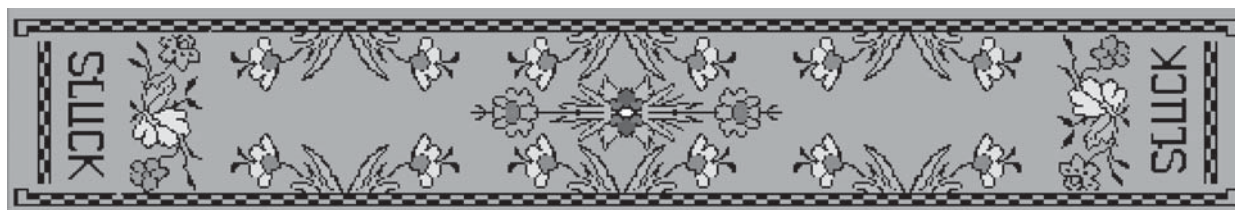


Рисунок 8 – Технический рисунок штучного изделия – закладка для книг

их распределения в середнике носит характер бордюра, увеличивающегося до центра, вытесняя полосы (рисунок 8).

В качестве орнамента используются характерные для всего декоративно-прикладного искусства Беларуси реалистические черты в трактовке растительных композиций с введением мотивов местной флоры – васильков, незабудок, клевера, дубовых листьев.

Данная закладка имеет ширину 5 см. Рисунок характеризуется наличием большого числа мелких тонких элементов различного цвета. Такой подход к разработке рисунка был в большей степени свойственен Лионским поясам. Как и в предыдущем случае, структура разработанного штучного изделия соответствует своему мотиву. В строении участвуют две системы нитей основы и шесть систем нитей утка.

Характер третьего рисунка закладки (рисунок 9) наиболее приближен к организации композиционной схемы поясов.

Выполнен рисунок на базе стилизации исторического пояса, наработанного на РУП «Слуцкие пояса» и утвержденного в качестве копии слуцкого пояса на заседании научно-экспертно-

го совета по отнесению образцов продукции к аналогам, копиям, художественным стилизациям слуцких поясов, протокол № 4 от 12 декабря 2014 года (рисунок 10).

Декор голов строится на метке MEFECIT SLUCIAE и является смысловым акцентом закладки. На поясах это особые метки слуцких мастеров: во времена Речи Посполитой – на латинице, позже на кириллице: SLUCK, SLUCIAE, SLUCIAE FECIT, MEFECIT SLUCIAE («Меня сделал Слуцк»).

Середник решен посредством чередования полос двух видов: декорированной растительно-цветочным бегунком, заполненной волнообразной цепочкой мелких цветов и узких вытянутых листьев, и орнаментированной геометрическими элементами. Орнаментальные полосы имеют окантовку, затканную мелкими ромбами.

Разработку орнаментации середника ввел Леон Маджарский, сын Яна Маджарского, арендовавший Слуцкую мануфактуру с 1781 г., когда тип слуцкого пояса приобрёл определённую законченность. Вместо чередования полос одинаковой ширины, которые отличались цветом, орнаментальными элементами, Леон ввёл слож-

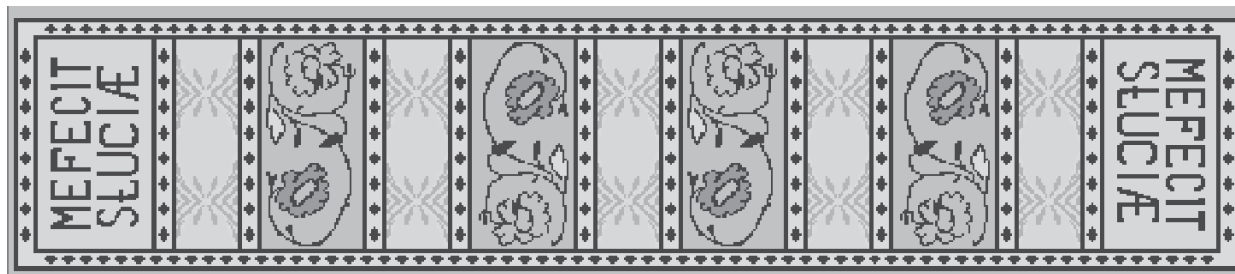
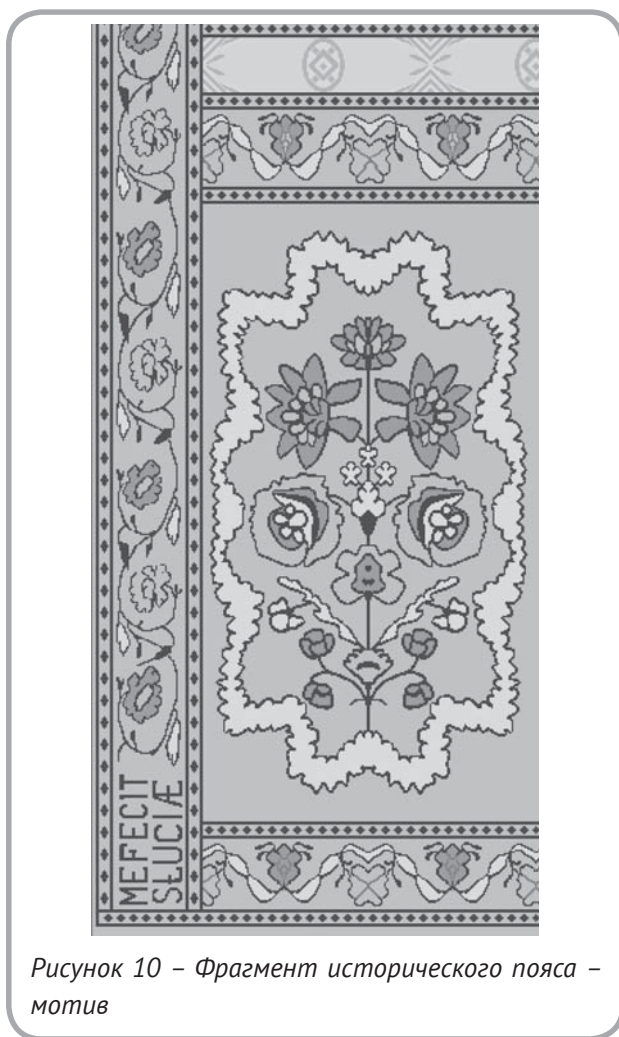


Рисунок 9 – Технический рисунок штучного изделия – закладка для книг



ную систему последовательных комплексов полос, которые строились на контрасте их размеров, цветов и орнамента. Он применял противопоставление геометрических и растительных орнаментов. Этот же прием заложен в решении композиции закладки.

В строении участвуют две системы нитей основы и пять систем нитей утка. Длина закладки соответствует ширине заправки ткацкого станка и нарабатывается с теми же параметрами, что и пояс, являющийся мотивом.

Разработана коллекция сувенирных шарфов. Один из рисунков внедрен в производство (рисунок 11).

Коллекция представляет вариант решения задачи использования изделий, несущих характер знаковой исторической вещи, в быту [3]. Размер наработанного шарфа 30x200 см. Композиционная схема рисунка раппорта статична, симметрична по вертикали и горизонтали. Изделие имеет две головы, середник и кайму «бордюры». Композиционный центр расположен на концах: крупные контрастные по отношению к фону декоративные композиции букетов. Замкнутость композиции, помимо ярко выраженной горизонтальной и вертикальной каймы, обеспечивается явно симметричным ритмом полос раз-



личных по оттенку в местах смены цвета утков. Графическая трактовка мотивов – линейно-пятновое решение. Контуры элементов – это линии с переменным радиусом кривизны, формирующие симметричные блоки. Мотивы используются как растительные, так и геометрические. Композиции букетов составлены из симметрично расположенных изображений цветов, листьев, бутонов, перенесенных из исторического слуцкого пояса. Натуральные шелковые нити, из которых выработывалось изделие, тонкие – линейная плотность в среднем равна 20 текс, это позволило получить очень мелкий и тонкий рисунок (рисунок 12).

Представленное изделие имеет свое уникальное строение, базирующееся на наработках аналогов исторических поясов, однако, имеющее свои характерные черты. По структуре спроектированное изделие – уточный гобелен. Назначение изделия подчеркнуто его строением, в котором принимают участие две системы основных нитей – прижимная и настилочная коричневого цвета и всего лишь три системы нитей утка, что придает большую легкость изделию и соответствует его функциональности. В качестве утков используются нити бежевого, коричневого и чередующихся синего и красного цветов. Чтобы получить возможность использовать большее количество цветов нитей утка, в технологии изготовления используются запрограммированные остановы ткацкого станка для смены цвета нитей шпуль в челночных коробках. Всего ис-

пользуется четыре вида утка, отличающихся по цвету. Участки шарфа с замененными утками имеют легкую оттеночность, что придает шарфу небольшую ритмично-организованную полосатость, характерную для многих видов изделий данного типа. Такое решение вычленяет изделие из композиционного построения исторических поясов, придает большую художественность и утилитарность.

Шарф характеризуется наличием четырех ткацких, включая кромку, эффектов и четырех цветовых. Модельные переплетения представлены на рисунке 13.

Разработана коллекция декоративных жаккардовых панно по мотивам слуцких поясов, продолжающая ряд сувенирной продукции, вызывающая интерес к белорусской истории и традициям и способная выступать акцентом в декоре интерьера или костюма.

В Витебском художественном музее с 23 января по 5 марта 2015 года прошла выставка «Раритеты», на которой были представлены экспонаты из собрания Музея старобелорусской культуры Центра исследований национальной культуры, языка и литературы Национальной академии наук Беларуси. Среди экспонатов был представлен и слуцкий пояс, датируемый второй половиной XVIII века, найденный в костеле города Глубокое Витебской области. Он и послужил основным источником вдохновения для коллекции. Один из рисунков панно выполнен в материале и внедрен в производство (рисунок 14).



Рисунок 12 – Графические элементы, используемые в изделии

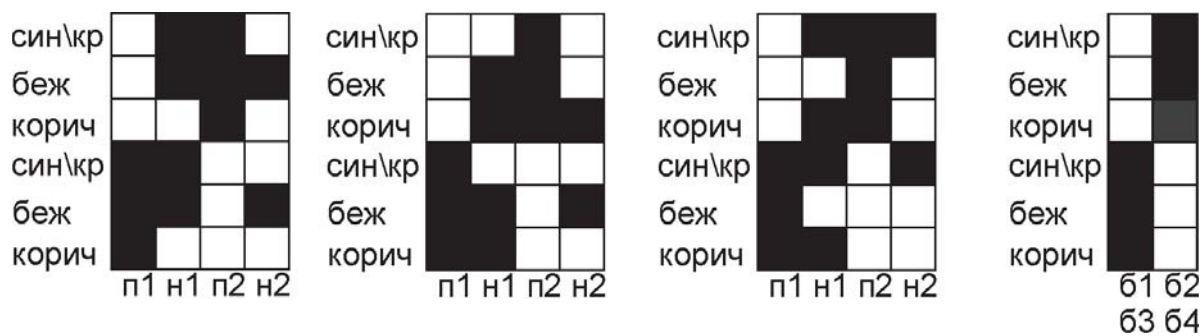


Рисунок 13 – Модельные переплетения



Рисунок 14 – Сокращенный патрон панно

Композиция и элементы панно максимально приближены к композиционному решению голов исторического пояса. Мотивы аутентичного пояса незначительно переработаны, сохранена общая композиция головы слуцкого пояса и свойственная ей пластика. Эскиз имеет статичную симметричную композиционную структуру. Центром панно являются два основных вертикальных мотива в виде расцветающих ветвей, которые образуют два медальона. Окружают центр композиции два вертикальных и два горизонтальных бордюра, на которых изображены стилизованные цветы, бутоны и ветви. В нижних правом и левом углах каждого из панно присутствует изображение ткацкой метки «SLUCK». Строение панно аналогично историческому поясу – две системы нитей основы и шесть систем нитей утка.

Назначение разработанного ассортимента штучных изделий – определить вид сувенирной продукции, призванной напоминать о художественных шедеврах прошлого белорусской земли. В производстве изделий используется натуральный шелк, золотная нить, метанит. Разработанная технология предполагает прокладывание утков в мелкоузорчатых штучных изделиях по всей его ширине, что исключает использование эффекта «броше» и тем самым повышается производительность труда без снижения эстетической ценности сувенирной продукции.

Все представленные образцы штучных изделий внедрены в производство и выпускаются на РУП «Слуцкие пояса».

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Казарновская, Г.В. (2013), Технология слуцких поясов на современном ткацком оборудовании, Художественная культура армянских общин на землях Речи Посполитой, *Материалы международной научной конференции*, Минск, 2007, С. 22 – 23.
2. Казарновская, Г.В., Абрамович, Н.А. (2014), Технология изготовления копий исторических поясов, произведенных на Слуцкой мануфактуре, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2014, № 26, С. 44.
3. Казарновская, Г.В., Полудеткина, К.И. (2014), Коллекция шарфов по мотивам слуцких поясов, Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности, *Материалы докладов международной научно-технической конференции*, Витебск, 2014, С. 160 – 161.

#### REFERENCES

1. Kazarnovskaya, G.V. (2013), Slutsk belts technology on modern weaver's equipment [Tehnologija sluckih pojasov na sovremennom tkackom oborudovanii], Art culture of Armenian communities in the lands of Polish-Lithuanian Commonwealth, *Material of international research conference*, Minsk, 2013, pp. 22 – 23.
2. Kazarnovskaya G.V., Abramovich, N.A. (2014), Technology of production copies of historical belts made in manufactory of Slutsk [Tehnologija izgotovlenija kopij istoricheskikh pojasov, proizvedennyh na Sluckoj manufakture], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta – Vestnik of Vitebsk State Technological University*, 2014, № 26, p. 44.
3. Kazarnovskaya, G.V., Poludetkina, K.I. (2014), The collection of scarves based on the Slutsk belts [Kollekcija sharfov po motivam sluckih pojasov], Innovative technologies in the textile and clothing industry, *Proceedings of the international scientific and technical conference*, Vitebsk, 2014, pp. 160 – 161.

Статья поступила в редакцию 24. 03. 2017 г.

## ОЦЕНКА ТЕРМОРЕГУЛИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ТЕКСТИЛЬНОГО МАТЕРИАЛА, МОДИФИЦИРОВАННОГО МИКРОКАПСУЛИРОВАННЫМ ВЕЩЕСТВОМ С ИЗМЕНЯЕМЫМ ФАЗОВЫМ СОСТОЯНИЕМ

### EVALUATION OF THE THERMOREGULATORY ABILITY OF THE TEXTILE MATERIAL MODIFIED WITH MICROENCAPSULATED SUBSTANCE WITH A CHANGEABLE PHASE STATE

О.Р. Левшицкая<sup>1\*</sup>, Д.Б. Рыклин<sup>1</sup>, Д.Ю. Агиевич<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Витебский государственный технологический университет

<sup>2</sup> ОАО «Моготекс»

УДК 677.072

O. Levshitskaya<sup>1\*</sup>, D. Ryklin<sup>1</sup>, D. Agiewitsch<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Vitebsk State Technological University

<sup>2</sup> JSC «Mogotex»

#### РЕФЕРАТ

*МИКРОКАПСУЛЫ, ВЕЩЕСТВА С ИЗМЕНЯЕМЫМ ФАЗОВЫМ СОСТОЯНИЕМ, ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД, ПРОПИТКА, ТЕРМОРЕГУЛИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ*

*В статье рассмотрены вопросы использования микрокапсулированных веществ с изменяемым фазовым состоянием для целей модификации текстильного материала методом пропитки. Предметом модификации является подкладочный полиэфирный текстильный материал, производимый ОАО «Моготекс» (г. Могилев). Предполагаемая область применения – нижний слой пакета боевой одежды пожарных. Исследовалась терморегулирующая способность модифицированного и немодифицированного текстильного материала. Сравнительный анализ полученных результатов подтвердил наличие повышенной терморегулирующей способности модифицированного материала.*

#### ABSTRACT

*MICROCAPSULES, PHASE CHANGE MATERIALS, PHASE TRANSITION, TREATMENT, THERMOREGULATORY ABILITY*

*The purpose of the study is to assess the changes of the thermoregulatory ability of textile material as a result of its processing of microencapsulated phase change materials. The subject of the study is lining polyester textile material. As a result it was confirmed that the treatment of textile materials with microencapsulated substances by the method of impregnation affects the thermoregulatory ability of the investigated material and has higher expansion properties, it can also store and give off heat.*

#### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В настоящее время развитие текстильного производства направлено на повышение качественных характеристик выпускаемой продукции с приданием новых потребительских и функциональных свойств. Освоение производства принципиально новых видов материалов с заданными свойствами (терморегулирующими, биозащитными, электропроводными и

другими) – важное направление развития текстильной отрасли.

Особый интерес представляют терморегулирующие текстильные материалы, содержащие вещества с изменяемым фазовым состоянием (Phase Change Materials – PCM), способные осуществлять активную терморегуляцию в рамках определенного температурного диапазона. При их производстве придание материалам термо-

\* E-mail: [kd2007@mail.ru](mailto:kd2007@mail.ru) (O. Levshitskaya)

регулирующих свойств осуществляется за счет введения в их структуру микрокапсулированных веществ, способных осуществлять активную терморегуляцию.

Вещества с обратимыми фазами обладают способностью в процессе нагревания (при достижении определенной температуры) менять физическое состояние из твердого в жидкое. В ходе данного процесса поглощается и сохраняется большое количество теплоты. При этом температура самих веществ и окружающих объектов практически стабильна. И наоборот, в результате охлаждения теплота, которая сохранилась, высвобождается в окружающее пространство. При этом наблюдается обратный фазовый переход – из жидкого состояния в твердое. Способность к такому поглощению или высвобождению большого количества скрытой теплоты без изменения температуры делает вещества с фазовым переходом привлекательными для использования в качестве средства хранения теплоты и, соответственно, эффективной терморегуляции. Введение таких веществ в текстильный материал может осуществляться различными способами: пропитка, печать, введение в волокно. Так как при плавлении вещества с фазовым переходом растекаются, возникают проблемы их фиксации на текстильном материале. Для решения этой проблемы используют технологию микрокапсулирования, которая позволяет производить фиксацию функциональных веществ на текстильных материалах. Микрокапсулирование – это процесс заключения мелких частиц вещества в тонкую оболочку пленкообразующего материала в целях предотвращения растекания активных веществ в результате их плавления. Технологию микрокапсулирования, имеющую широкое коммерческое применение в текстильной промышленности Европы, Японии и США, используют для придания свойств текстильным материалам, которые не были возможны или экономически неэффективны с помощью других технологий.

В настоящее время данная технология может применяться для производства нового поколения текстильных материалов и, соответственно, продукции из инновационных материалов: верхней одежды, белья, обуви, постельных принадлежностей, а также защитной, медицинской продукции и продукции промышленного назна-

чения.

Особый интерес в настоящее время представляют научные разработки в области проектирования защитной одежды, в частности, одежды пожарных-спасателей. Использование в составе пакета боевой одежды терморегулирующего материала позволит повысить эксплуатационные характеристики разработанных ранее изделий специального назначения.

Современные научные исследования в области создания и использования текстильных материалов, модифицированных веществами с фазовым переходом, базируются в основном на работах зарубежных исследователей: S. Mondal, E. Onofrei, A.M. Rocha, S. R.M.Rossi, W.P. Bolli, S.X. Wang, Y. Li, J. Y. Hu, Q. W. Song и др. [1-4]

На сегодняшний день научных разработок, а также опыта производства, применения текстильных материалов, модифицированных микрокапсулированными веществами (накопителями тепла) с изменяемым фазовым состоянием, в Республике Беларусь не имеется, что говорит о целесообразности проведения работ в данном направлении.

Цель исследования состоит в оценке терморегулирующей способности текстильного материала вследствие его обработки микрокапсулированным веществом с изменяемым фазовым состоянием.

#### ПРЕДМЕТ, ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Предметом исследования является подкладочный полиэфирный текстильный материал (артикул 8с55) поверхностной плотностью  $67,5 \text{ г/м}^2$ , производимый ОАО «Моготекс» (г. Могилев). Предполагаемая область применения – нижний слой пакета боевой одежды пожарных, предназначенной для защиты тела человека от воздействия высоких температур окружающей среды, тепловых потоков при проведении работ по тушению пожаров и связанных с ними аварийно-спасательных работ.

В настоящее время известно около 500 видов веществ, способных к фазовому переходу при изменении температуры, но не все из них пригодны для использования в практической деятельности. Их выбор будет зависеть от сферы и целей использования. В качестве материала с фазовым переходом наиболее часто используют углеводороды (парафины), обладающие рядом



свойств:

- широкий диапазон точки плавления (от 20 до 70 °С);
- высокая теплота плавления;
- небольшой перепад между точкой плавления и точкой затвердевания;
- безвредность с точки зрения экологии;
- нетоксичность;
- стабильность циклов плавления и затвердевания;
- высокая теплопроводность для эффективной передачи тепла[5].

В текстильном производстве в странах Европы и США чаще всего используются материалы с изменяемым фазовым состоянием с температурой фазового перехода, равной 28 °С.

Таким образом, в процессе исследования основными компонентами, используемыми для модификации текстильного материала, являлись терморегулирующие микрокапсулы с температурой фазового перехода 28 °С. Материал содержимого микрокапсул – парафин (октадекан), материал оболочки – полиуретан (без содержания формальдегида). Краткое обозначение – MikroCaps PCM 28-S. Используемые в исследовании микрокапсулы представлены в виде водной дисперсии.

Поставщиком данного компонента является фирма MikroCaps (Словения), специализирующаяся на изготовлении микрокапсул с различным содержимым, параметры которого могут задаваться потребителем.

На данный момент времени существуют различные типы связывания или соединения микрокапсул с волокнами или текстильными материалами: пропитка, печать, непосредственное введение в полимерную композицию [6]. Микрокапсулы Mikro Caps PCM 28-S в процессе эксперимента были введены в текстильный материал посредством пропитки, после чего следовали фазы сушки и обработки. Данный способ обработки материала является менее затратным и наиболее часто используется зарубежными производителями терморегулирующих материалов.

Внедрение микрокапсул PCM в текстильный материал проводилось на оборудовании, находящемся в учебной лаборатории кафедры «Экология и химические технологии» УО «ВГТУ».

Для исследования были подготовлены образцы расшлихтованной и окрашенной подкладочной полиэфирной ткани размером 1000\*1500 мм, произведенной в ОАО «Моготекс». Данный вид ткани, в частности, используется в качестве подкладочной при производстве верхней боевой одежды пожарных. В результате испытания образцы подвергались пропитке в суспензиях разного состава, содержащих терморегулирующие микрокапсулы. Критерием определения терморегулирующей способности является разность температур на внешней и внутренней сторонах обработанных и необработанных образцов ткани при воздействии теплового потока различной мощности.

Последовательность проведения исследования по нанесению и закреплению терморегулирующих микрокапсул в полиэфирной подкладочной ткани (артикул 8с55):

1. Для определения массы сухих образцов ткани каждый из них высушивался при температуре 120 °С в течение 40 минут для удаления излишней влаги. При этом использовался воздушный стерилизатор ГП-20-01 .

2. После высушивания каждый образец взвешивался на электронных весах. Предварительное взвешивание осуществлялось для дальнейшего сравнения массы испытываемых образцов ткани до и после модификации.

3. Далее образцы были пропитаны водным раствором терморегулирующих микрокапсул. При этом использовались различные концентрации активного вещества:

- образец № 1 (суровая расшлихтованная ткань) пропитан водной дисперсией с 16%-м содержанием микрокапсул;
- образец № 2 (крашеная ткань) пропитан водной дисперсией с 16%-м содержанием микрокапсул;
- образец № 3 (суровая расшлихтованная ткань) пропитан водной дисперсией с 10%-м содержанием микрокапсул.

4. Далее пропитанные образцы ткани были пропущены через каландр в целях удаления из материала излишка жидкости, а затем повторно были высушены при температуре 120 °С в течение 15 минут. После высушивания каждый образец взвешивался на электронных весах.

Результаты взвешивания образцов текстиль-

Таблица 1 – Результаты исследований процесса пропитки

№ образца	Масса материала до исследования, г	Масса материала после исследования, г	Масса микрокапсул на образце ткани, г	Увеличение массы образца ткани после пропитывания, %
1	103,95	115,7	11,75	11,3
2	106,77	114,9	8,13	7,6
3	102,7	111,93	9,23	8,9

Источник: собственная разработка.

ного материала размером 1000\*1500 мм представлены в таблице 1.

Анализируя данные, представленные в таблице 1, можно сделать следующий вывод о том, что степень закрепления микрокапсул на текстильном материале зависит от концентрации микрокапсул в водном растворе. Так, при 16%-ном содержании микрокапсул в дисперсии увеличение массы образца составило порядка 11,3 %. При содержании 10 % микрокапсул увеличение массы образцов составило 8,9 %. То есть рост концентрации микрокапсул в растворе на 6 п.п. привел к увеличению степени закрепления терморегулирующих микрокапсул на 2,4 п.п. Можно отметить, что увеличение массы образцов крашеной ткани в среднем на 35 % ниже, чем соответствующий показатель, определенный для образцов суровой расшлихтованной ткани при неизменном составе дисперсии.

Для оценки влияния пропитки полиэфирной ткани опытным препаратом на ее физико-механические свойства образцы ткани испытывались на разрывной машине. В результате проведенного исследования были получены следующие показатели: разрывная нагрузка модифицированного образца ткани (обработанного 16%-м раствором) составила 67,4 кгс против разрывной нагрузки 61,6 кгс немодифицированного образца. При этом разрывное удлинение обоих образцов имеет практически одинаковое значение: 49 мм и 48 мм, соответственно. Таким образом, можно сказать, что обработка текстильного материала опытным препаратом способствовала некоторому повышению прочности на разрыв при неизменном разрывном удлинении.

На следующем этапе работы были проведены исследования терморегулирующей способности полиэфирной подкладочной ткани, модифици-

рованной и немодифицированной микрокапсулами с целью сравнения полученных результатов.

Исследования проводились на базе научно-исследовательского центра Министерства по чрезвычайным ситуациям (Витебск). Основные тепловые характеристики изучались в соответствии с требованиями ГОСТ СТБ 1971-2009, но с учетом специфических свойств модифицированного текстильного материала режимы исследований были изменены. Испытания проводились по показателю устойчивости к воздействию теплового потока в следующих режимах:

- воздействие теплового потока мощностью 2,0 кВт/м<sup>2</sup> на образцы модифицированного и немодифицированного текстильного материала;
- воздействие теплового потока мощностью 5,0 кВт/м<sup>2</sup> на образцы модифицированного и немодифицированного текстильного материала;
- воздействие теплового потока мощностью 5,0 кВт/м<sup>2</sup> на образцы модифицированного и немодифицированного текстильного материала в составе пакета материалов.

Режим испытания (в отличие от ГОСТ СТБ 1971-2009) был изменен: после нагрева образцов в течение 240 секунд следовал процесс охлаждения в течение 120 секунд, что позволило в дальнейшем оценить терморегулирующие свойства материала как на стадии возрастания температуры внешней среды, так и на стадии ее падения.

Также необходимо отметить, что в соответствии с требованиями ГОСТ СТБ 1971-2009 испытания проводятся только для пакета материалов. В проведенном исследовании оценивалась терморегулирующая способность испытываемых образцов, как в составе пакета материалов, так и без пакета материалов. При этом воздей-

ствии теплового потока мощностью  $2 \text{ кВт/м}^2$  ГОСТ СТБ 1971-2009 не предусматривается. Данный тепловой режим был выбран исходя из того, что активная терморегуляция исследуемых образцов должна наблюдаться и в более щадящих режимах, нежели в условиях воздействия высоких температур, а минимальное значение теплового потока, которое может быть установлено на опытной установке, соответствует значению  $2 \text{ кВт/м}^2$ .

#### МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ МАТЕРИАЛА К ВОЗДЕЙСТВИЮ ТЕПЛОвого ПОТОКА

Для испытаний было отобраны пробы модифицированного и немодифицированного полиэфирного подкладочного материала размером  $220 \times 70 \text{ мм}$ .

Пакет материалов должен включать в себя все материалы, входящие в состав изделия. Состав исследуемого пакета материалов представлен в таблице 2.

Испытания проведены на установке, схема которой показана на рисунке 1.

В качестве источника излучения используют радиационную панель размером  $200 \times 150 \text{ мм}$  с нагревательным элементом в виде спирали из нихромовой проволоки по ГОСТ 14081.

Параметры спиралей (диаметр, шаг намотки, электрическое сопротивление) должны быть такими, чтобы при равномерном распределении спиралей по поверхности керамической плиты суммарная потребляемая мощность не превышала  $8 \text{ кВт}$ .

Для измерения значений плотности теплового потока используют датчик типа Гордо-

на с диапазоном измерения от  $1 \text{ кВт/м}^2$  до  $50 \text{ кВт/м}^2$  и погрешностью измерений не более  $8 \%$ , который выводится на вторичный прибор с классом точности не менее  $0,15$ . Датчик измерения плотности теплового потока устанавливают в держатель пробы.

Для измерения температуры на внутренней поверхности материала (пакета материалов) крепят три термопары ТХК (хромель/копель) по СТБ ГОСТ Р 8.585 под углом  $120^\circ$  друг к другу на расстоянии  $(20 \pm 2) \text{ мм}$  от центра датчика. Контакт термопар с датчиком и держателем пробы не допускается. Термопары пришивают нитками в месте сая на длину не менее  $5 \text{ мм}$  и выводят на вторичный прибор для измерения рабочей температуры с классом точности не ниже  $0,5$ .

Дополнительно в целях изучения терморегулирующей способности исследуемого материала на внешней поверхности материала (пакета материалов) крепится термопара ТХК (хром/копель). Контакт термопары с датчиком и держателем пробы также не допускается.

Для экранирования термопар от окружающей среды на поверхности держателя проб устанавливают материал с металлизированным покрытием толщиной  $(2 \pm 1) \text{ мм}$  (металлизированной поверхностью наружу), который имеет центральное сквозное отверстие диаметром  $15 \text{ мм}$ .

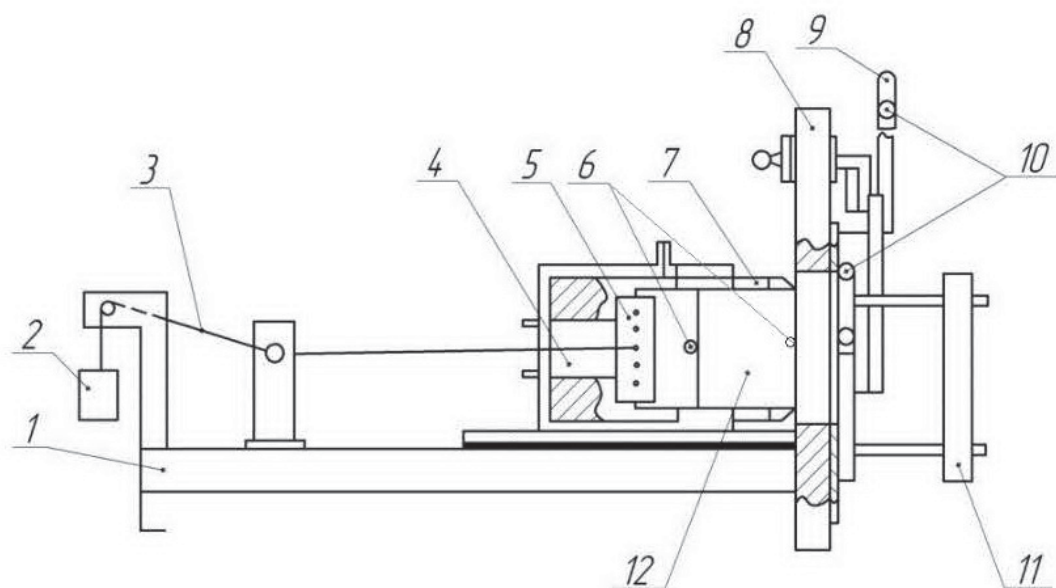
Термопары используют для измерения температуры на внутренней и внешней поверхности пакета материалов. Измерение температуры и плотности теплового потока проводят одновременно.

В соответствии с ГОСТ СТБ 1971-2009, а также с учетом изменения режимов исследования

Таблица 2 – Состав пакетов материалов для боевой одежды пожарных

№ п/п	Наименование слоя	Наименование материалов пакета
1	Материал верха	Ткань из волокна «Арселон-С» с нанесенным мембранным покрытием
2	Водонепроницаемый слой	
3	Теплоизоляционная подкладка	Ватин (для внутреннего слоя теплоизоляционной подкладки)
4	Подкладочная ткань	Полиэфирная ткань (для изготовления теплоизоляционной подкладки куртки и полукombineзона)

Источник: собственная разработка на основании данных НИЦ МЧС (г. Витебск).



1 – платформа; 2 – груз; 3 – нити; 4 – датчик измерения плотности теплового потока; 5 – зажим; 6 – термопара; 7 – держатель пробы; 8 – экран; 9 – защитная заслонка; 10 – система охлаждения; 11 – радиационная панель; 12 – проба

Рисунок 1 – Схема установки для определения устойчивости материалов к воздействию теплового потока

испытания проводились в определенной последовательности:

1. Включают радиационную панель 11, регистрирующие приборы 4,6 и систему охлаждения 10.

2. Прогревают радиационную панель в течение  $(25 \pm 5)$  мин от начала включения источника питания.

3. Поднимают защитную заслонку 9, открывая тем самым доступ теплового потока к датчику.

4. Изменяя расстояние между источником теплового излучения и датчиком, устанавливают держатель пробы 7 на таком расстоянии от радиационной панели, при котором значение плотности теплового потока, падающего на пробу, равно  $2 \text{ кВт/м}^2$ .

5. Опускают заслонку и фиксируют расстояние от экрана 8 до держателя на платформе 1.

6. Закрепляют пробы материала 12 на рабочем участке датчика с помощью зажимов 5 и устройства натяжения 2,3.

7. Поднимают заслонку и выдерживают

пробу под действием теплового потока установленной плотности в течение 240 с.

8. Измеряют плотность теплового потока, прошедшего через пробу, и температуру на внутренней и внешней поверхности пробы. За температуру на внутренней и внешней поверхности принимают среднееарифметическое значение показаний термопар 6.

9. Опускают заслонку и выдерживают пробу (в режиме остывания) в течение 120 секунд.

10. Изменяя расстояние между радиационной панелью и датчиком с пробой, устанавливают плотность теплового потока  $5 \text{ кВт/м}^2$  и проводят испытания для материала (пакета материалов) в течение 240 сек [7].

#### ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ

Оценка результатов испытаний проведена по следующим направлениям:

1. Сравнительная оценка результатов испытаний проб модифицированной и немодифицированной полиэфирной подкладочной ткани при воздействии теплового потока  $2 \text{ кВт/м}^2$ .

2. Сравнительная оценка результатов ис-

пытаний проб модифицированной и немодифицированной полиэфирной подкладочной ткани при воздействии теплового потока  $5 \text{ кВт/м}^2$ .

3. Сравнительная оценка результатов испытаний проб модифицированной и немодифицированной полиэфирной подкладочной ткани при воздействии теплового потока  $5 \text{ кВт/м}^2$  в составе пакета материалов.

При воздействии на исследуемый материал теплового потока  $2 \text{ кВт/м}^2$  была изучена динамика температуры на внешней и внутренней сторонах текстильного материала. Результаты исследований могут быть представлены в виде графиков (рисунок 2).

Анализируя графики, представленные на рисунке 2, можно отметить, что при воздействии теплового потока  $2 \text{ кВт/м}^2$ , значения температуры на внутренней стороне модифицированного полиэфирного подкладочного материала ниже показателей немодифицированного материала, а также разность температур на внешней и внутренней сторонах обработанного материала (в конце воздействия теплового потока) составляет  $19 \text{ }^\circ\text{C}$  и соответственно необработанно-

го материала –  $16 \text{ }^\circ\text{C}$ , что говорит о присутствии теплоаккумулирующего эффекта исследуемого материала. Также в фазе остывания при приближении к точке кристаллизации микрокапсул образец ткани проявляет свойство теплоотдачи, что также подтверждает заявленные свойства модифицированного текстильного материала.

При воздействии на исследуемый материал теплового потока  $5 \text{ кВт/м}^2$  была изучена динамика температуры на внешней и внутренней сторонах текстильного материала. После статистической обработки данные могут быть представлены в виде графиков (рисунок 3).

Можно отметить, что при воздействии теплового потока  $5 \text{ кВт/м}^2$  значения температуры на внутренней стороне модифицированного полиэфирного подкладочного материала выше показателей немодифицированного материала. Данное обстоятельство может быть связано с достаточно агрессивным температурным воздействием на материал, что в реальных условиях эксплуатации неприменимо.

Дополнительно было исследовано воздействие теплового потока мощностью  $5 \text{ кВт/м}^2$

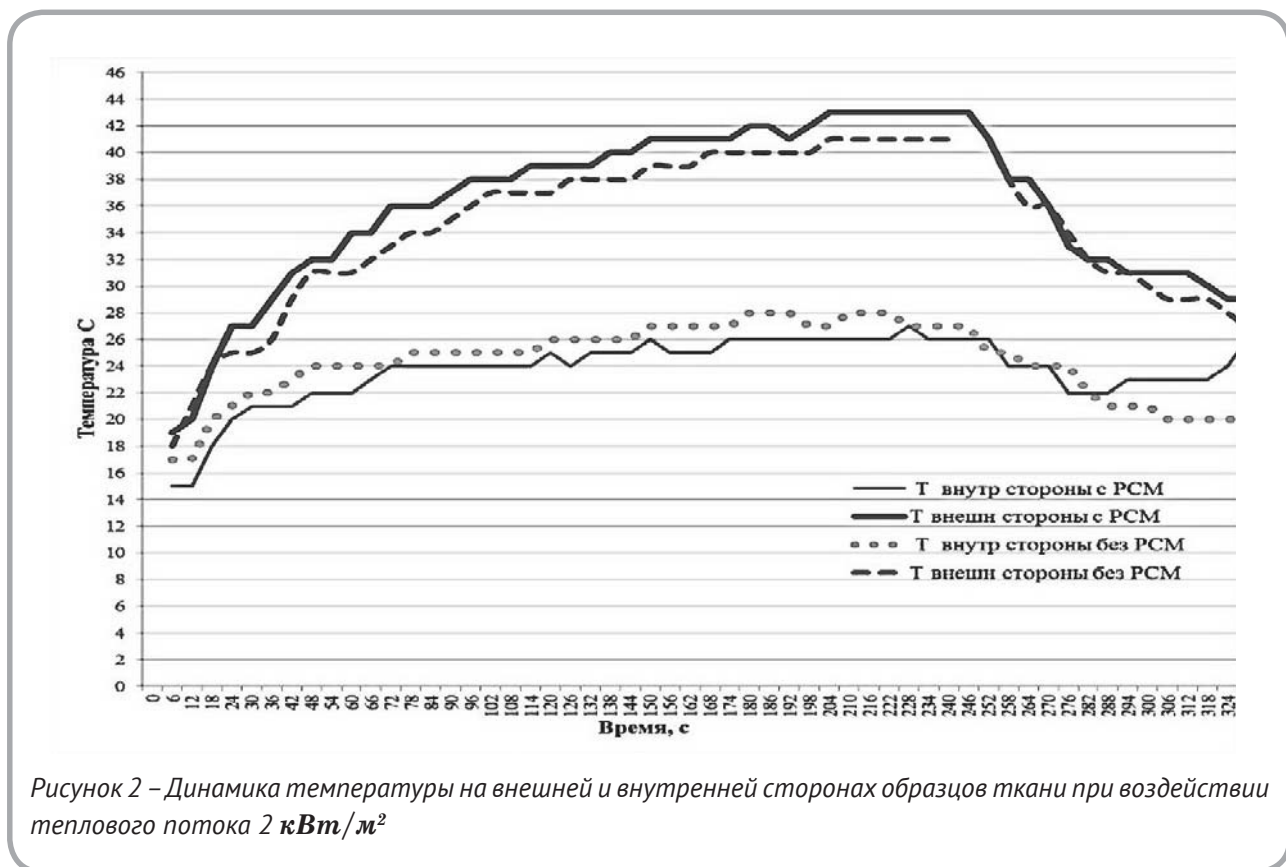


Рисунок 2 – Динамика температуры на внешней и внутренней сторонах образцов ткани при воздействии теплового потока  $2 \text{ кВт/м}^2$

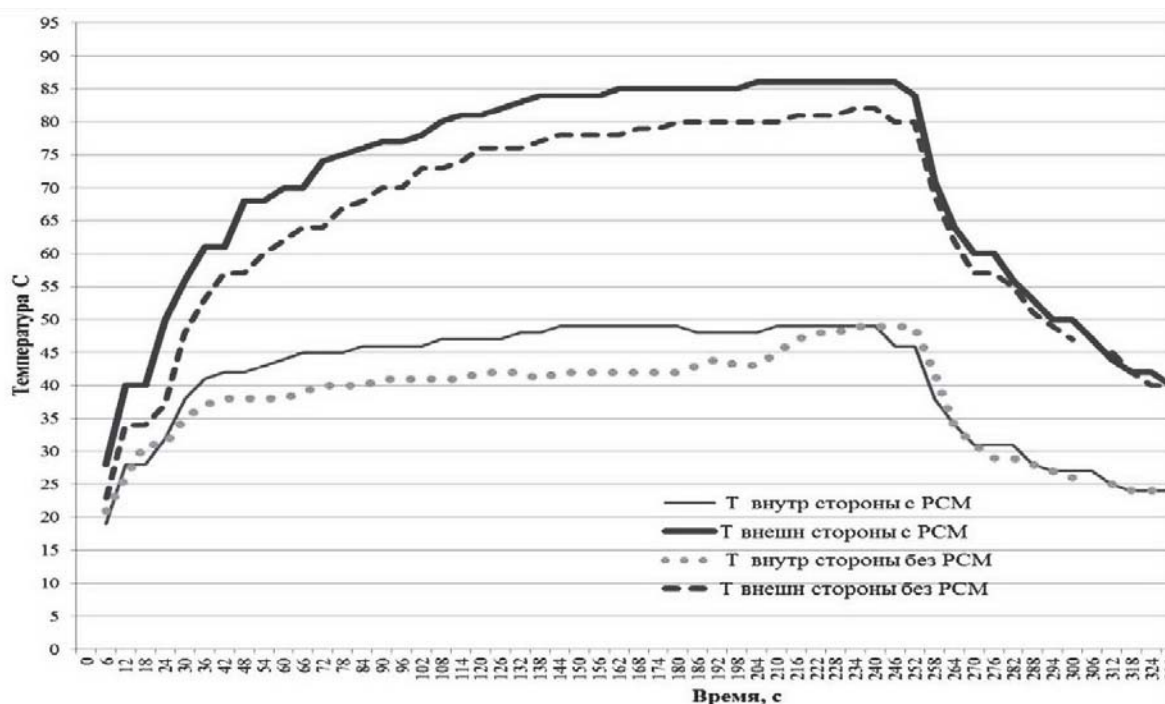


Рисунок 3 – Динамика температуры на внешней и внутренней сторонах полиэфирной модифицированной и немодифицированной подкладочной ткани при воздействии теплового потока  $5 \text{ кВт/м}^2$

на пакет материалов, в составе которого содержится изучаемый подкладочный материал. При этом изучена динамика температуры на внешней и внутренней сторонах пакета материалов.

Установлено, что значения температуры на внутренней стороне модифицированного полиэфирного подкладочного материала ниже показателей немодифицированного материала, а также разность температур на внешней и внутренней сторонах обработанного материала (в конце воздействия теплового потока) составляет  $57 \text{ }^\circ\text{C}$  и соответственно необработанного материала –  $64 \text{ }^\circ\text{C}$ , что говорит о присутствии теплоаккумулирующего эффекта исследуемого материала.

Необходимо отметить, что плотность теплового потока на внутренней поверхности пакета материалов БОП составила:

- в пакете, имеющем в составе модифицированную полиэфирную подкладочную ткань, –  $1 \text{ кВт/м}^2$ ;
- в пакете, не имеющем в составе модифицированную полиэфирную подкладочную ткань, –  $1,1 \text{ кВт/м}^2$ .

При проведении испытания в соответствии с СТБ 1971-2009 (воздействие теплового потока  $5 \text{ кВт/м}^2$  в течение 240 секунд) пакет материалов БОП считают выдержавшим испытания, если среднеарифметическое значение температуры на внутренней поверхности пакета материала БОП в течение испытания не превышало  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  и на всех пробах не произошло:

- разрушения наружной поверхности материала верха и внутренних слоев пакета (оплавления, обугливания, прогара);
- отслоения покрытия от тканевой основы (для материалов с полимерным пленочным покрытием);
- воспламенения;
- увеличения плотности теплового потока на внутренней поверхности пакета материалов БОП до значения, превышающего  $2,5 \text{ кВт/м}^2$ .

При исследовании пакета материалов с использованием и без использования модифицированной полиэфирной подкладочной ткани все требования СТБ были выдержаны.

Последующие исследования текстильных материалов, модифицированных веществами с

фазовым переходом, будут направлены на изучение их свойств в составе пакетов материалов, а также при воздействии теплового потока различной мощности и времени, что позволит дать комплексную оценку особых свойств инновационных материалов.

#### ВЫВОД

Таким образом, в результате проведенных исследований подтверждено, что обработка текстильного материала микрокапсулированным веществом с изменяемым фазовым состоянием оказывает влияние на его терморегулирующую способность, а именно: исследуемый материал в процессе нагревания проявляет свойство теплоаккумуляции, а в процессе остывания проявляет свойство теплоотдачи. Данное обстоятельство подтверждает заявленную способность модифицированного текстильного материала к терморегуляции. Исследуемый материал может быть рекомендован для производства подкладочных тканей для изделий специального назначения, например, боевой одежды пожарных-спасателей.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Mondal, S. (2008), Phase change materials for smart textiles – An overview. *Applied Thermal Engineering*, 2008, № 28, pp. 54-63.
2. Onofrei, E., Rocha, A.M. (2010), Textiles integrating PCMs – a review. *Buletinul institutului politehnic din iasi t.(LX)*, 2010, № 2, pp. 99-107.
3. Rossi, R.M., Bolli, W.P. (2005), Phase change materials for improvement of heat protection. *Advanced Engineering Materials*, 2005, № 7, pp. 368-373.
4. Wang, S.X., Li, Y., Hu, Y., Song, Q.W. (2006), Effect of phase change materials on energy consumption of intelligent thermal-protective clothing. *Polymer Testing*, 2006, № 5, pp. 580-587.

#### REFERENCES

1. Mondal, S. (2008), Phase change materials for smart textiles – An overview. *Applied Thermal Engineering*, 2008, № 28, pp. 54-63.
2. Onofrei, E., Rocha, A.M. (2010), Textiles integrating PCMs – a review. *Buletinul institutului politehnic din iasi t.(LX)*, 2010, № 2, pp. 99-107.
3. Rossi, R.M., Bolli, W.P. (2005), Phase change materials for improvement of heat protection. *Advanced Engineering Materials*, 2005, № 7, pp. 368-373.
4. Wang, S.X., Li, Y., Hu, Y., Song, Q.W. (2006), Effect of phase change materials on energy consumption of intelligent thermal-protective clothing. *Polymer Testing*, 2006, № 5, pp. 580-587.

5. Кричевский, Г.Е.(2014), *Все или почти все о текстиле. Том 3. Технический, защитный и медицинский текстиль и одежда*, Москва, 400 с.
  6. Солодовник, В.Д. (1986), *Микрокапсулирование*. Москва, Химия, 216 с.
  7. Система стандартов безопасности труда. Одежда пожарных боевая. Общие технические условия: СТБ 1971-2009. – Введ. 01.01.2010. Минск: Госстандарт, 2009. – 36 с.
5. Krichevsky, G.E. (2014), *Vse ili pochti vse o tekstile. Tom 3. Tehnicheskij, zashhitnyj i medicinskij tekstil' i odezhda* [Everything or almost everything about textiles. Book 3. Technical protective and medical textile and clothing], Moscow, 400 p.
  6. Solodovnik, V.D. (1986), *Microkapsulirovanie* [Microcapsulation], Moscow: Chemical, 216 p.
  7. The system of occupational safety standards. Clothing fire fighting. General specifications [Sistema standartov bezopasnosti truda. Odezhda pozharnyh boevaja. Obshhie tehnicheckie uslovija]: STB 1971-2009. – Introd. 01.01.2010. Minsk: Gosstandart, 2009. – 36 p.

Статья поступила в редакцию 02. 03. 2017 г.



**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ИЗГИБНОЙ ЖЕСТКОСТИ ОБУВИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ****COMPARATIVE EVALUATION OF THE FLEXURAL RIGIDITY OF FOOTWEAR OF VARIOUS TYPES****Ю.В. Милюшкова\*, В.Е. Горбачик***Витебский государственный технологический университет*

УДК 685.34.017.85

**Y. Miliushkova\*, V. Gorbachik***Vitebsk State Technological University***РЕФЕРАТ****ИЗГИБНАЯ ЖЕСТКОСТЬ, ГИБКОСТЬ, КАЧЕСТВО, ОБУВЬ, МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЯ, ПРИБОРЫ, ИЗМЕРЕНИЯ**

*В статье идет речь об изгибной жесткости обуви как наиболее важном показателе её качества. Проведен анализ методов и устройств для определения изгибной жесткости обуви, которые позволяют в максимальной степени моделировать при испытании реальный механизм изгиба обуви при ходьбе. С целью совершенствования методики и приборов для определения изгибной жесткости обуви предложено уравнение, использование которого дает возможность проводить сравнительную оценку показателя изгибной жесткости обуви, полученного при испытании на различных приборах. Использование рекомендаций, полученных в ходе работы, позволяет с достаточной точностью проводить оценку показателя изгибной жесткости обуви различных конструкций.*

**ABSTRACT****FLEXURAL RIGIDITY, ELASTICITY, QUALITY, FOOTWEAR, TEST METHODS, INSTRUMENTS, MEASUREMENTS**

*The article discusses flexural rigidity of footwear as the key factor of its quality. The analysis of methods and devices for determining flexural rigidity is done. These methods and devices enable to simulate the actual flexing mechanism of footwear under walking. In order to improve methodology and instruments for determining flexural rigidity the formula is developed which allows for comparative assessment of flexural rigidity index measured under testing with various instruments. Applying developed recommendations allows for adequate precise assessment of flexural rigidity index of footwear of various design.*

Приоритетной задачей любого современного обувного предприятия является обеспечение высокого качества и безопасности выпускаемой продукции.

К сожалению сегодня не все потребители удовлетворены качеством приобретаемой обуви. С точки зрения покупателя, основными параметрами качества обуви являются функциональность, надежность, дизайн, безопасность потребления. Кроме того, в последнее время особое внимание потребитель уделяет показателям качества, характеризующим удобство и комфорт

в эксплуатации. По многочисленным наблюдениям медиков и специалистов-обувщиков, одним из важнейших таких показателей качества обуви является изгибная жесткость (гибкость).

Жесткая обувь отрицательно влияет на организм человека. Передвижение в такой обуви требует дополнительных энергозатрат, приводит к затруднениям при ходьбе, вызывает усталость, а в детском возрасте еще и препятствует правильному развитию ноги [1, с. 93, 2, с.180–182, 3, 4]. Учитывая это, показатель изгибной жесткости входит в систему сертификации обуви и

\* E-mail: [julie-poste@yandex.ru](mailto:julie-poste@yandex.ru) (Y. Miliushkova)

нормируется. Поэтому исследования вопросов, связанных с изгибной жесткостью обуви, сегодня достаточно актуальны.

Учитывая важность показателя изгибной жесткости обуви, у нас и в других странах разработаны различные методы и приборы [1, 5, 6] для оценки данного показателя.

В работе [5] отмечается, что по характеру воздействия на обувь все методы измерения изгибной жесткости обуви подразделяются на две группы. Первую группу составляют методы и устройства, в которых при измерении изгибной жесткости обуви происходит подъем пяточной части обуви при неподвижном положении носочно-пучковой части. Ко второй группе относятся методы и приборы, в которых, наоборот, поднимается носочная часть обуви при неподвижном положении пяточно-геленочной части. При этом подход к измерению изгибной жесткости обуви во всех методах одинаков и основан на изгибании обуви в пучковой части на угол  $25^\circ$  и определении усилия, необходимого для этого изгибания. Кроме того, установлено, что при определении изгибной жесткости обуви на приборах второй группы в большинстве случаев плечо изгиба остается постоянным, а при испытании на приборах первой группы плечо изгиба меняется в зависимости от размера обуви. Проведенные исследования [7] показали, что значения изгибной жесткости одних и тех же образцов обуви, полученные при испытаниях на приборе с поднятием пяточной части обуви, значительно меньше значений, полученных на приборе с поднятием носочной части обуви. Это в свою очередь не дает возможность проводить сравнительную оценку показателя изгибной жесткости обуви, полученного при испытании на приборах разных групп.

Проведенный анализ наиболее известных приборов и устройств для оценки показателя изгибной жесткости обуви [5, 6, 7] показал, что в большинстве приборов для измерения изгибной жесткости характер нагружения не соответствует тому, что происходит в реальных условиях носки. Речь идет, прежде всего, об условиях приложения изгибающих усилий к образцу обуви. Кроме того, большинство приборов и приспособлений обладают рядом серьезных недостатков и приводят к значительным ошибкам при измерении

исследуемого показателя качества. Все это ставит вопрос о необходимости продолжения работ по совершенствованию методов и приборов для определения изгибной жесткости обуви.

Как отмечается в ряде работ [5, 6, 7, 8], приборы первой группы позволяют более полно моделировать условия эксплуатации обуви, так как при ходьбе в фазу «перекат через передний отдел» передний отдел стопы, на который переносится давление тела человека, прижимает переднюю часть низа обуви к опоре, а пятка отрывается от опоры и тянет за собой пяточную часть обуви.

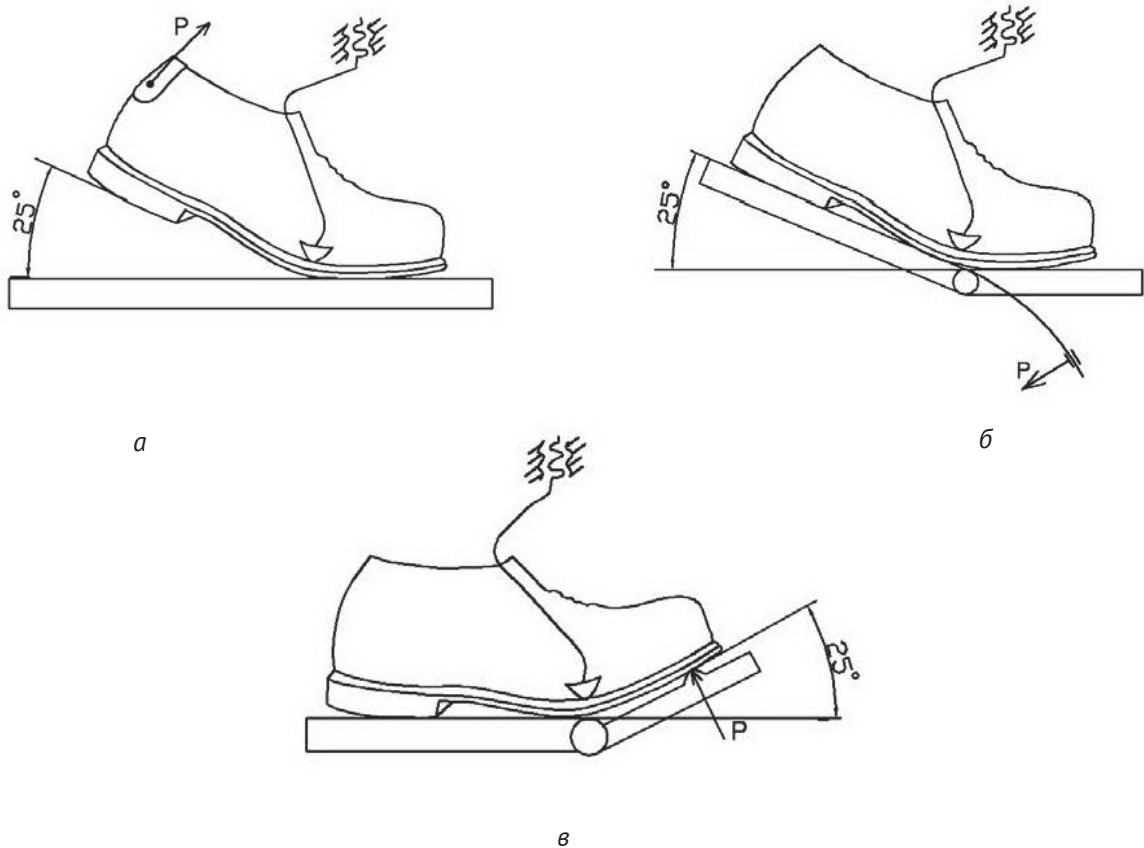
При этом пятка стопы движется по дуге определенного радиуса. Максимальное усилие изгиба в этом случае приложено в наиболее выступающей точке пяточного закругления стопы.

С учетом этого на кафедре конструирования и технологии изделий из кожи Витебского государственного технологического университета были разработаны способ и устройство для измерения изгибной жесткости обуви [7], позволяющие в максимальной степени моделировать при испытании реальный механизм изгиба обуви при ходьбе.

Принципиальная схема предложенного устройства изображена на рисунке 1 а. Обувь, в области пяточного закругления захватывается специальным зажимом, который соединен с цифровым динамометром, фиксирующим усилие изгиба. Разработанное устройство позволяет наиболее полно моделировать условие взаимодействия системы «стопа-обувь», так как усилие, изгибающее обувь, приложено к пяточному закруглению обуви.

Разработанное устройство достаточно простое, оно не требует предварительной разметки образцов обуви для базирования в устройстве и позволяет определить значение изгибной жесткости обуви непосредственно при испытании образца без использования дополнительной аппаратуры и вычислений.

Проведенные исследования [7] показали, что значения изгибной жесткости одних и тех же образцов обуви, полученные при испытаниях на разработанном приборе, хорошо согласуются с данными полученными на приборе [9], принципиальная схема которого изображена на рисунке 1 б. Изгиб обуви на угол  $25^\circ$  в этом



*а – схема нагружения на приборе ВГТУ; б – схема нагружения на приборе, определяющем изгибающий момент; в – схема нагружения на приборе марки ПГО*

*Рисунок 1 – Принципиальные схемы нагружения обуви в приборах для измерения изгибной жесткости обуви*

случае осуществляется при помощи подвижной плиты, на которой расположена пяточная часть обуви до линии пучков. Способ принципиально отличается от предыдущего тем, что измеряется не усилие, изгибающее обувь, а изгибающий момент, а уже затем вычисляется усилие изгиба путем деления величины изгибающего момента на заданное плечо изгиба (в нашем случае  $0,68 D$  стопы). Тем не менее предложенный прибор имеет достаточно сложную конструкцию, а вычисление усилия изгиба расчетным путем повышает трудоемкость процесса измерения.

Следует, однако, отметить, что на разработанном устройстве [7] измерение изгибной жесткости сапог и ботинок с высокими берцами вызывают значительные трудности с точки зрения как закрепления пучковой части обуви, так и

приложения усилия в пяточной части. Особенно это касается сапог с высокими голенищами без молнии.

С этой точки зрения представляет интерес прибор марки ПГО, разработанный УкрНИИКом [10], принципиальная схема работы которого изображена на рисунке 1 в. Поднятие носочной части обуви на угол  $25^\circ$  в этом случае осуществляется при помощи рамки, перемещающейся по дуге определенного радиуса, а механизм базирования обуви предусматривает возможность испытания, в том числе сапог без специального закрепления на стопе. Однако прибор относится к первой группе, что не позволяет в полной мере моделировать при испытании реальный механизм изгиба обуви при ходьбе, а полученные данные изгибной жесткости обуви, как было

сказано выше [7], будут значительно отличаться от данных, полученных на приборах второй группы.

В работе [11] было высказано предположение о возможности сравнения показателей изгибной жесткости обуви, полученных на приборах первой и второй групп при условии равенства изгибающих моментов.

Анализ способа определения изгибной жесткости обуви, предусматривающего поднятие пяточной части обуви и измерение усилия изгиба с помощью динамометра [7], показал, что при испытании обуви на устройстве (рисунок 2 а), справедливо следующее уравнение:

$$M_1 = P_1 \cdot l_1 , \quad (1)$$

где  $M_1$  – изгибающий момент,  $H \cdot мм$ ;  $P_1$  – усилие, изгибающее обувь замеренное динамометром на устройстве ВГТУ первой группы с поднятием пяточной части обуви,  $H$ ;  $l_1$  – плечо изгиба обуви на устройстве ВГТУ первой группы с поднятием пяточной части обуви,  $мм$ .

С другой стороны, при испытании обуви на приборе марки ПГО, предусматривающем поднятие носочной части обуви (рисунок 2 б) так же можно рассчитать момент:

$$M_2 = P_2 \cdot l_2 , \quad (2)$$

где  $M_2$  – изгибающий момент,  $H \cdot мм$ ;  $P_2$  – усилие, изгибающее обувь на приборе ПГО второй группы с поднятием носочной части обуви,  $H$ ;  $l_2$  – плечо изгиба обуви на приборе ПГО второй группы с поднятием носочной части обуви,  $мм$ .

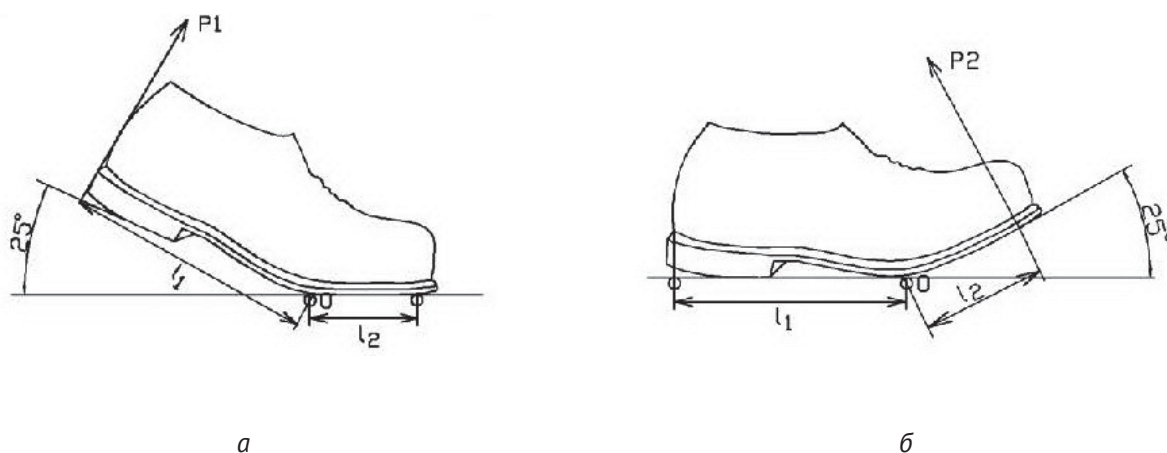
При равенстве моментов можно записать:

$$P_1 \cdot l_1 = P_2 \cdot l_2 . \quad (3)$$

Из выражения 3 следует:

$$P_1 = P_2 \cdot \frac{l_2}{l_1} . \quad (4)$$

Таким образом, для определения показателя изгибной жесткости обуви характеризуемого усилием изгиба ( $P$ ,  $H$ ) при изгибании обуви на угол  $25^\circ$ , измеренного на приборах первой и второй групп с учетом соотношения плеч изгиба на приборах двух групп можно воспользоваться соотношением:



а – прибор с поднятием пяточной части обуви; б – прибор с поднятием носочной части обуви

Рисунок 2 – Характер приложения сил в приборах для измерения изгибной жесткости обуви

$$P_1' = P_2 \cdot K, \quad (5)$$

где  $P_1'$  – усилие изгиба, характеризующее изгибную жесткость обуви с учетом соотношения плеч изгиба на приборах первой и второй групп;  $K = l_2 / l_1$ .

Рассмотрим, как работает данная формула на примере испытания изгибной жесткости образцов детской обуви. В качестве объектов исследования была выбрана обувь закрытого типа различных видов дошкольной половозрастной группы исходного 185-го среднего размера.

Линия приложения силы изгиба при испытании на приборе ПГО с поднятием носочной части обуви согласно ГОСТ 9718–88 «Обувь. Метод определения гибкости» [12] находится на расстоянии 60 мм от линии закрепления в сторону носка, то есть плечо изгиба обуви при измерении  $l_2 = 60 \text{ мм}$ .

Плечо изгиба обуви на устройстве ВГТУ с поднятием пяточной части обуви также легко определить  $l_1 = 0,68 \text{ Дст}$  (длины стопы). Так как метрический 185 размер обуви соответствует длине стопы 185 мм, то  $l_1 = 0,68 \cdot 185 = 126 \text{ мм}$ .

В таблице 1 приведены отклонения ( $P$ ) значений изгибной жесткости образцов, полученных на разработанном устройстве ВГТУ ( $P_1$ ) от рассчитанных по уравнению 5 ( $P_1'$ ) с учетом соотношения плеч изгиба на приборах двух групп и значений изгибной жесткости образцов, полученных при испытании на приборе ПГО.

Как видно из таблицы, величины отклонений значений изгибной жесткости образцов, полученных на разработанном устройстве ВГТУ, от

рассчитанных по уравнению, имеют небольшие значения. Следовательно, для перехода от величины изгибной жесткости образцов, полученной при испытаниях на приборе марки ПГО к значениям изгибной жесткости, полученных на разработанном устройстве ВГТУ с достаточной точностью можно использовать уравнение (5).

Поэтому для определения изгибной жесткости обуви с высокими берцами или голенищами можно рекомендовать прибор марки ПГО с последующим пересчетом полученного значения.

Таким образом, учитывая, что показатель изгибной жесткости входит в систему сертификации обуви и нормируется, а для его определения у нас и в других странах используются различные методы и приборы, то при оценке данного показателя очень важно иметь сопоставимые результаты. Использование предложенных в ходе работы рекомендаций дает возможность с достаточной точностью проводить сравнительную оценку показателя изгибной жесткости обуви различных видов, полученного при испытании на приборах первой и второй групп.

Таблица – Отклонения  $P$  значений изгибной жесткости  $P_1$  образцов, полученных на разработанном устройстве ВГТУ от расчетных  $P_1'$

№ образца	$P_1, Н$	$P_1', Н$	$\Delta P, Н$
1	5,5	4,8	0,7
2	16,8	15,7	1,1
3	8,1	7,1	1,0
4	22,5	21,4	1,1
5	11,8	10,5	1,3
6	30,0	28,6	1,4

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Любич, М.Г. (1969), *Свойства обуви*, Легкая индустрия, Москва, 256 с.
2. Ченцова, К.И. (1974), *Стопа и рациональная обувь*, Лёгкая индустрия, Москва, 216 с.
3. Аркадьева, А. (2009), Правильная обувь – залог здоровья, *STEPnew*, 2009, № 1, С. 58–63.
4. Фортуна, В.П., Семенова, В.В. (2008), Безопасность кожгалантерейных изделий и обуви для детей и подростков, *Кожа и обувь*, 2008, №4 (31), С. 18–20.
5. Горбачик, В.Е. (2003), Изгибная жесткость обуви, *Кожа и обувь*, 2003, № 1, С. 14–15.
6. Горбачик, В.Е., Милюшкова, Ю.В. (2016), Характеристика методов и приборов для оценки изгибной жесткости обуви, Техническое регулирование: базовая основа качества материалов, товаров и услуг, *Международный сборник научных трудов Южно-Рос. гос. ун-та экономики и сервиса*, Шахты, 2016, С. 366–374.
7. Милюшкова, Ю.В., Ковалев, А.Л., Горбачик, В.Е. (2013), Анализ методов измерения изгибной жесткости обуви, *Дизайн и технологии*, МГУДТ, 2013, № 36 (78), С. 21–27.
8. Комиссаров, А.Г., Шварц, А.С. (1989), Измерение жесткости малоразмерной и низкокаблучной обуви при изгибе, *Кожевенно-обувная промышленность*, 1989, № 8, С. 31–33.
9. Патент №3414 (ВУ). Cl G01N 3/20 1996. Способ определения изгибной жесткости обуви и устройство для измерения изгибающего момента при определении изгибной жесткости обуви. / В.Е. Горбачик, А.Ю. Зыбин. Опубликовано в Официальном бюллетене №2 (25) 2000. с. 139.
10. А.с. 1000841 СССР, МКИ G 01 N 3/20. При-

## REFERENCES

1. Lyubich, M.G. (1969), *Svojstva obuvi* [Properties of shoes], Light industry, Moscow, 256 p.
2. Chencova, K.I. (1974), *Stopa i racional'naya obuv'* [Foot and rational footwear], Light Industry, Moscow, 216 p.
3. Arkadieva, A. (2009), The right shoes - the guarantee of health [Pravil'naya obuv' – zalog zdorov'ya], *STEPnew*, 2009, № 1, pp. 58-63.
4. Fortuna, V.P., Semenov, V.V. (2008), Safety of leather goods and shoes for children and teenagers [Bezopasnost' kozhgalanterejnyh izdelij i obuvi dlya detej i podrostkov], *Kozha i obuv' – Leather and shoes*, 2008, № 4 (31), pp. 18-20.
5. Gorbachik, V.E. (2003), Flexural rigidity of the shoe, leather and footwear [Izhibnaya zhestkost' obuvi], *Kozha i obuv' – Leather and shoes*, 2003, № 1, pp. 14-15..
6. Gorbachik, V.E., Milyushkova, Y.V. (2016), Characteristics of methods and devices for evaluating the flexural rigidity of the shoe [Harakteristika metodov i priborov dlya ocenki izhibnoj zhestkosti obuvi], Technical regulation: a basic foundation of the quality of materials, goods and services, *International collection of scientific papers of the South-Ros. gos. Univ of Economics and Service*, Shakhty, 2016, pp. 97–100.
7. Milyushkova, Y.V., Kovalev, A.L., Gorbachik, V.E. (2013), Analysis of the methods for measuring the flexural rigidity of the shoe [Analiz metodov izmereniya izhibnoj zhestkosti obuvi], *Dizajn i tekhnologii – Design and technology*, MSUDT 2013, № 36 (78), pp. 21–27.
8. Komissarov, A.G., Schwarz, A.S. (1989), Measuring the hardness of small and nizkokabluchnoy shoe bending [Izmerenie zhestkosti malorazmernoj i nizkokabluchnoj obuvi pri izhibe], *Kozhevenno-*

- бор для определения гибкости обуви / В. С. Островский и др. (СССР). - № 3354063/28 - 12 ; заявл. 04.11.81 ; опубл. 28.02.83, Бюллетень № 8. – 4 с. : ил.
11. Анохин, Д.И. (1979), Как определять и каким показателем характеризовать жесткость обуви, Конструирование и технология изделий из кожи, *Тематический сборник научных трудов*, Москва, МТИЛП, 1979, С. 62–64.
12. ГОСТ 9718–88 *Обувь. Метод определения гибкости*, Введ. 17.03.1988, Москва, Издательство стандартов, 1988, 6 с.
- obuvnaya promyshlennost' – Leather and footwear industry*, 1989, № 8, pp. 31–33.
9. Patent №3414 (VU). Cl G01N 3/20 1996. The method for determining the flexural rigidity of the shoe and a device for measuring the bending momenta in determining the bending stiffness of the shoe [Sposob opredeleniya izgibnoj zhestkosti obuvi i ustrojstvo dlya izmereniya izgibayushchego momenta pri opredelenii izgibnoj zhestkosti obuvi] / V.E. Gorbachik, A.Y. Zybin. Published in the Official Journal № 2 (25) 2000 p. 139.
10. A.S. 1000841 USSR MKI G 01 N 3/20. The device for determining the flexibility of the shoe [Pribor dlya opredeleniya gibkosti obuvi] / V.S. Ostrovsky et al. (USSR). - № 3354063/28 - 12; appl. 11/04/81; publ. 28.02.83, № 8. Bulletin - 4. : il.
11. Anokhin, D.I. (1979), How to define and how to characterize the stiffness index Shine [Kak opredelyat' i kakim pokazatelem harakterizovat' zhestkost' obuvi], Designing and technology of leather goods, *Thematic collection of scientific works*, Moscow, MТИЛП, 1979, pp. 62-64.
12. GOST 9718-88 Footwear. Methods for determination of the flexibility [Obuv'. Metod opredeleniya gibkosti] Introduced 03.17.1988, Moscow, Publishing Standards, 1988, 6 p.

*Статья поступила в редакцию 24. 03. 2017 г.*

## ИССЛЕДОВАНИЕ СУШКИ НАТУРАЛЬНОЙ КОЖИ МЕТОДОМ РЕГУЛЯРНОГО РЕЖИМА И ОБОБЩЕННЫМИ КОМПЛЕКСНЫМИ ПЕРЕМЕННЫМИ

### EXAMINATION OF LEATHER DRYING WITH METHOD OF REGULAR REGIME AND GENERALIZED COMPLEX VARIABLES

**А.И. Ольшанский, А.Л. Климентьев\***

*Витебский государственный технологический университет*

УДК 675.026.267

**A. Alshanski, A. Klimentyev\***

*Vitebsk State Technological University*

#### РЕФЕРАТ

*ВЛАГОСОДЕРЖАНИЕ, СРЕДНЕИНТЕГРАЛЬНАЯ ТЕМПЕРАТУРА, РЕГУЛЯРНЫЙ РЕЖИМ, КРИТЕРИЙ БИО, ТЕМП НАГРЕВА ТЕЛА, ТЕМП УБЫЛИ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ*

*Предложен новый метод расчета кинетики сушки натуральных кож. Изложены результаты исследования сушки натуральной кожи методом регулярного режима нагревания влажных тел на основе комплексных обобщенных переменных. Представлена обработка экспериментальных данных по определению коэффициента сушки, позволяющая определять длительность сушки. Получены уравнения для определения основных параметров кинетики сушки натуральной кожи различных видов. Проведена проверка достоверности полученных формул и сопоставление экспериментальных значений параметров с расчетными по формулам.*

#### ABSTRACT

*MOISTURE CONTENT, AVERAGE CUMULATIVE TEMPERATURE, REGULAR REGIME, BIO CRITERIUM, BODY HEAT RATE, MOISTURE LOSS RATE*

*A new calculation method for leather drying kinetics is proposed. The results of examination of leather drying with method of regular regime of raw bodies heating on the basis of complex generalized variables are presented. Experimental data processing for determining of drying ratio is developed which allows for determining the drying period. The formula validity is verified and the benchmark analysis of experimental data and calculated ones is performed applying the formulae.*

#### ВВЕДЕНИЕ

Сушка является не только теплофизическим, но и важным технологическим процессом, при котором материалы приобретают необходимые свойства. Правильно организованный процесс сушки должен не ухудшать технологические свойства высушиваемого материала, но заметно их улучшать. Технологические операции, которым подвергаются шкуры, прежде чем превращаются в натуральную кожу, очень сложны, разнообразны и многочисленны. Одной из последних технологических операций является дубление, в процессе которой кожа приобретает необходимые технологические свойства, при

этом резко изменяются теплофизические и механические свойства по отношению к свойствам первоначального материала [1, 2].

Выбор режима сушки зависит от условий проведения процесса, в первую очередь температуры, влажности материала, скорости движения теплоносителя, способа сушки. Рациональный режим сушки должен обеспечивать высокие технологические свойства обрабатываемого материала при минимальной продолжительности сушки и создавать условия для проектирования сушильной установки с минимальными размерами [2, 3, 4].

\* E-mail: [klimentyev@vstu.by](mailto:klimentyev@vstu.by) (A. Klimentyev)



## ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Расчет основных параметров кинетики сушки заключается в определении длительности процесса, температуры материала, плотности тепловых потоков, расхода тепла на сушку, интенсивности влагообмена, количества испаренной влаги. Все необходимые кинетические зависимости могут быть получены из аналитических решений системы уравнений тепломассопереноса [1–5].

Однако поставленная задача получается такой, что получить точное решение невозможно, поскольку коэффициенты переноса тепла и влаги в материале изменяются в процессе сушки по сложным закономерностям в зависимости от температуры и влагосодержания [1, 4]. Поэтому для расчета кинетики сушки и определения основных параметров для выбора способа сушки, типа сушильного аппарата необходимы экспериментальные исследования, позволяющие разработать приближенные, достаточно надежные и простые экспериментальные уравнения с минимальным количеством постоянных [1]. При этом более универсальными являются такие методы обработки опытных данных, которые основаны на общих закономерностях сушки и устойчивых обобщенных комплексных переменных, что сближает теорию с практикой сушки и значительно сокращает объем расчетной работы при обработке эксперимента [4, 5].

Основной трудностью при описании кинетики сушки является невозможность согласования лабораторных условий сушки с условиями сушки в промышленной сушилке и соответствия кривых сушки переменному режиму работы сушильного аппарата [3, 4].

Наиболее обоснованное решение по масштабному переходу состоит в том, что при проведении экспериментальных исследований кинетики сушки в лабораторных условиях при постоянных режимах систематизировать все режимы сушки по температурам, относительной влажности воздуха и скорости движения теплоносителя, что позволяет исследовать влияние отдельных параметров на длительность процесса сушки [1–5].

Для построения кривой сушки при переменном режиме необходимо знать изменение температуры и влагосодержания материала в

процессе сушки. Но в практике сушки режим изменяется прерывисто через отдельные промежутки времени. Следовательно, рассматривая кривые сушки для малых промежутков времени, для которых режим сушки постоянный и для которых вычисляется влагосодержание можно построить приближенную кривую сушки при переменном режиме [3].

Перенос результатов исследований из лабораторных условий на промышленные установки проводится с использованием теплового и материального баланса с проведением полупроизводственных экспериментов при переменном режиме сушки [1–5].

Правильно установленный рациональный режим сушки для конкретного материала позволяет определить минимальную длительность процесса, провести выбор конструкции и размеров сушильной камеры с минимальными энергозатратами на сушку [3–5].

## СУШКА ТОНКИХ МАТЕРИАЛОВ

При сушке тонких материалов кривую кинетики сушки можно разделить на три участка: стадию прогрева материала, период постоянной скорости сушки (первый период), период убывающей скорости (второй период).

В стадии прогрева влажного тела подводимое к телу тепло расходуется на прогревание материала от начальной температуры  $t_H$  до температуры  $t_{MT}$  мокрого термометра, равной температуре  $t_H$  поверхности материала ( $t_{MT} \approx t_H$ ). Для тонких материалов период прогрева значительно меньше по сравнению с другими периодами сушки. Скорость сушки в стадии прогрева возрастает от нуля до скорости сушки в первом периоде  $N$ .

Из теплового баланса влажного тела следует, что тепло, подводимое к телу в стадии прогрева, идет на нагрев тела и жидкости, и можно записать  $Q > Q_{исп}$  [5]. При достижении температуры влажного материала равной  $t_{MT}$ , стадия прогрева тела заканчивается и все подводимое тепло идет на испарение влаги из материала и выполняется равенство  $Q = Q_{исп}$  (приток тепла равен его расходу). Наступает первый период сушки, в котором температура равна  $t_{MT} = t_H$  и сохраняется постоянной до начала второго периода сушки.

С уменьшением влагосодержания ниже кри-

тического  $\bar{u}_{кр}$  температура влажного материала непрерывно возрастает, а теплота на испарение влаги из материала  $Q_{исп}$  постоянно убывает (второй период сушки).

Использованный первичный материал, необходимый для обработки данных комплексными переменными в виде кривых сушки и температурных кривых, приведен в монографии А. В. Лыкова [2] в виде протоколов наблюдений с указанием номера опыта и вида кожи.

На рисунке 1 изображены кривые сушки  $\bar{u} = f(\tau)$  и температурные кривые  $\bar{t} = f(u)$  для процесса конвективной сушки красnodубной юфти при различных режимах. Наблюдаются стадия прогрева материала, период постоянной скорости сушки с периодом постоянной температурой на уровне  $t_{MT}$  и второй период с непрерывным увеличением температуры до  $t_c$  при  $\tau \rightarrow \infty$ .

Для тонких материалов с периодом постоянной температуры в первом периоде при мягких режимах сушки градиентом температуры по сечению влажного тела можно пренебречь [4]. В [4, 5] стадию прогрева материала предлагается аппроксимировать уравнением

$$\left| \frac{d\bar{u}}{d\tau} \right| = \frac{\bar{t} - t_H}{t_{MT} - t_H} \cdot N, \quad (1)$$

где  $d\bar{u} / d\tau$  – скорость сушки;  $N$  – скорость сушки в первом периоде;  $\bar{t}$  – среднеинтегральная температура материала.

Время нагрева материала от  $t_H$  до  $t_{MT}$  определяется интегрированием уравнения (1)

$$\int_{u_{пп}}^{u_0} d\bar{u} = \frac{\bar{t} - t_H}{t_{MT} - t_H} \cdot N \int_0^{\tau_{пп}} d\tau.$$

$$\tau_{пп} \approx \frac{\bar{u}_0 - \bar{u}_{пп}}{N} \cdot \frac{\bar{t} - t_H}{t_{MT} - t_H}. \quad (2)$$

В качестве примера по уравнению (2) определим время прогрева для процесса сушки красnodубной юфти при режиме  $t_c = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ ; скорости воздуха  $v = 0,5 \text{ м/с}$ ; относительной влажности  $\phi = 45 \%$  (рисунок 1, кривая (2)).

Эксперимент:  $\bar{u}_0 = 0,97$ ;  $t_H = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\bar{u}_{пп} = 0,80$ ;  $t_{MT} \approx t_{п} = 35 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $N = 0,0070 \text{ мин}^{-1}$ ;  $\bar{t} = 34,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\tau_{пп}^{экс} = 25 \text{ мин}$ .

По формуле (2)

$$\tau_{пп} \approx \frac{0,97 - 0,80}{0,0070} \cdot \frac{35 - 20}{34,5 - 20} \approx 24,9 \text{ мин.}$$

Сопоставление значения  $\tau_{пп}$  материала с экспериментом показывает хорошее совпадение значений и, следовательно, пренебрежение гра-

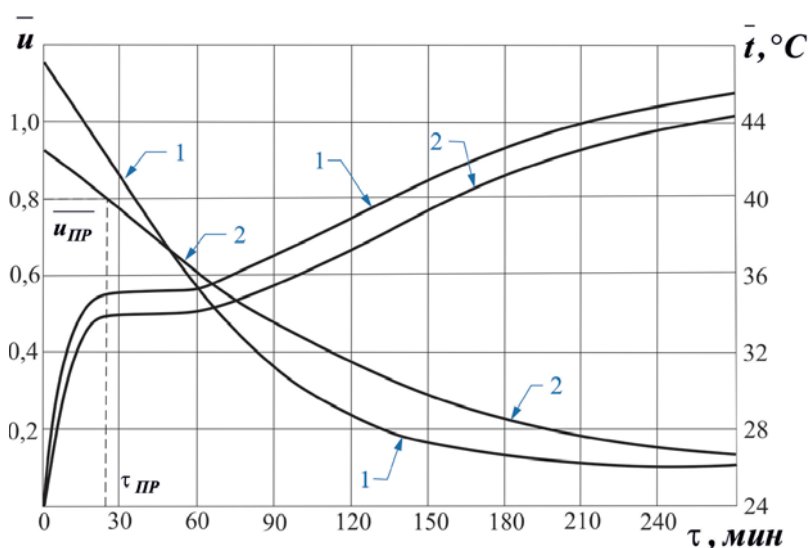


Рисунок 1 – Кривые сушки  $\bar{u} = f(\tau)$  и температурные кривые  $\bar{t} = f(u)$  в процессе сушки красnodубной юфти при режимах: 1 –  $t_c = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $v = 1 \text{ м/с}$ ;  $\phi = 45 \%$ ; 2 –  $t_c = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $v = 0,5 \text{ м/с}$ ;  $\phi = 45 \%$

диентом температуры по сечению влажного тела не вносит в расчеты значительной погрешности.  
**ОСНОВЫ ТЕОРИИ РЕГУЛЯРНОГО РЕЖИМА**

Рассмотрим основные положения регулярного режима, которые необходимы в расчетах кинетики сушки тонких материалов. При сушке тонких плоских влажных материалов теплообменный критерий Био  $Bi < 1$  и при отсутствии во влажном теле термического переноса вещества, когда градиентом температуры по сечению тела можно пренебречь и приближенно допустить  $t_{MT} \approx t_{II}$ , то относительную температуру материала можно определять по формуле [6, 7]

$$\bar{\Theta} = \frac{t_c - \bar{t}}{t_c - t_{MT}} = \exp(-Bi \cdot Fo), \quad (3)$$

где  $F_o$  – критерий Фурье.

Из теории регулярного режима нагревания твердых тел при равномерном начальном распределении температуры в теле при  $Bi < 0,1$  (практически достаточно  $Bi < 0,4$ ) следует, что темп нагрева твердого тела определяется выражением [6, 8]

$$m_t = \frac{\bar{\alpha}}{c_0 \cdot \rho_0 \cdot R_v}, \quad (4)$$

где  $m_t$  – темп нагрева твердого тела;  $\bar{\alpha}$  – коэффициент теплообмена;  $c_0$  – теплоемкость сухого тела;  $\rho_0$  – плотность;  $R_v = V / F$  – отношение объема тела к поверхности.

Темп нагрева тела  $m_t$  зависит от физических свойств тела, его геометрической формы, условий теплообмена на поверхности тела и не зависит от режима сушки [6–8]. Для безразмерного влагосодержания материала  $\bar{U}$  можно записать выражение, вытекающее из решения дифференциального уравнения массопереноса [7], аналогичное зависимости (3)

$$\bar{U} = \frac{\bar{u} - u_p}{u_0 - u_p} = \exp(-Bi_m \cdot Fo_m), \quad (5)$$

где  $Bi_m, Fo_m$  – массообменные критерии Био и Фурье;  $\bar{u}_0, \bar{u}, u_p$  – начальное, текущее и равновесное влагосодержание материала.

Комбинации критериев  $Bi \cdot Fo$  и  $Bi_m \cdot Fo_m$  представляют важные устойчивые обобщенные

переменные, характерные для процесса сушки. Подставляя все значения теплофизических коэффициентов в критерии подобия в уравнения (4) и (5), получим

$$Bi \cdot Fo = m_t \cdot \tau_{II}; \quad (6)$$

$$Bi_m \cdot Fo_m = m_u \cdot \tau, \quad (7)$$

где  $\tau_{II}$  – время сушки во втором периоде;  $\tau$  – время сушки, отсчитываемое от начала процесса;  $m_u$  – темп убыли влагосодержания.

Темп нагрева материала и темп убыли влагосодержания определяются экспериментально по зависимостям [6, 7]

$$tg \gamma_1 = \frac{\ln(t_c - \bar{t}_1) - \ln(t_c - \bar{t}_2)}{\tau_2 - \tau_1} = m_t = const, \quad (8)$$

$$tg \gamma_2 = \frac{\ln(W_0 - W_2) - \ln(W_0 - W_1)}{\tau_2 - \tau_1} = m_u. \quad (9)$$

На рисунке 2 представлены кривые сушки для процессов сушки красnodубной юфти и стелечного полуваля при различных режимах и начальных значениях влагосодержания [2].

На рисунке 1 и рисунке 3 даны кривые сушки и температурные кривые в процессах сушки юфти и опоека при различных режимах.

Темп убыли влагосодержания, определяемый формулой (9), находится в сложной функциональной зависимости от режима сушки, начального влагосодержания ( $\bar{u}_0$ ) и ряда других факторов, влияющих на процесс сушки [8]. В этих условиях отношение скорости сушки в периоде постоянной скорости  $N$  к начальному влагосодержанию ( $\bar{u}_0$ ) является обобщенной переменной ( $N / u_0$ ), учитывающей влияние режимных параметров на процесс сушки [8]. Обработкой большого числа экспериментальных по конвективной сушке различных материалов (более 17 наименований тонких материалов и различных видов натуральной кожи) установлена общая зависимость для темпа убыли влагосодержания

$$m_u = 0,087 N \exp(-0,02W_0). \quad (10)$$

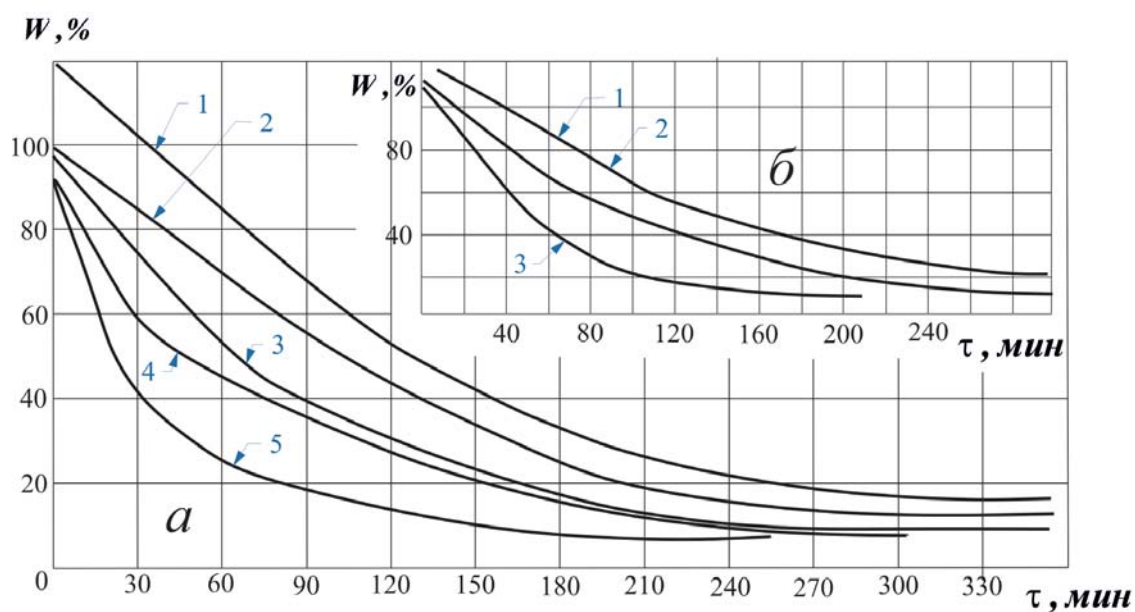


Рисунок 2 – Кривые сушки  $W = f(\tau)$  для процессов сушки красnodубной юфти (а) при режимах: 1 –  $t_c = 40$  °C;  $v = 1$  м/с;  $\varphi = 60$  %; 2 –  $t_c = 50$  °C;  $v = 0,5$  м/с;  $\varphi = 40$  %; 3 –  $t_c = 60$  °C;  $v = 0,5$  м/с;  $\varphi = 40$  %; 4 –  $t_c = 50$  °C;  $v = 1$  м/с;  $\varphi = 30$  %; 5 –  $t_c = 60$  °C;  $v = 3$  м/с;  $\varphi = 30$  %; стелечного полуваля (б) при режимах: 1 –  $t_c = 40$  °C;  $v = 1$  м/с;  $\varphi = 60$  %; 2 –  $t_c = 60$  °C;  $v = 1$  м/с;  $\varphi = 60$  %; 3 –  $t_c = 40$  °C;  $v = 1$  м/с;  $\varphi = 40$  %

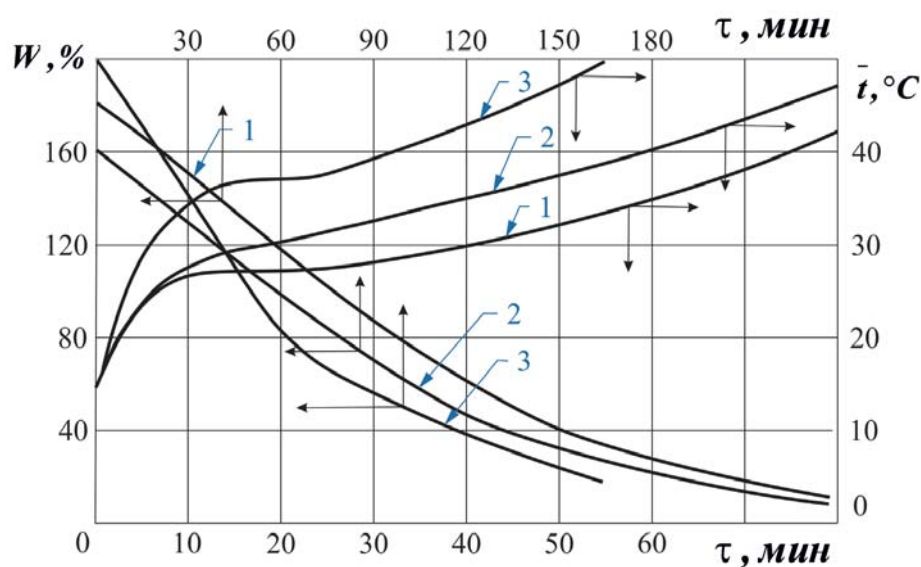


Рисунок 3 – Кривые сушки  $W = f(\tau)$  и температурные кривые  $\bar{t} = f(\tau)$  для процессов сушки хромового опойка при режимах: 1 –  $t_c = 45$  °C;  $v = 1$  м/с;  $\varphi = 27,5$  %; 2 –  $t_c = 49$  °C;  $v = 1,5$  м/с;  $\varphi = 30$  %; 3 – переменный режим до  $W_{кр} = 100$  %  $t_c = 60$  °C;  $\varphi = 50$  %; от  $W_{кр}$  до  $W = 22$  %  $t_c = 45$  °C;  $\varphi = 30$  %; скорость воздуха  $v = 0,5$  м/с

Обработкой опытных данных методом наименьших квадратов по конвективной сушке различных видов натуральной кожи при разных режимах сушки по уравнению (8) получена общая зависимость для всех видов кожи

$$m_t = 0,03 \exp(-0,05 W_{KP}) . \quad (11)$$

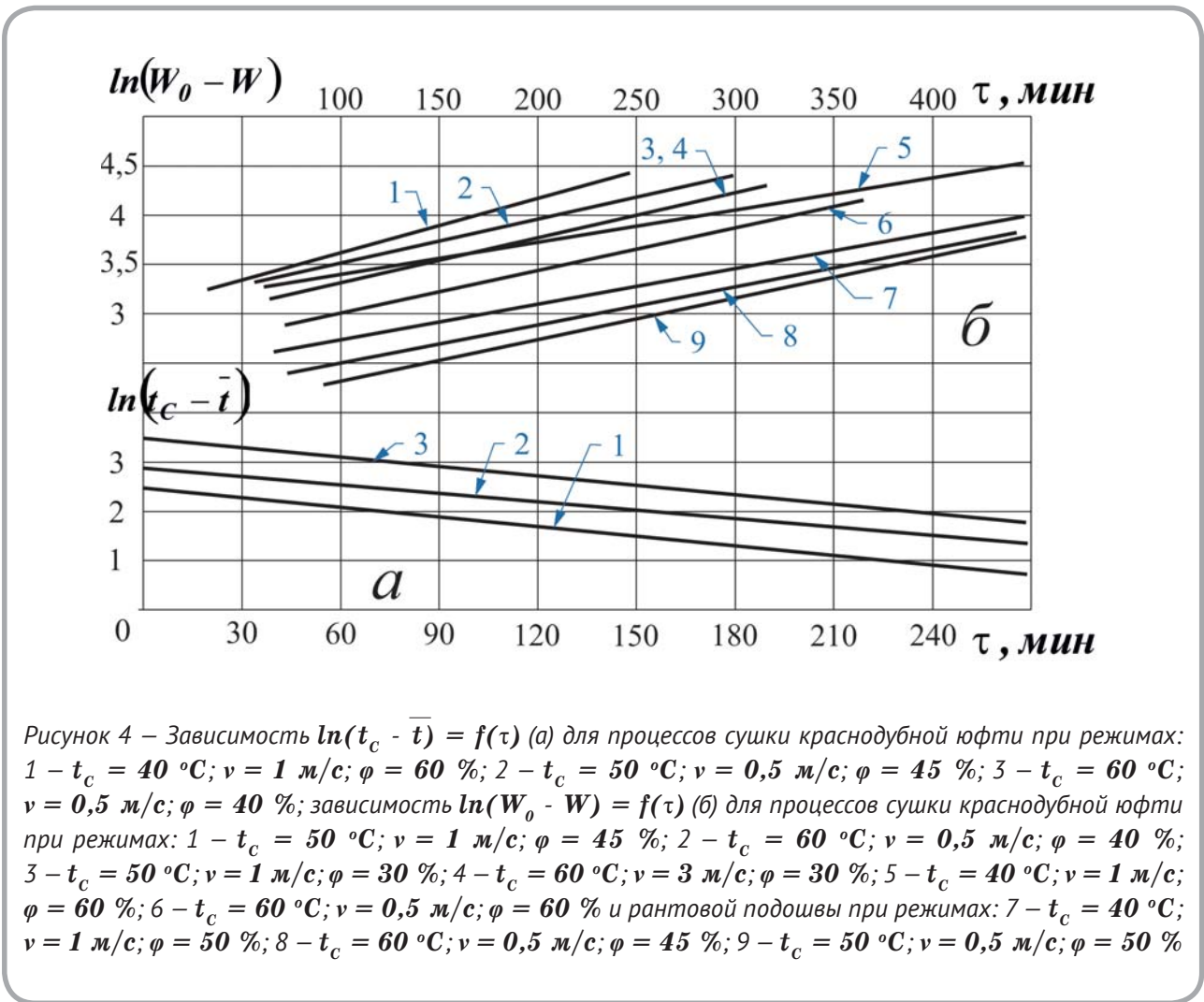
Уравнения (3) и (5) на основании (6), (7) [8] запишем в виде:

$$\bar{\Theta} = \frac{t_c - \bar{t}}{t_c - t_{MT}} = \exp(-m_t \cdot \tau_{II}) , \quad (12)$$

$$\bar{U} = \frac{\bar{u} - u_p}{u_0 - u_p} = \exp(-m_u \cdot \tau) . \quad (13)$$

Анализ опытных данных по конвективной сушке различных видов натуральной кожи показал, что регулярный режим по температурам наступает с началом второго периода от температуры  $t_{MT} \approx t_{II}$  и время сушки отсчитывается от  $\tau_{II} = 0$  (рисунок 4 а). Регулярный режим по влагосодержаниям (рисунок 4 б) наступает сразу по окончании стадии прогрева материала от начальной температуры  $t_H$  до  $t_{MT}$  и достижения  $\bar{u}_{PP}$ . Видно (рисунок 4 б), что вся группа прямых в координатах  $\ln(W_{PP} - W) = f(\tau)$  начинается от влагосодержания прогрева материала  $\bar{u}_{PP}$ , а и время сушки  $\tau$  необходимо отсчитывать от начала процесса влагосодержания  $\bar{u}_0$ .

Из решения уравнений (12) и (13) определяются среднеинтегральная температура материала во втором периоде и длительность сушки до любого заданного влагосодержания материала



$$\bar{t} = t_C - (t_C - t_{MT}) \exp(-m_t \cdot \tau_{II}), \quad (14)$$

$$\tau = -\frac{1}{m_u} \ln\left(\frac{\bar{u} - u_p}{u_0 - u_p}\right). \quad (15)$$

Тепловой поток на нагрев влажного тела во втором периоде сушки равен [4, 5]

$$q_{II} = c_w \frac{G_0}{F} \frac{d\bar{t}}{d\tau}, \quad (16)$$

где  $c_w$  – теплоемкость влажного материала;  $G_0$  и  $F$  – масса сухого материала и его поверхность;  $d\bar{t} / d\tau$  – скорость изменения температуры влажного тела во втором периоде сушки.

В случае конвективной сушки приток тепла на нагрев влажного тела определяется уравнением теплообмена [1–4]

$$q_{II} = \bar{\alpha} (t_C - \bar{t}). \quad (17)$$

Тогда для конвективной сушки можно записать

$$\bar{\alpha} \cdot f_{зд} (t_C - \bar{t}) = c_w \frac{d\bar{t}}{d\tau}, \quad (18)$$

где  $f_{зд} = F / G_0$  – удельная поверхность влажного материала.

Удельная поверхность материала выражается зависимостью

$$f_{зд} = \frac{F}{G_0} = \frac{F}{\rho_0 \cdot V} = \frac{1}{\rho_0 \cdot R_V}, \quad (19)$$

где  $\rho_0$  – плотность сухого тела;  $V$  – объем тела;  $R_V = V / F$  – характерный размер тела равный для плоского материала его толщине  $R_V = \delta$ .

Решением уравнения (18) при начальном условии  $\bar{t}(0) = t_{MT}$  (начало второго периода сушки) получим уравнение температурной кривой в периоде падающей скорости [5]

$$\bar{t} = t_C - (t_C - t_{MT}) \exp\left(-\frac{\alpha \cdot f_{зд}}{c_w} \cdot \tau_{II}\right). \quad (20)$$

Подставляя (19) в (20) с учетом (4) получим

$$\bar{t} = t_C - (t_C - t_{MT}) \exp(-m_t \cdot \tau_{II}). \quad (21)$$

Вывод уравнения (21) совпадает с выводом уравнения (14), что подтверждает справедливость зависимостей (3) и (4) для тонких материалов при значениях критерия Био  $Bi < 1$ .

Если подставить (20) в зависимость (1), то получим приближенное уравнение кривой кинетики сушки с учетом стадии прогрева материала [5]

$$\bar{u} = \bar{u}_0 - \frac{t_C - t_H}{t_{MT} - t_H} \cdot N \left\{ \tau - \frac{c_m}{\alpha_m \cdot f_{зд}} \cdot \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\bar{\alpha}_m \cdot f_{зд}}{c_m} \cdot \tau\right) \right] \right\}, \quad (22)$$

где  $c_m$  – удельная массоемкость влажного тела;  $\bar{\alpha}_m$  – коэффициент массообмена.

После преобразований с учетом (7) и (19) получим

$$\bar{u} = \bar{u}_0 - \frac{t_C - t_H}{t_{MT} - t_H} \cdot N \left\{ \tau - \frac{1}{m_u} \cdot \left[ 1 - \exp(-m_u \tau) \right] \right\}, \quad (23)$$

Уравнение (23) получено из условия, когда равновесное влагосодержание материала  $u_p = 0$ . При сушке тонких материалов при температурах  $t_C \approx 30-60^\circ\text{C}$  и высоких относительных влагосодержаниях воздуха  $\varphi$  в сушильной камере  $\varphi \approx 45-80\%$  необходимо учитывать равновесное влагосодержание материала  $u_p$ .

При конвективной сушке натуральной кожи при температурах  $t_C = 40-60^\circ\text{C}$  и  $\varphi \approx 45-80\%$  равновесное влагосодержание кожи  $u_p \approx 0,12-0,2$ .

С учетом равновесного влагосодержания  $u_p$  уравнение (23) примет вид

$$\bar{u} = (\bar{u}_0 - u_p) - \frac{t_C - t_H}{t_{MT} - t_H} \cdot N \left\{ \tau - \frac{1}{m_u} \cdot \left[ 1 - \exp(-m_u \tau) \right] \right\}. \quad (24)$$

В качестве примера приведем расчет кривой сушки по уравнению (24) для процессов сушки краснудубной юфти и рантовой подошвы.

Из приведенных расчетов видно, что расчетная кривая сушки по уравнению (24) при значениях влагосодержания близких к равновесным не просчитывается.

Анализ большого числа экспериментальных данных по сушке различных материалов разными способами энергоподвода показал, что кривые сушки во втором периоде представляют собой две, а для натуральной кожи три сопряженных экспоненты [1–4], и описать кривую сушки одной экспоненциальной зависимостью можно только приближенно.

Во-вторых, при влагосодержаниях натуральной кожи близких к 20 % и ниже (зона углубления испарения внутрь материала) значительная часть тепла идет на нарушение связи влаги с материалом и теплота парообразования не соответствует действительной [1, 3]. На рисунке 5 б представлена кривая интенсивности (скорости сушки) испарения для процесса сушки красnodубной юфти при режиме  $t_c = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ , скорости воздуха  $v = 1,5 \text{ м/с}$ , относительной влажности воздуха  $\varphi = 30 \text{ \%}$  ( $W_0 = 160 \text{ \%}$ ,  $W_{KP1} = 80 \text{ \%}$ ,  $W_{KP2} = 46 \text{ \%}$ ,  $W_{KP3} \approx 24 \text{ \%}$ ,  $W_P = 12 \text{ \%}$ ). Видно, что кривая скорости сушки представляет собой три участка прямых сопряженных в точках  $W_{KP1}$ ,  $W_{KP2}$ ,  $W_{KP3}$ .

На рисунке 5 а представлена обобщенная

кривая сушки для различных видов натуральной кожи при разных режимах сушки. Видно, что с допустимой погрешностью обработки опытных данных, все точки укладываются на одну прямую. Регулярный режим по влагосодержаниям наступает после окончания стадии прогрева влажного материала.

Б.С. Сажиным [4, 5] применительно для конвективной сушки тонких влажных материалов разработан метод расчета кинетики сушки на основе единого обобщенного уравнения массопередачи, позволяющего описывать весь процесс сушки, включая стадию прогрева материала, первый и второй периоды сушки. При таком подходе коэффициент сушки  $K$  для каждого режима остается постоянной величиной при фиксированных условиях проведения процесса сушки [5]. При этом исключается графическое дифференцирование при построении кривой скорости сушки, связанное с погрешностью [5].

Уравнение массопередачи применительно к конвективной сушке представляется в виде [5]

$$\frac{G}{F} \left| \frac{du}{d\tau} \right| = K (\bar{u}_0 - \bar{u}) (\bar{u} - u_p), \quad (25)$$

где  $G / F$  – общая масса влажного материала, приходящая на единицу поверхности испаре-

Таблица 1 – Результаты расчета кривой сушки для красnodубной юфти

$\bar{u}$	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2
$\tau_{ЭК\text{min}}$	27	38	45	58	69	90	115	142
$u_{РАСЧ}$	0,93	0,84	0,72	0,63	0,48	0,36	–	–

Примечание. Режим сушки и данные эксперимента:  $t_c = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $v = 1 \text{ м/с}$ ;  $\varphi = 45 \text{ \%}$ ;  $\bar{u}_0 = 1,13$ ;  $\bar{u}_{KP} = 0,67$ ;  $u_p = 0,135$ ;  $t_H = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $t_{MT} = 35 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $m_u = 8,5 \cdot 10^{-3} \text{ мин}^{-1}$ ;  $N = 9,45 \cdot 10^{-3} \text{ мин}$ .

Таблица 2 – Результаты расчета кривой сушки для рантовой подошвы

$\bar{u}$	0,65	0,5	0,4	0,35	0,25	0,2	0,3	0,2
$\tau_{ЭК\text{min}}$	82	152	220	247	400	498	115	142
$u_{РАСЧ}$	0,68	0,47	0,41	0,37	–	–	–	–

Примечание. Режим сушки и данные эксперимента:  $t_c = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $v = 0,5 \text{ м/с}$ ;  $\varphi = 50 \text{ \%}$ ;  $\bar{u}_0 = 0,87$ ;  $\bar{u}_{KP} = 0,62$ ;  $u_p = 0,105$ ;  $t_H = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $t_{MT} = 34 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $m_u = 4,45 \cdot 10^{-3} \text{ мин}^{-1}$ ;  $N = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ мин}$ .

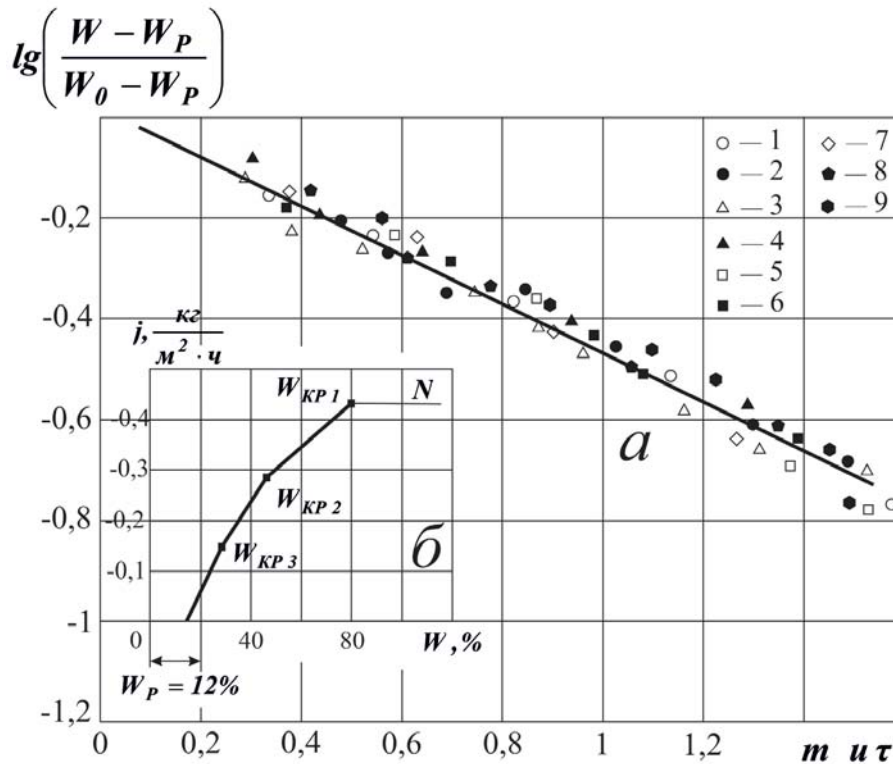


Рисунок 5 – Зависимость относительного влагосодержания  $\lg(W / W_0)$  от относительного времени сушки  $m$  и  $\tau$  (а) (режимы сушки для рисунка 5 а указаны на рисунке 4) и кривая интенсивности сушки красnodубной юфти (б) при режиме:  $t_c = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $v = 1,5 \text{ м/с}$ ;  $\varphi = 30 \%$

ния;  $K$  – коэффициент сушки.

Отношение  $G / F$  представим в виде соотношения

$$\frac{G}{F} = \frac{G_{ВЛ}/F}{G_0/F} = \frac{G_{ВЛ}}{G_0} = \bar{u}_0,$$

где  $G_{ВЛ}$  и  $G_0$  – масса влаги в материале и масса сухого тела.

Интегрированием уравнения (25) от влагосодержания в стадии прогрева материала  $\bar{u}_{ПР}$  до текущего  $\bar{u}$  при начальном  $\bar{u}_0$  получим [5]

$$\tau = \frac{G_{ВЛ}}{G_0} \cdot \frac{1}{K \cdot (\bar{u} - u_p) \cdot \bar{u}_0} \cdot Z, \quad (26)$$

где  $Z$  равно [5]

$$Z = \ln \frac{(\bar{u}_0 - \bar{u})(\bar{u}_{ПР} - u_p)}{(\bar{u}_0 - u_{ПР})(\bar{u} - u_p)}. \quad (27)$$

Принимая во внимание, что  $G_{ВЛ} / G_0 = \bar{u}_0$  получим

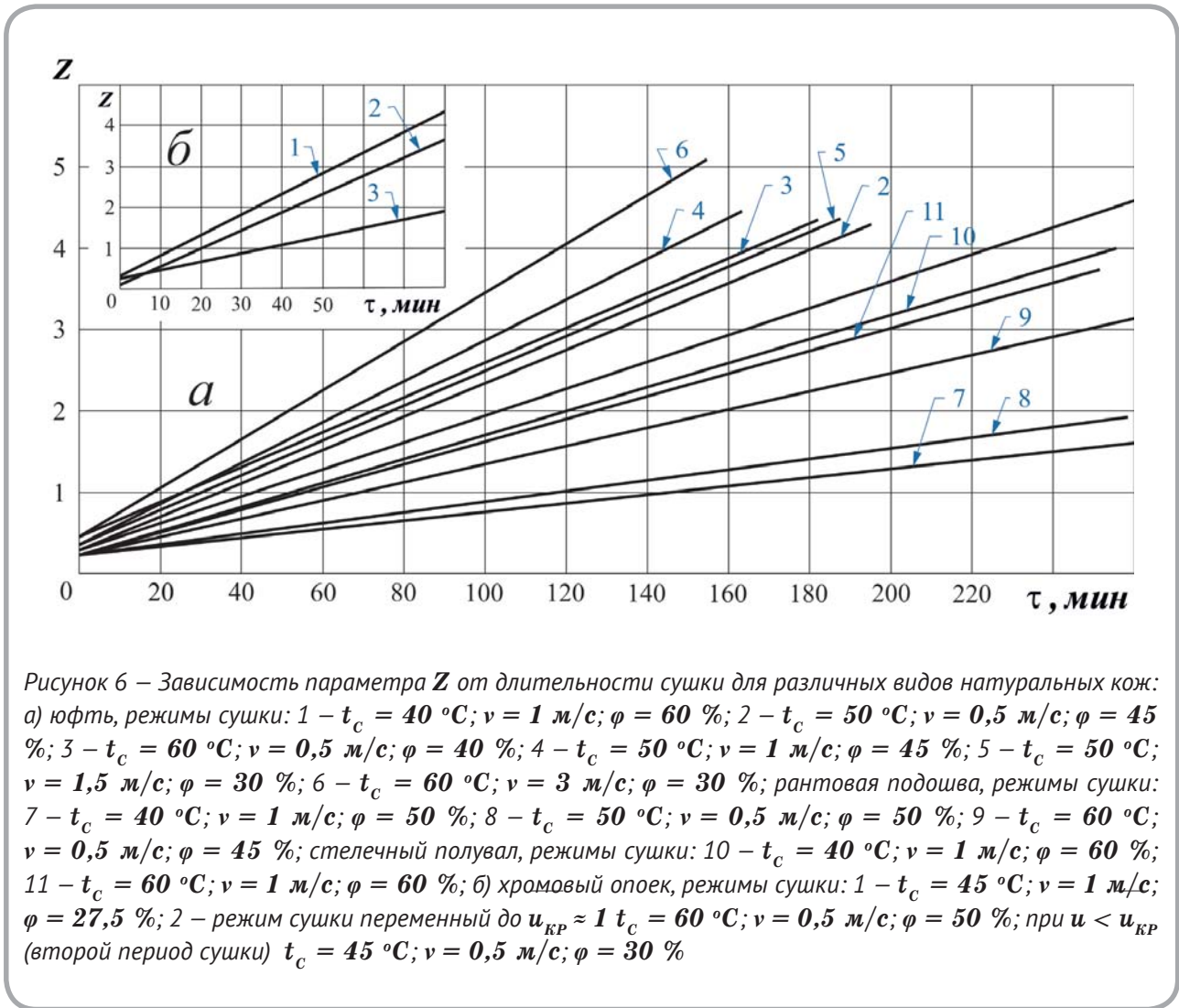
$$\tau = \frac{1}{K \cdot (\bar{u}_0 - u_p)} \cdot Z. \quad (28)$$

Влагосодержание  $u_{ПР}$  легко определяется по опытным кривым сушки (рисунок 1). Если в системе координат  $Z = f(\tau)$  построить кривые сушки, то в такой системе координат образуются прямые для каждого режима сушки [5]. Причем угол наклона этих прямых определяет коэффициент сушки  $K$ , а отрезки, отсекаемые на оси  $Z$ , устанавливают величину  $Z_0 = \bar{u}_{ПР}$  [5].

На рисунке 6 представлены зависимости  $Z = f(\tau)$  для процессов конвективной сушки различных видов натуральной кожи при разных режимах сушки.

В практике сушки коэффициент сушки  $K$  определяется также опытным путем построением кривой сушки в координатах  $\ln(W - W_p) = f(\tau)$ .





Сравнение значений коэффициента сушки  $K$ , определенные этими двумя различными методами, показало вполне удовлетворительное совпадение значений  $K$  в пределах погрешности проведения эксперимента.

Так, например, при сушке красnodубной юфти в режиме  $t_c = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $v = 1\text{ м/с}$ ;  $\varphi = 45\%$  определенные по зависимости  $Z = f(\tau)$  (рисунок 6, прямая 4) значение коэффициента сушки составляет  $K = 0,016\text{ мин}^{-1}$ , а значение определенное по зависимости  $\ln(W - W_p) = f(\tau)$   $K = 0,0145\text{ мин}^{-1}$ . Совпадение значений  $K$  вполне удовлетворительное.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

На основе регулярного теплового режима нагрева тонких тел получены основные характеристики для расчета кинетики сушки натуральной кожи. Установлены обобщенные зависимости

для определения темпа нагрева и темпа убыли влагосодержания. Получены экспериментальные уравнения для расчета длительности процесса сушки для различных видов натуральной кожи. Получены уравнения для расчета коэффициента сушки и длительности процесса из условия рассмотрения сушки как единого процесса, включая период прогрева материала и периоды постоянной и падающей скорости сушки. Дано сопоставление численных значений параметров сушки с экспериментальными. Проведена проверка достоверности полученных уравнений.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лыков, А.В. (1968), *Теория сушки*, Москва, Энергия, 590 с.
2. Лыков, А.В. (1938), *Кинетика и динамика процессов сушки и увлажнения*, Москва, Гизлегпром, 776 с.
3. Рудобашта, С.П. (2010), *Теплотехника*, Москва, Колосс, 599 с.
4. Акулич, П.В. (2010), *Расчеты сушильных и теплообменных установок*, Минск, Беларуская наука, 443 с.
5. Сажин, Б.С. (1984), *Основы техники сушки*, Москва, Химия, 320 с.
6. Лыков, А.В. (1967), *Теория теплопроводности*, Москва, Высшая школа, 600 с.
7. Лыков, А.В., Михайлов, Ю.А. (1963), *Теория теплопереноса*, Москва–Ленинград, Госэнергоиздат, 535 с.
8. Ольшанский, А.И. (2014), Регулярный тепловой режим нагревания влажных плоских капиллярпористых материалов в процессе их сушки, *Инженерно-физический журнал*, 2014, Т. 87, № 6, С. 1308–1318.

## REFERENCES

1. Lykov, A.V. (1968), *Teorija sushki* [Theory of drying], Moscow, Jenergiya, 590 p.
2. Lykov, A.V. (1938), *Kinetika i dinamika processov sushki i uvlazhnenija* [Kinetics and dynamics of drying and moistening processes], Moscow, Gizlegprom, 776 p.
3. Rudobashta, S.P. (2010), *Teplotehnika* [Heat engineering], Moscow, Koloss, 599 p.
4. Akulich, P.V. (2010), *Raschety sushil'nyh i teploobmennyh ustanovok* [Calculations of drying and heat exchange installations], Minsk, Belaruskaja navuka, 443 p.
5. Sazhin, B.S. (1984), *Osnovy tehniky sushki* [Basics of drying technique], Moscow, Himija, 320 p.
6. Lykov, A.V. (1967), *Teorija teploprovodnosti* [Theory of heat conduction], Moscow, Vysshaja shkola, 600 p.
7. Lykov, A.V., Mihajlov, Ju.A. (1963), *Teorija teplomassoperenosa* [Heat and Mass Transfer Theory], Moscow–Leningrad, Gosjenergoizdat, 535 p.
8. Alshanski, A.I. (2014), Regular thermal mode of heating of wet flat capillary-porous materials during their drying [Reguljarnyj teplovoj rezhim nagrevanija vlazhnyh ploskih kapillaroporistyh materialov v processe ih sushki], *Inzhenerno-fizicheskij zhurnal – Engineering and Physics Journal*, 2014, T. 87, № 6, P. 1308–1318.

Статья поступила в редакцию 02. 03. 2017 г.

## ВЛИЯНИЕ МНОГОЦИКЛОВЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА СТРУКТУРУ ВОДОЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОЛИЭФИРУРЕТАНОВОЙ МЕМБРАНОЙ

### INFLUENCE OF MULTI-CYCLIC MECHANICAL LOADS ON THE STRUCTURE OF WATER-PROOF MATERIALS WITH POLYETHERURETHANE MEMBRANE

**Д.К. Панкевич\*, М.Л. Кукушкин**

*Витебский государственный технологический университет*

УДК 677.017:687.174

**D. Pankevich\*, M. Kukushkin**

*Vitebsk State Technological University*

#### РЕФЕРАТ

*ВОДОЗАЩИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, МЕМБРАНА, МИКРОСКОПИЯ, СТРУКТУРА, МЕХАНИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ, ОДЕЖДА*

*Объект исследований – водозащитные композиционные материалы, содержащие мембранный полиэфируретановый слой, предмет исследования – их структура.*

*Использованные методы – методы оптической микроскопии и моделирования многоцикловых механических нагрузок.*

*Результаты работы – определен характер влияния многоцикловых механических нагрузок на структуру водозащитных материалов с полиэфируретановой мембраной и предложены рекомендации по выбору типов структур указанных материалов для водозащитной одежды.*

*Область применения результатов – швейная промышленность.*

*Выводы – в результате выполненной работы для каждого из пяти структурных типов водозащитных композиционных материалов с мембраной определены характерные изменения, происходящие в структуре под влиянием многоцикловых механических нагрузок. Выявлены типы структур, разрушающиеся в результате действия механических нагрузок.*

#### ABSTRACT

*WATER-PROOF MATERIALS, MEMBRANE, MICROSCOPY, STRUCTURE, MECHANICAL LOADS, CLOTHES*

*Waterproof clothing must remain protective throughout its life. But in the course of operation, waterproofing materials are subjected to mechanical loads of low intensity. Under the influence of stretching, compression and bending, fatigue phenomena in the structure of the material accumulate, the bonds between the elements of the structure are weakened, and the material is destroyed in the places of the most frequent application of loads.*

*The article is devoted to the study of the structure of waterproofing materials with a polyetherurethane membrane and the evaluation of the effect of mechanical operating loads on the parameters of the structure of materials of various types.*

*Analysis of the results of the study will help manufacturers of clothing from membrane materials to implement a sound selection of materials, increasing the durability of products.*

Водозащитные композиционные материалы, содержащие мембранный слой, характеризуются определенным сочетанием свойств, обусловленным структурными особенностями и придающим им потребительскую ценность: высоким

уровнем водонепроницаемости, воздухопроницаемостью, паропроницаемостью. Благодаря наличию мембранного слоя, такие материалы обеспечивают защиту от воды, ветра и снега, являясь барьером для неблагоприятных воздей-

\* E-mail: [dashapan@mail.ru](mailto:dashapan@mail.ru) (D. Pankevich)

ствий окружающей среды, но не препятствуя при этом прониканию парообразной влаги в среду с наименьшей её концентрацией. Область использования материалов с мембраной широка: изготовление бытовой, спортивной и специальной одежды и обуви, гидроизоляционных строительных оболочек [1].

Основные особенности водозащитных материалов для одежды, содержащих мембранный слой, обусловлены составом, химической природой и строением слоев, способом получения слоистой структуры. Наиболее популярны и широко представлены на рынке материалов для одежды материалы с полиэфирными текстильными слоями и полиэфируретановой мембраной, которая, в зависимости от наличия модифицирующих добавок, может проявлять гидрофильность или гидрофобность. По морфологии мембранного слоя принято разделять губчатые или корпускулярные пористые структуры и монолитные беспоровые. По количеству слоев – 2-слойные, 2,5-слойные и 3-слойные [2].

Несмотря на возрастающую популярность, материалы с мембраной до сих пор являются «terra incognita» для специалистов-швейников, в частности, отсутствует систематизированная информация о стабильности структуры этих материалов в процессе эксплуатации, что приводит к нерациональному выбору материалов в пакет изделия, не учитывающему возможные изменения свойств материалов под влиянием условий эксплуатации.

Многократный изгиб, растяжение, сжатие – циклически повторяющиеся механические воздействия, которые в той или иной мере испытывают материалы для одежды любого назначения в процессе носки. С течением времени усталостные явления в структуре материала накапливаются, связи между элементами структуры ослабляются, наблюдается разрушение материала в местах наиболее частого приложения нагрузок [3]. Не избегают такого влияния и водозащитные материалы, содержащие мембранный слой.

Материалы, структура которых нарушается в процессе эксплуатации, уже не способны выполнять водозащитную функцию, а обещанный потребителю комфорт сменяется разочарованием и недоверием к производителю. Поэтому исследование влияния многоцикловых механических

нагрузок на структуру водозащитных материалов, содержащих мембранный слой, является актуальной задачей, решение которой позволит повысить долговечность водозащитной одежды за счет обоснованного выбора материалов.

Статья посвящена исследованию структуры водозащитных материалов с полиэфируретановой мембраной и оценке влияния механических эксплуатационных нагрузок на параметры структуры материалов различного типа.

В эксперименте приняли участие 16 артикулов водозащитных композиционных слоистых материалов пяти структурных типов, характеристика которых представлена в таблице 1.

Выявлено, что водозащитные материалы, содержащие мембранный полиэфируретановый слой, по структуре можно разделить на 5 типов:

- тип 1 – 2-слойные с гидрофобным пористым губчатым мембранным слоем, нанесенным на текстильную основу;
- тип 2 – 2,5-слойные с толстым гидрофобным пористым корпускулярным и тонким гидрофильным монолитным мембранным слоем, нанесенным на текстильную основу;
- тип 3 – 2,5-слойные с толстым гидрофобным пористым губчатым и тонким гидрофильным монолитным мембранным слоем, нанесенным на текстильную основу;
- тип 4 – 3-слойные с гидрофобным пористым корпускулярным мембранным слоем, расположенным между слоями текстильной основы и текстильной подкладки;
- тип 5 – то же, но мембранный слой гидрофобный пористый губчатый, в некоторых образцах соединенный с текстильной подкладкой посредством точечно нанесенного связующего [4].

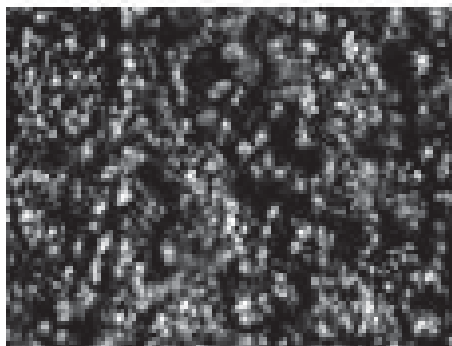
С целью получения данных о структуре исследуемых материалов проводилась микроскопия поперечного среза материала в отраженном свете с помощью стереоскопического микроскопа МС-1, оснащенного видеоокулярном и программным обеспечением для просмотра и работы с изображением на компьютере.

Микрофотографии продольных срезов губчатого и корпускулярного пористых мембранных слоев представлены на рисунке 1.

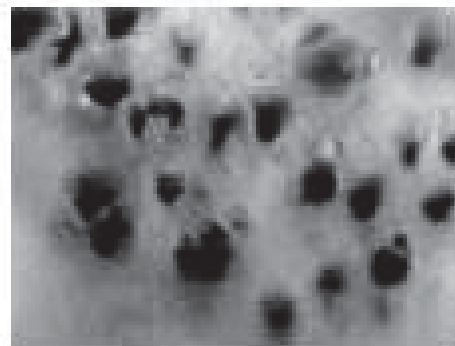
Определялось количество слоев, структура мембранного слоя (пористая губчатая или корпускулярная, монолитная), толщина каждого

слоя, глубина погружения мембранного слоя в текстильный, фаза строения текстильного тканого слоя.

Исследования проводились до и после воздействия 150 тысяч циклов многоцикловых механических нагрузок.



а



б

а) корпускулярная структура мембраны; б) губчатая структура мембраны

Рисунок 1 – Микрофотографии продольных срезов мембранного слоя (×100)

Таблица 1 – Характеристика объектов исследования

Номер образца	Фирма-изготовитель	Сырьевой состав текстильной основы / мембраны / подкладки	Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	Текстильная основа			Количество слоев (тип)
				Переплетение	Плотность, нитей / 10 см		
					По основе	По утку	
1	Ultrex, Корея	полиэфир 100 % / полиэфируретан	122	полотняное	540	274	2 (тип 1)
2			118	усиленная саржа	490	320	
3			142	полотняное	340	220	
4			146	полотняное	550	364	
5	Моготекс, РБ	полиэфир 100 % / полиэфируретан	211	основной репс	450	450	2,5 (тип 2)
6			185	комбинированное	310	310	
7		полиэфир 77 %, хлопок 23 % / полиэфируретан	266	комбинированное	250	210	
8	Taslan, Корея	полиэфир 100 % / полиэфируретан	139	комбинированное	620	540	2,5 (тип 3)
9	Hiroga, Корея		136	сложное	580	400/120	
10			137	сложное	520	410/128	
11			132	сложное	560	400/122	
12	Моготекс, РБ	полиэфир 100 % / полиэфируретан / полиэфир 100 %	214	полотняное	500	500	3 (тип 4)
13			183	комбинированное	480	480	
14	SportchiefR, Канада		167	полотняное	593	420	3 (тип 5)
15			121	полотняное	780	780	
16		151	полотняное	520	520		

Для исследования влияния многоциклового изгиба, сжатия и растяжения на структуру материалов использована методика циклических комбинированных нагружений, общие положения которой разработаны А.Н. Буркиным [3]. Реализована методика с помощью прибора, разработанного на кафедре «Стандартизация» УО «ВГТУ», конструктивные особенности и методика применения которого описаны в [5]. В процессе моделирования многоциклового механического нагружения образцы исследуемых материалов получают знакопеременную циклическую деформацию изгиба, сжатия и растяжения. Продолжительность воздействия – 150 тысяч циклов.

Методика исследования структуры по микрофотографии поперечного среза материала разработана на основе изложенной в [6], с дополнениями, учитывающими структурные особенности материалов с мембраной и возможности компьютерной обработки изображений.

По микрофотографии поперечного среза материала определялись следующие параметры:

- общая толщина образца, измеряемая поперек каждой нити основы. Измерения выполняются по всем нитям основы, попавшим в поле зрения. Толщина образца принимается как среднее значение;
- толщина текстильной основы определяется аналогично, только измерение проводится от

верхней кромки образца до мембраны;

- толщина мембраны определяется как среднее арифметическое длин не менее 10 поперечных линий, проведенных от нижней кромки мембраны до текстильной основы с одинаковым шагом. В трехслойных образцах для измерений проводится линия опорной плоскости. Линия соединяет наиболее выступающие точки нитей трикотажной или тканой подкладки. От этой линии измеряются общая толщина образца и толщина подкладки, как показано на рисунке 2. Измерения проводятся поперек каждой нити основы. Определяется среднее значение.

Для определения глубины проникновения мембраны в текстильную основу измерение проводится по изображению текстильной основы: прямой линией соединяются попарно наиболее выступающие (наиболее погруженные в толщу текстильной основы) соседние точки мембраны, как показано на рисунке 3. Глубина проникновения определяется как расстояние от проведенной линии до края нитей основы и утка, соприкасающегося с мембранным слоем. Принимается среднее значение всех выполненных в поле видимости измерений.

Для определения порядка фазы строения текстильной основы определяется высота волны изгиба основных  $h_o$  и уточных  $h_y$  нитей. Для системы нитей основы проводится прямая, соеди-

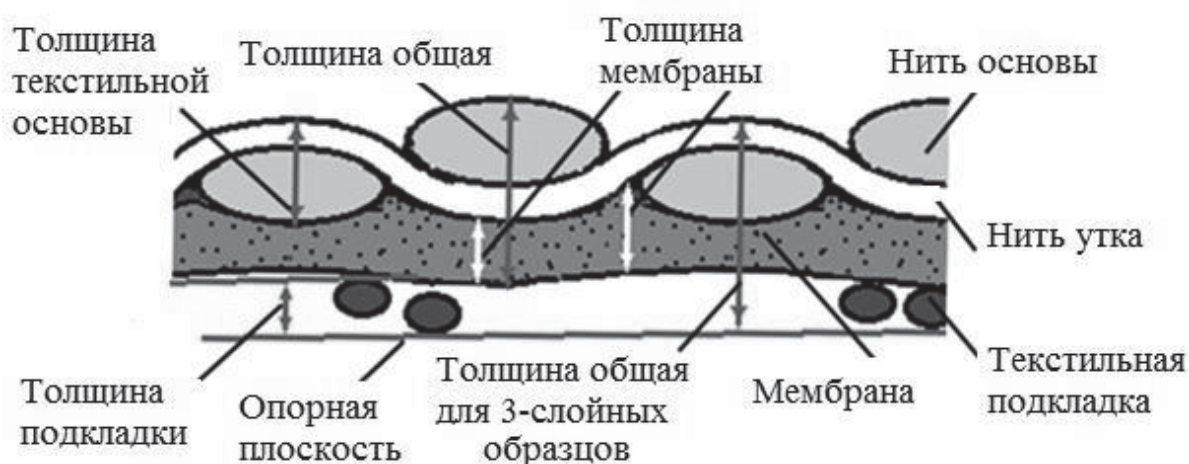


Рисунок 2 – Схема определения параметров структуры по микрофотографии среза образца материала

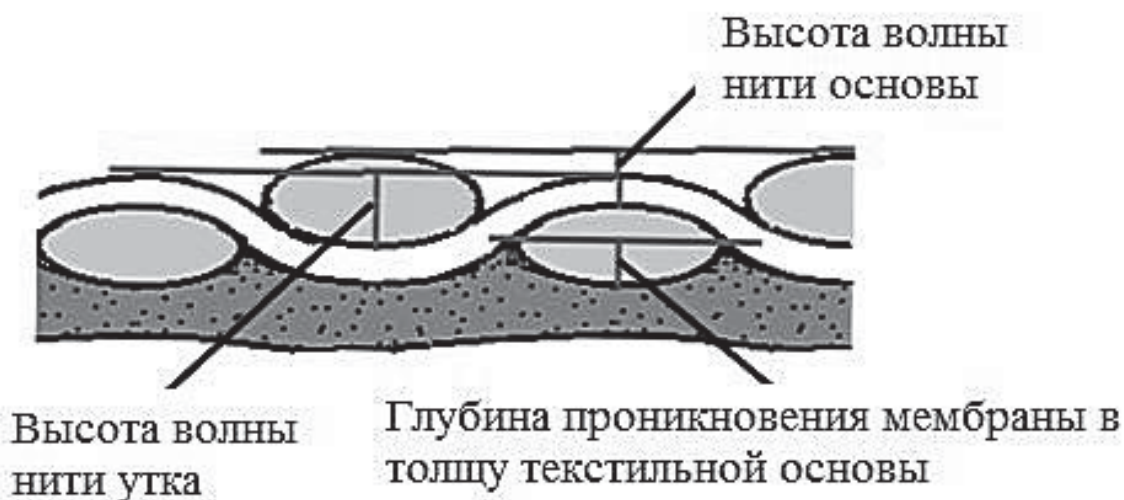


Рисунок 3 – Схема определения параметров структуры по микрофотографии среза образца материала

няющая самые высокие точки соседних нитей основы, лежащих над нитью утка. Величина волны изгиба основы определяется как расстояние от проведенной линии до вершины нити основы, лежащей под нитью утка [6]. Принимается среднее значение из полученных для всех нитей основы, попавших в поле зрения. Аналогично выполняется построение и замер величины волны изгиба нити утка: от линии, соединяющей соседние волны, до вершины уточной нити, расположенной под нитью основы. Порядок фазы строения (ПФС) определяется из отношения высоты волны нити основы к высоте волны нити утка ( $K_h = h_o / h_y$ ) по формуле (1), предложенной проф. Н.Г. Новиковым [7]:

$$ПФС = \frac{1 + 9 \cdot K_h}{1 + K_h} . \quad (1)$$

В результате проведенных исследований выявлено, что все исследуемые образцы структурных типов 1, 4 и 5 (с гидрофобным мембранным слоем) являются макропористыми с наблюдаемым диаметром пор от 3 мкм до 70 мкм, общая их толщина колеблется от 200 мкм до 300 мкм.

Толщина изученных образцов структурных типов 2 и 3 (содержащих двухкомпонентную

мембрану) колеблется в пределах от 170 мкм до 390 мкм, толщина гидрофобного корпускулярного слоя в среднем больше, чем губчатого, как и глубина проникновения мембраны в текстильную основу. Толщина монолитной гидрофильной мембраны колеблется от 11 мкм до 26 мкм.

Результаты исследования параметров структуры материалов до и после воздействия многоцикловых механических нагрузок отражены в таблицах 2 и 3.

Анализ данных таблицы 2 позволяет сделать вывод о том, что текстильная основа образцов не претерпевает резких изменений параметров структуры после воздействия многоцикловых механических нагрузок.

Наиболее значимые изменения толщины наблюдаются у образцов структурного типа 1 (уменьшение составляет до 15 % от первоначальной) и образцов типа 4 (увеличение составляет до 14 % от первоначальной). Порядок фазы строения текстильной основы исследуемых образцов – от IV до VII. Это говорит о практически равномерном распределении нитей основы и утка по опорной поверхности материалов и незначительном преобладании роли нитей основы в формировании слоистой структуры у материалов с фазой VI и VII – высота изгиба волн нитей основы больше, чем утка, поэтому и степень их

Таблица 2 – Исследование изменения параметров текстильной основы под влиянием механических многоцикловых нагрузок (150 000 циклов)

Тип	Номер образца	Толщина текстильной основы, мм		Порядок фазы строения текстильной основы	
		До	После	До	После
1	1	186,0	172,7	IV	V
1	2	169,4	162,9	V	IV
1	3	269,0	228,1	V	IV
1	4	161,7	153,0	VII	VII
2	5	199,3	222,7	V	IV
2	6	168,4	172,0	IV	V
2	7	295,4	307,4	IV	V
3	8	128,1	120,5	IV	IV
3	9	121,7	136,5	VI	VII
3	10	117,4	133	V	VI
3	11	125,1	118,8	V	VI
4	12	127,3	143,1	VI	VI
4	13	107,3	119,8	VI	VI
5	14	173,9	178	V	VI
5	15	93,8	79,5	V	V
5	16	162,0	161,7	VI	V

Таблица 3 – Исследование изменения параметров мембраны под влиянием механических многоцикловых нагрузок (150 000 циклов)

Тип	Номер образца	Толщина мембраны (гидрофильного слоя / гидрофобного слоя), мм		Глубина проникновения в толщу текстильной основы, мм		Характер изменения структуры мембраны
		До	После	До	После	
1	1	- / 64,5	- / 59,1	27,7	26,2	повышение складчатости стенок пор, перераспределение объема пор
	2	- / 63,3	- / 59,4	64,3	36,2	
	3	- / 74,4	- / 60,6	19,3	11,5	
	4	- / 50,6	- / 39,7	25,8	22,2	
2	5	22,1 / 72,3	14 / 43,2	29	18,4	корпускулярный гидрофобный слой: разрыхление, отрыв и миграция корпускул через монолитный слой; монолитный гидрофильный слой: перфорация
	6	24,1 / 69,9	24 / 41,4	34,7	42,6	
	7	26 / 62,8	22,4 / 31,4	84,2	23,8	
3	8	12,2 / 47,1	11,7 / 46,1	23,1	18,0	расширение устьев пор, прилегающих к монолитному слою, расслоение, появление воздушных полостей на границе раздела слоев
	9	7,9 / 38,3	9,5 / 35,3	17,7	16,4	
	10	15,2 / 42,3	15,8 / 38,0	25,3	29,7	
	11	13,7 / 40,7	11,6 / 37,6	23	11,3	
4	12	- / 56,9	- / 59,4	32,7	35,7	разрыхление, отрыв и миграция корпускул через текстильные слои
	13	- / 66,4	- / 70,2	52,1	58,3	
5	14	- / 14,9	- / 8,1	9,8	6,0	уменьшение толщины, появление воздушных полостей на границе раздела слоев, разрушение вблизи капель связующего
	15	- / 10,8	- / 6,8	4,1	5,3	
	16	- / 16,1	- / 10,8	3,8	6,7	



связанности с нижележащим мембранным слоем больше. Порядок фазы строения изменяется после многоциклового механического воздействия незначительно, без видимой закономерности внутри групп образцов различных структурных типов.

Анализ результатов исследования, отраженных в таблице 3, показывает, что мембранный слой образцов всех структурных групп претерпевает значительные изменения, как по показателю толщины, так и по показателю глубины проникновения в толщу текстильной основы.

Рисунок 4 иллюстрирует характерные для каждого структурного типа изменения параметров строения, происходящие в результате воздействия механических нагрузок.

На рисунке 4 представлена микроскопия двухслойного образца структурного типа 1 с губчатым гидрофобным мембранным слоем. Сравнение изображений до и после многоциклового нагружения позволяет установить характер из-

менения структуры. Мембранный слой становится тоньше за счет смятия и уплотнения, стенки пор приобретают более выраженную складчатость; текстильная основа уплотняется и её толщина уменьшается, нити основы сплющиваются, пучок элементарных нитей основы формирует сечение в форме веретена, а не эллипса, как до многоциклового испытания. Увеличиваются расстояния между центрами соседних нитей основы (на участке, попавшем в поле зрения). В толще мембранного слоя становится заметным чередование широких и узких пор, что не наблюдалось до многоциклового испытания. Более широкие поры после воздействия наблюдаются в межниточных промежутках, более узкие – в середине перекрытий. За счет сплющивания нитей текстильной основы и их смещения относительно друг друга происходит растяжение мембранного слоя в межниточных промежутках, приводящее для некоторых пор к увеличению диаметра основания, обращенного к текстильной основе.

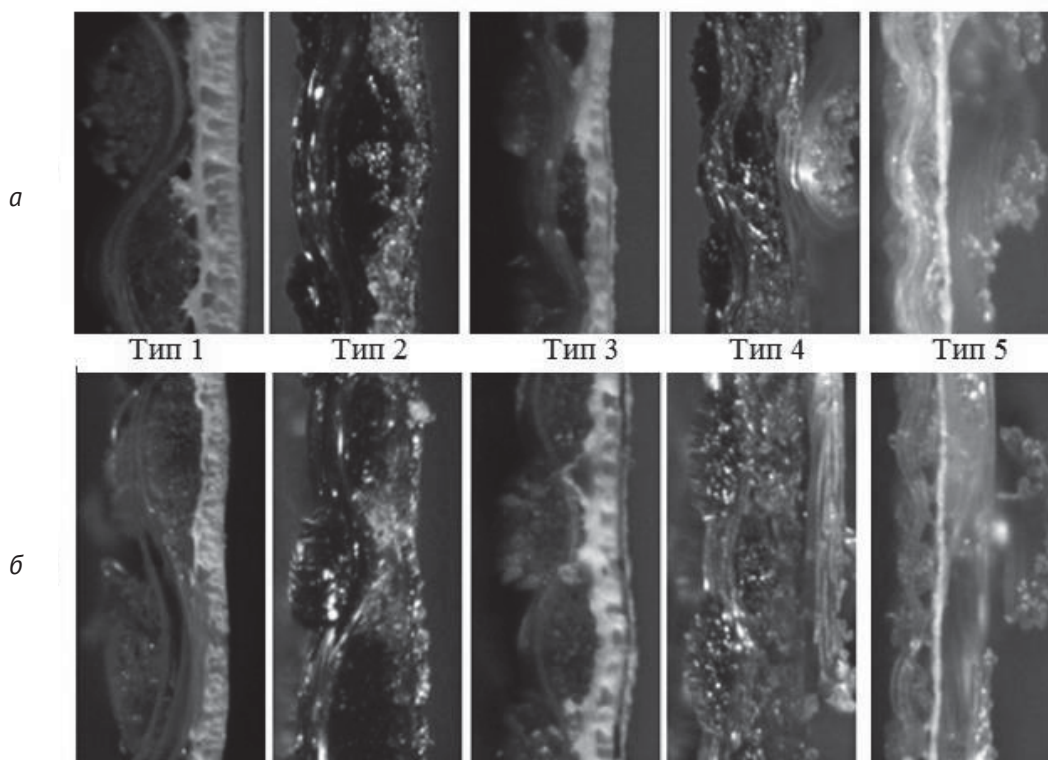


Рисунок 4 – Микрофотографии поперечных срезов материалов различных типов до (а) и после (б) воздействия механических многоциклового нагружения ( $\times 100$ )

При анализе микрофотографий отмечено, что форма сечения нитей образцов структурного типа 1 из эллиптической становится веретенообразной – это связано с большей подвижностью элементарных нитей в образцах указанного типа, поскольку количество слоев в композиционном материале, а соответственно и связей, наименьшее по сравнению с остальными структурными типами. Следовательно, уменьшение толщины текстильной основы в образцах структурного типа 1 происходит за счет уплотнения элементарных нитей и сокращения воздушных промежутков между ними. Однако, описанные изменения не нарушают целостности мембранного защитного слоя образцов.

Как показано на рисунке 4, у образцов структурного типа 2 с тонким гидрофильным слоем, покрывающем корпускулярный гидрофобный слой, происходит характерное нарушение структуры при воздействии многоциклового механических нагрузок. Корпускулы гидрофобного слоя, расположенные вблизи вершин волн нитей, формирующих опорную поверхность текстильной основы, в результате многоциклового изгиба, растяжения и сжатия материала отрываются от нитей и мигрируют сквозь гидрофильный слой, нарушая его целостность. Структура мембраны становится более рыхлой, отмечается увеличение параметра «глубина проникновения мембраны в основу» вследствие увеличения изгиба нити утка. Особенно заметно нарушение структуры мембранного слоя вблизи нитей основы с увеличенной толщиной (образцы № 6, № 7), формирующих характерные ячейки на поверхности тканой основы (в зарубежной литературе такое переплетение носит название «rip-stop»). Заметно нарушение целостности монолитного гидрофильного тонкого слоя на участке расположения этих нитей.

Изменения структуры образцов типа 3 с губчатой гидрофобной и тонкой монолитной гидрофильной мембраной можно проследить по рисунку 4, где показан срез образца № 9 до и после многоциклового нагружений. Общая толщина материала увеличилась после многоциклового нагружений за счет изменения порядка фазы строения тканой основы (нить утка стала более изогнутой) и за счет изменения сечения пучка элементарных нитей основы (начальная

форма сечения в виде веретена сменилась на эллиптическую). В результате мембранный гидрофобный губчатый слой на участках межниточного пространства отслоился с образованием четко просматриваемых полостей, размер которых превышает средний размер пор. Граница между слоями (гидрофильным и гидрофобным) мембраны стала более четкой, причем линия границы неодинаковой толщины. Форма пор гидрофобного слоя из конической, направленной острием конуса к гидрофильной монолитной мембране, стала цилиндрической (расширение устьев пор). Наблюдается эффект накопления деформаций на границе раздела мембранных слоев, но целостность слоев сохраняется.

Анализ микрофотографий образцов структурного типа 4 объясняет причину увеличения толщины текстильной основы – корпускулярный мембранный слой разрыхляется, единичные корпускулы отрываются и вклиниваются между элементарными нитями текстильной основы, увеличивая расстояния между ними. Таким образом, целостность корпускулярного мембранного слоя нарушается под влиянием многоциклового механических нагрузок, а высвобождающиеся частицы мембраны начинают мигрировать внутри композита и воздействовать на соседние текстильные слои.

По микрофотографиям образцов структурного типа 5 заметно, что после испытаний мембранный слой стал тоньше почти в 2 раза, наблюдается прерывистость мембранного слоя после испытаний, особенно в промежутках между нитями основы, указывающая на нарушение его структуры. При незначительном изменении порядка фазы строения текстильной основы (высота волны изгиба нити основы увеличилась, а нити утка – уменьшилась), увеличилась на 15 % общая толщина материала. На рисунке 4 видно, что после многоциклового воздействия произошло значительное увеличение воздушных зазоров между вершиной нити утка и мембраной по сравнению с изображением среза образца до испытаний. То есть наблюдается тенденция к расслаиванию и разрыхлению композита. Дефекты (разрывы) мембраны наблюдаются в окуляр микроскопа на участках, прилегающих к каплям связующего состава.

Проведенный анализ результатов исследо-

вания структуры водозащитных материалов с полиэфируретановой мембраной показал, что многоцикловые механические нагрузки оказывают на них значительное влияние. Наиболее подвержен изменениям мембранный слой образцов, причем корпускулярный слой разрушается более значительно, чем губчатый, вызывая изменения в структуре прилегающих слоев. Разрушение губчатого мембранного слоя наблюдается только в случае незначительной первоначальной толщины (менее 16 *мкм*) и скрепления с соседними слоями точечно нанесенным связующим.

Таким образом, в целях обеспечения стабильности структуры и свойств водозащитных материалов под действием механических нагрузок, при выборе материалов в пакет швейных изделий, подвергающихся значительным механическим нагрузкам при эксплуатации, следует выбирать материалы структурных типов 1 и 3, у которых при отмеченных изменениях структуры не происходит нарушение целостности защитного мембранного слоя.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Панкевич, Д.К. (2012), Ассортимент и свойства мембранных материалов, используемых в производстве одежды для спорта и активного отдыха, Качество товаров: теория и практика, *Материалы докладов международной научно-практической конференции*, Витебск, 2012, С. 204–206.
2. William, C. Smith (2010), *Smart Textile Coatings and Laminates*, Elsevier: Wood head Publishing Ltd, 2010, 320 p.
3. Буркин, А.Н., Матвеев, К.С., Махонь, А.Н. (2004), Методика оценки качества текстильных материалов при динамических нагружениях, Проблемы формирования ассортимента, качества и конкурентоспособности товаров, *Сборник научных трудов международной научно-практической конференции*, Гомель, 2004, С. 23–26.
4. Панкевич, Д.К., Буркин, А.Н. (2015), Оценка влагопроницаемости мембранных материалов, *Дизайн и технологии*, 2015, № 45, С. 58–61.
5. Панкевич, Д.К., Кукушкина, Ю.М. (2014), Применение методики многоцикловых нагружений для оценки изменчивости физико-механических свойств водозащитного материала в

#### REFERENCES

1. Pankevich, D.K. (2012), Assortiment i svojstva membrannyh materialov, ispol'zuemyh v proizvodstve odezhdy dlja sporta i aktivnogo otdyha [Assortment and properties of membrane materials used in the manufacture of clothes for sports and outdoor activities], *Kachestvo tovarov: teoriya i praktika, Materialy докладов международной научно-практической конференции*, Vitebsk, 2012, pp. 204–206.
2. William, C. Smith (2010), *Smart Textile Coatings and Laminates*, Elsevier: Wood head Publishing Ltd, 2010, 320 p.
3. Burkin, A.N., Matveev, K.S., Mahon', A.N. (2004), Metodika ocenki kachestva tekstil'nyh materialov pri dinamicheskikh nagruzhenijah [Method for assessing the quality of textile materials under dynamic loading], *Problemy formirovanija assortimenta, kachestva i konkurentosposobnosti tovarov, Sbornik nauchnyh trudov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii*, Gomel', 2004, pp. 23–26.
4. Pankevich, D.K., Burkin, A.N. (2015), Ocenka vlagopronicaemosti membrannyh materialov [Evaluation of moisture permeability of membrane materials], *Dizajn i tehnologii* –

процессе эксплуатации, Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности, *Материалы докладов международной научно-технической конференции*, Витебск, 2014, С. 194–196.

6. Скляников, В.П. (1984), *Строение и качество тканей*, Москва, 176 с.

7. Давыдов, А.Ф. (1997), *Текстильное материаловедение*, Москва, 168 с.

*Design and technology*, 2015, № 45, pp. 58–61.

5. Pankevich, D.K., Kukushkina, Ju.M. (2014), *Primenenie metodiki mnogociklovyh nagruzhenij dlja ocenki izmenchivosti fiziko-mehaničeskikh svojstv vodozashhitnogo materiala v processe jekspluatacii* [The application of the multi-cycle loading method for estimating the variability of the physico-mechanical properties of the waterproof material during operation], *Innovacionnye tehnologii v tekstil'noj i legkoj promyshlennosti, Materialy dokladov mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii*, Vitebsk, 2014, pp. 194–196.

6. Skljannikov, V.P. (1984), *Stroenie i kachestvo tkanej* [The structure and quality of fabrics], Moscow, 176 p.

7. Davydov, A.F. (1997), *Tekstil'noe materialovedenie* [Textile Materials Science], Moscow, 168 p.

*Статья поступила в редакцию 13. 03. 2017 г.*

## ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ СФЕРИЧЕСКИХ И КОНИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ

### SOME FEATURES OF SPHERICAL AND CONICAL SURFACES TREATMENT OF DETAILS ON CNC MACHINES

**Н.Н. Попок\*, Р.С. Хмельницкий, В.С. Анисимов**  
*Полоцкий государственный университет*

УДК 621.91.01/02  
**N. Popok\*, R. Hmelnicky, V. Anisimov**  
*Polotsk State University*

#### РЕФЕРАТ

*ТОКАРНАЯ ОБРАБОТКА, СТАНОК С ЧПУ, УПРАВЛЯЮЩАЯ ПРОГРАММА, ТОЧЕНИЕ КОНИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ, ТОЧЕНИЕ СФЕРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ, СКОРОСТЬ РЕЗАНИЯ, ТЕМПЕРАТУРА, ПРИВЕДЕННЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ИНТЕНСИВНОСТИ, ШЕРОХОВАТОСТЬ*

*Объект исследования – обработка конических и сферических поверхностей деталей на токарных станках с ЧПУ.*

*Целью работы является выработка рекомендаций по обработке сферических и конических поверхностей деталей на станках с ЧПУ.*

*Рассматривается токарная обработка конических и сферических поверхностей деталей. Выбрана и рассмотрена рациональная схема (последовательность) снятия припуска, сочетание значений линейных скоростей движений заготовки и инструмента, которые являются актуальными при разработке управляющих программ для станков с ЧПУ. Введен параметр приведенной интенсивности изменения температуры. Приведены результаты измерения шероховатости обработанной поверхности детали при различных базовых длинах измерений.*

#### ABSTRACT

*TURNING, CNC MACHINE, CONTROL PROGRAM, TURNING OF CONICAL SURFACE, TURNING OF SPHERICAL SURFACE, CUTTING SPEED, TEMPERATURE, REDUCED INTENSITY FACTOR, ROUGHNESS*

*Turning of conical and spherical surfaces of the parts is reviewed. Rational scheme (sequence) of stock removal, the combination of values of linear velocities of the workpiece and tool movements that are relevant in the development of control programs for CNC machines is selected and considered. The parameter of given temperature change rate is introduced. The results of measurements of the machined surface roughness of the parts with different base length measurement are given.*

Токарная обработка конических и сферических поверхностей деталей характеризуется переменной скоростью главного движения резания (вращение заготовки) и наличием продольного, поперечного и криволинейного движений подачи инструмента в связи изменением диаметра заготовки [1].

Выбор рациональной схемы (последователь-

ности) снятия припуска на черновых и чистовых переходах и сочетания значений скоростей движений заготовки и инструмента является актуальным при разработке управляющих программ для станков с ЧПУ [2]. Рассмотрим решение данной задачи на примере обработки конической поверхности детали «Штырь» (рисунок 1 а) и сферической поверхности детали «Палец ша-

\* E-mail: [rorctt@mail.ru](mailto:rorctt@mail.ru) (N. Popok)

ровой» (рисунок 1 б) в условиях единичного и мелкосерийного производств.

Обработка проводится на модернизированном токарном станке модели 16К20 с системой ЧПУ фирмы Siemens с применением смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) и без нее. Используются резец для контурной обработки фирмы Raflana SVJCR 2020K-11 и заготовки из круглого проката в стадии поставки для детали «Штырь» (рисунок 2 а) и предварительно обработанные для детали «Палец шаровой» (рисунок 2 б). В качестве контролируемых параметров приняты температура обрабатываемых поверхностей деталей, измеряемая пирометром модели Opttris Lager Sight, и шероховатость обработанной поверхности, измеряемая профилометром-профилографом модели Abris PM-7.

При написании управляющей программы обработки детали «Штырь» принята схема последовательного съема припуска с наибольшего

размера по длине к наименьшему за счет продольной подачи. За каждый проход снимается слой материала глубиной резания 1 мм. При этом резец имеет установочные движения в продольном и поперечном направлениях (рисунок 3 а). На рисунке указаны длина и время каждого прохода режущего инструмента, а также значения подачи на отдельных проходах и общее время обработки.

При обработке детали «Палец шаровой» съём припуска осуществляется или по схеме последовательной продольной и поперечной подачи инструмента на черновом переходе и подачи по дуге на чистовом переходе (рисунок 3 б), или по схеме подачи инструмента по дуге с изменяющимся радиусом при каждом последующем рабочем ходе с глубиной резания 0,8 мм (рисунок 3 в).

При обработке конической поверхности принято ступенчатое изменение скорости резания,

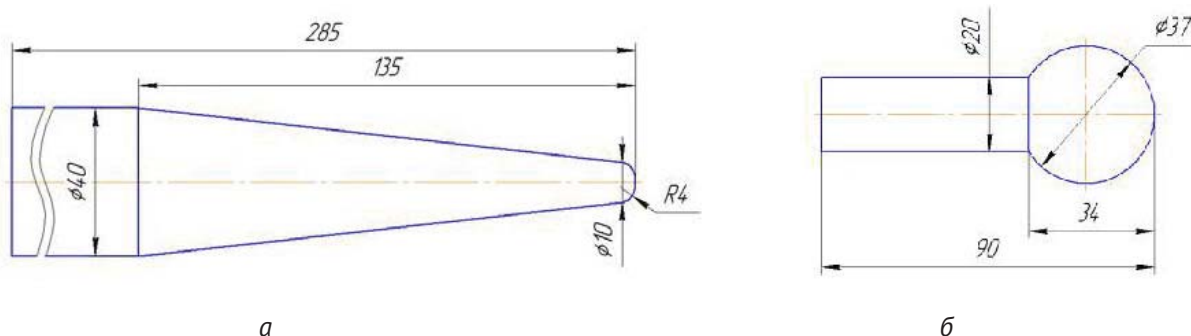


Рисунок 1 – Детали: а) «Штырь», б) «Палец шаровой»

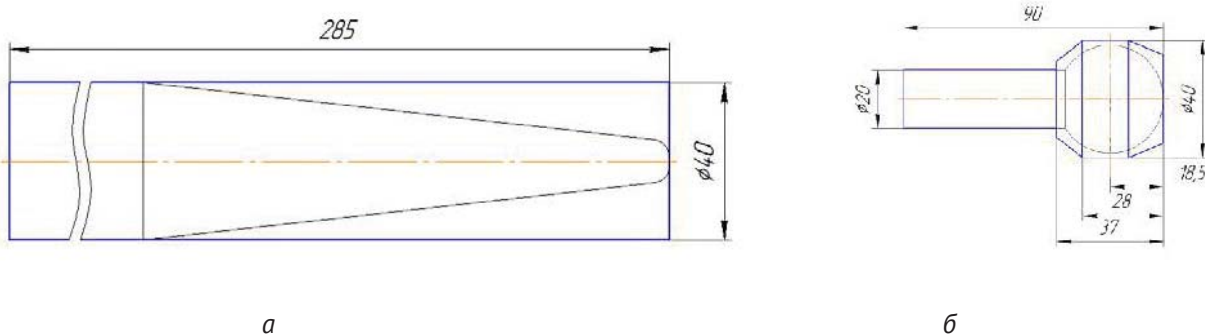


Рисунок 2 – Заготовки деталей: а) «Штырь», б) «Палец шаровой»

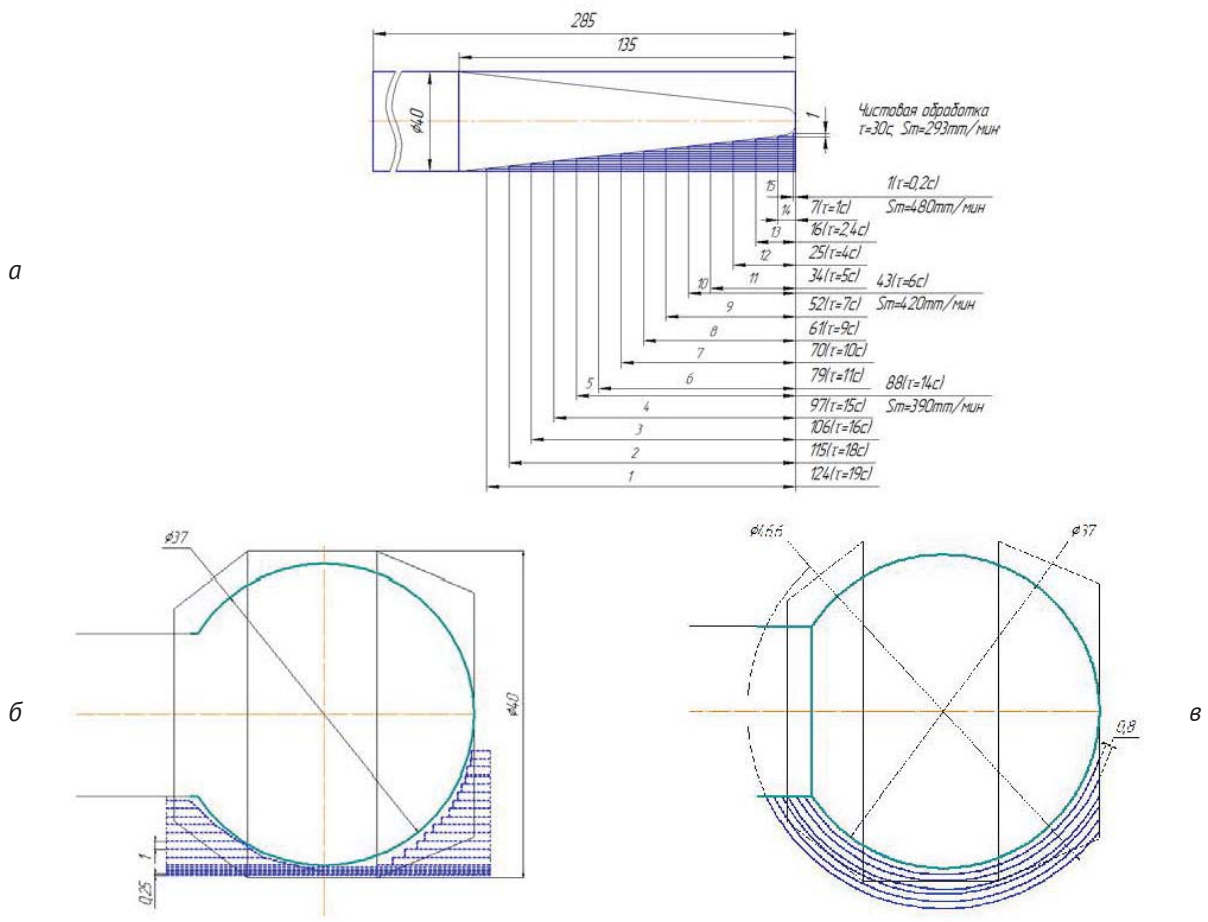


Рисунок 3 – Последовательность съема припуска при изготовлении деталей: а) «Штырь», б), в) «Палец шаровой»

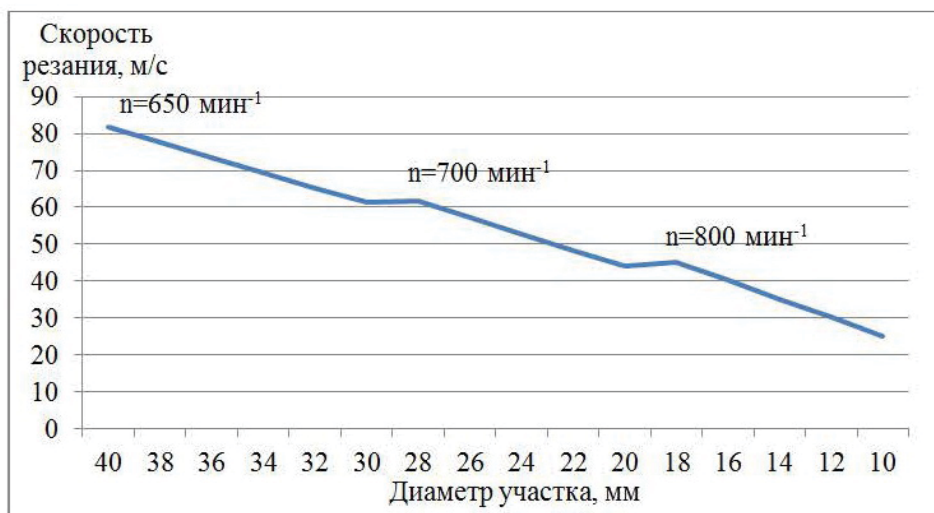


Рисунок 4 – Зависимость изменения линейной скорости резания от диаметра обрабатываемой поверхности детали

представленное на графике (рисунок 4). Это изменение скорости резания обусловлено, в первую очередь, большим перепадом размеров диаметра детали с 40 до 10 мм и изменением мощности резания.

Измерение температуры обрабатываемой конической поверхности детали показало (рисунок 5 а), что при черновой обработке без применения СОЖ максимальная температура достигает значения 185 °С, при обработке с применением СОЖ максимальная температура составляет 125 °С. Скачкообразное изменение значения температуры на графике обуславливается характером обработки: при резании значения температуры возрастают до максимальных значений, а при установочном движении инструмента температура поверхности детали уменьшается, так как отсутствует контакт резца с деталью.

Обработка результатов измерения температуры для условно разбитых участков обрабатываемой поверхности детали, соответствующих различным размерам диаметров детали от мак-

симального (40 мм) до минимального (10 мм), показывает (рисунок 5 б), что значения температуры растут до примерно 12-13 участков, а затем падают. Это объясняется изменением значений линейной скорости вращения детали ( $S_m = 293, 390, 400, 480 \text{ мм/мин}$ ), времени обработки на участках ( $\tau = 1...19 \text{ с}$ ) и тепловыделением в зоне резания (см. рисунок 3). Причем применение СОЖ существенно снижает значения температуры (от 45 до 65 %).

При чистовой обработке конической поверхности без применения СОЖ наблюдается нарастание температуры до значений 160–170 °С (рисунок 6). На последних обрабатываемых участках температура падает за счет сокращения времени обработки. Применение СОЖ снижает максимальные значения температуры до 100 °С. При чистовой обработке с предварительным остыванием заготовки максимальная температура составляет 90 °С. Скачкообразное изменение значений температуры при чистовой обработке и постоянном контакте инструмента с

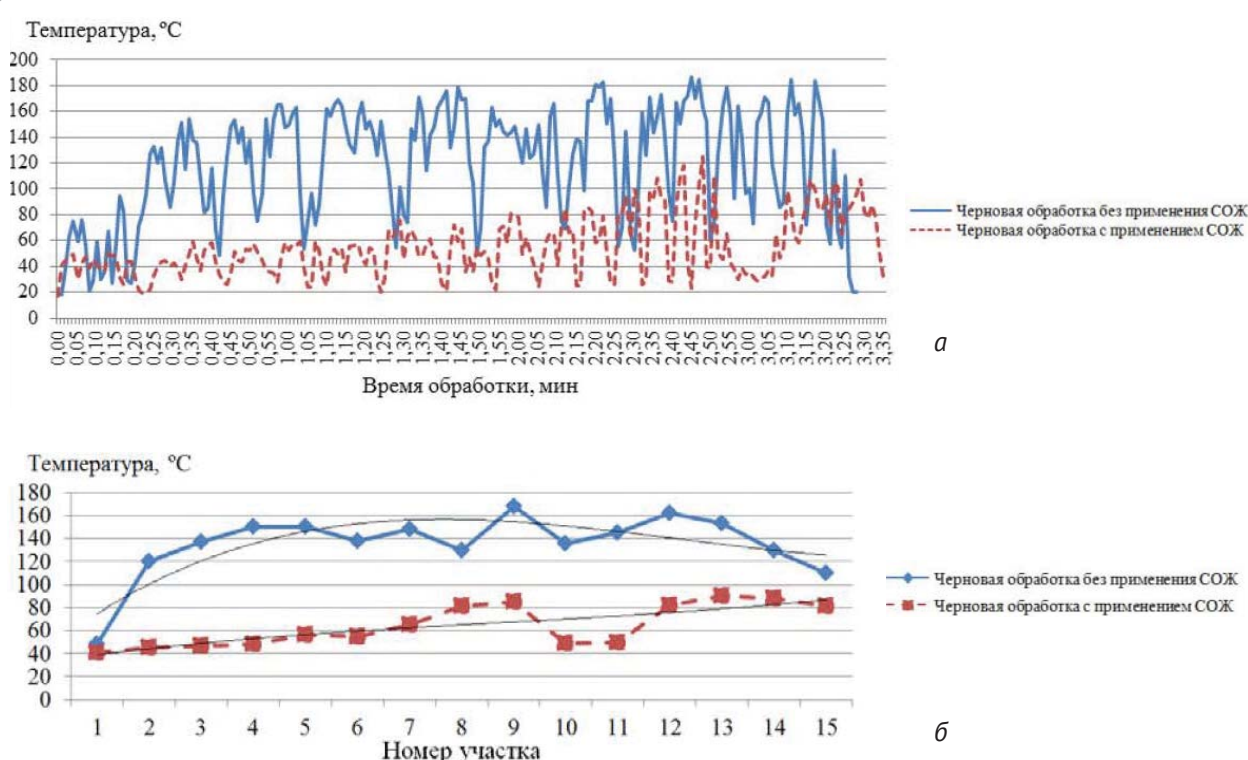


Рисунок 5 – Зависимости температуры от времени обработки (а) и на различных участках (б) обрабатываемой конической поверхности детали



деталью связано с явлением наростообразования.

При обработке сферической поверхности детали «Палец шаровой» по дуге при глубине резания 0,8 мм без применения СОЖ установлено (рисунок 7), что максимальная температура поверхности при частоте вращения заготовки  $n = 800 \text{ мин}^{-1}$  достигает значения  $120 \text{ }^\circ\text{C}$ , при частоте вращения заготовки  $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$  состав-

ляет  $105 \text{ }^\circ\text{C}$ , а при частоте вращения заготовки  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  равна  $145 \text{ }^\circ\text{C}$ . Скачкообразное изменение значений температуры обуславливается характером обработки, а именно, при установочном движении температура поверхности падает, так как отсутствует контакт резца с деталью, а при резании наблюдается рост температуры за счет увеличения тепловыделения.

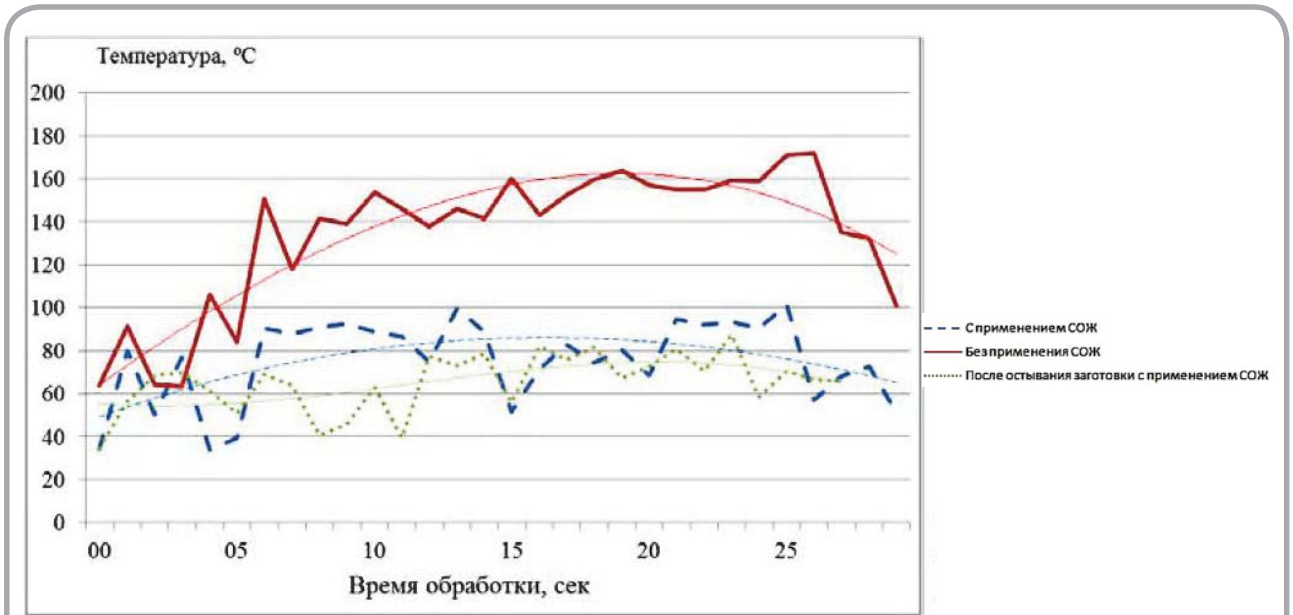


Рисунок 6 – Зависимости температуры от времени при чистовой обработке конической поверхности детали

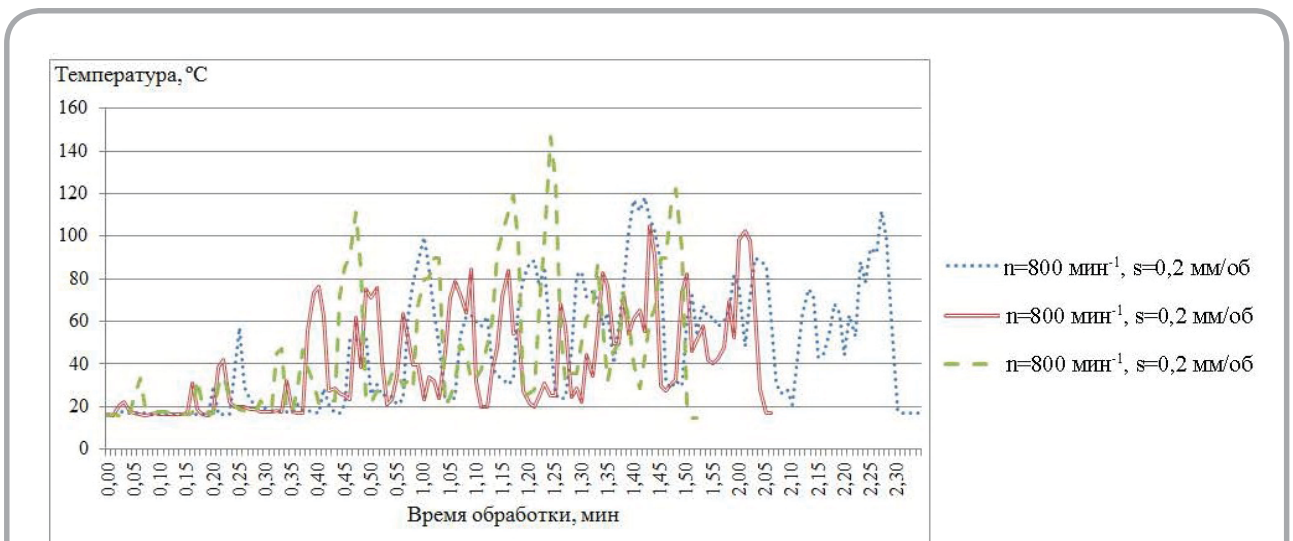


Рисунок 7 – Зависимости значений температуры от времени при обработке сферической поверхности детали

Чистовая обработка сферической поверхности характеризуется нарастанием температуры поверхности детали при частоте вращения заготовки  $n = 800 \text{ мин}^{-1}$  до значения  $112 \text{ }^\circ\text{C}$  (рисунок 8), при частоте вращения заготовки  $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$  максимальная температура достигает значения  $103 \text{ }^\circ\text{C}$ , а при частоте вращения заготовки  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  – составляет  $122 \text{ }^\circ\text{C}$ . Скачкообразное изменение значений температуры при чистовой обработке связано с явлением наростообразования.

При обработке сферической поверхности с частотой вращения заготовки  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$

максимальная температура была зафиксирована на завершающем этапе обработки поверхности, что обусловлено накоплением теплоты в процессе резания и опережающим ее распространением в заготовке. Этот вывод иллюстрируют данные, представленные на рисунке 9 – максимальные значения температуры соответствуют меньшим значениям линейной скорости резания.

При обработке сферической поверхности детали в связи с изменением направления вектора скорости подачи в различных точках (секущих плоскостях) сферы будут изменяться значения

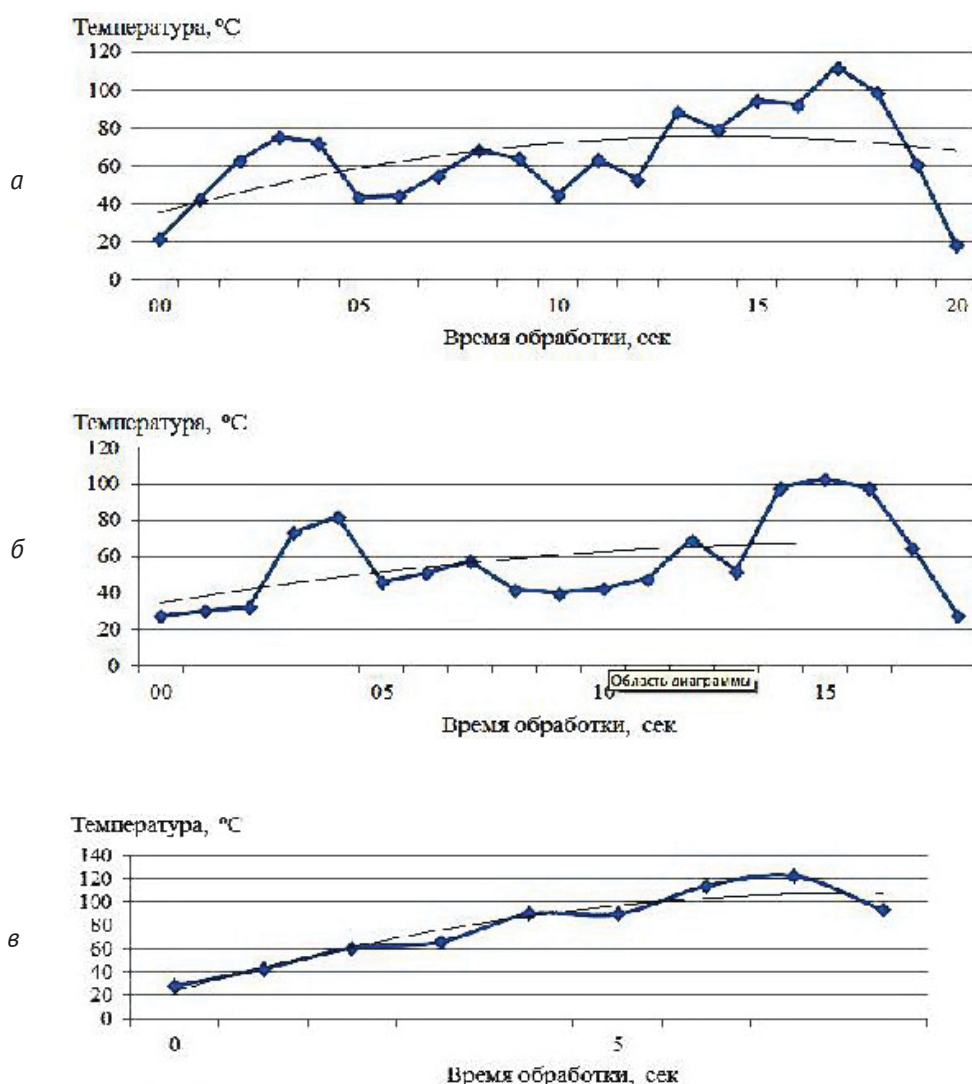


Рисунок 8 – Зависимости значений температуры от времени при чистовой обработке сферической поверхности с частотой вращения детали:  $800 \text{ мин}^{-1}$  (а),  $1000 \text{ мин}^{-1}$  (б) и  $1200 \text{ мин}^{-1}$  (в)

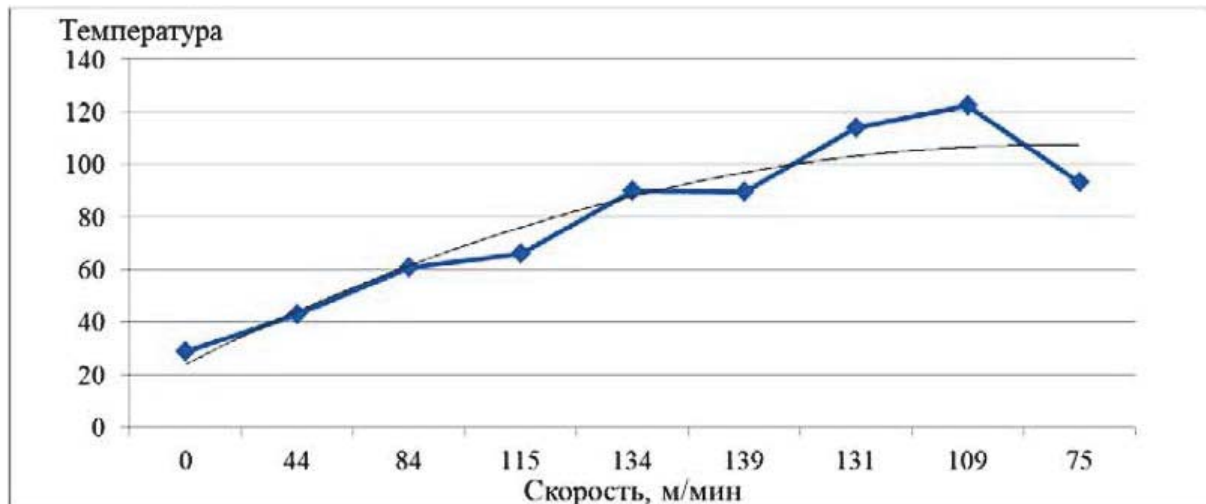


Рисунок 9 – Зависимость значений температуры от линейной скорости резания при чистовой обработке сферической поверхности с частотой вращения заготовки  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  и подаче инструмента  $s = 0,2 \text{ мм/об}$

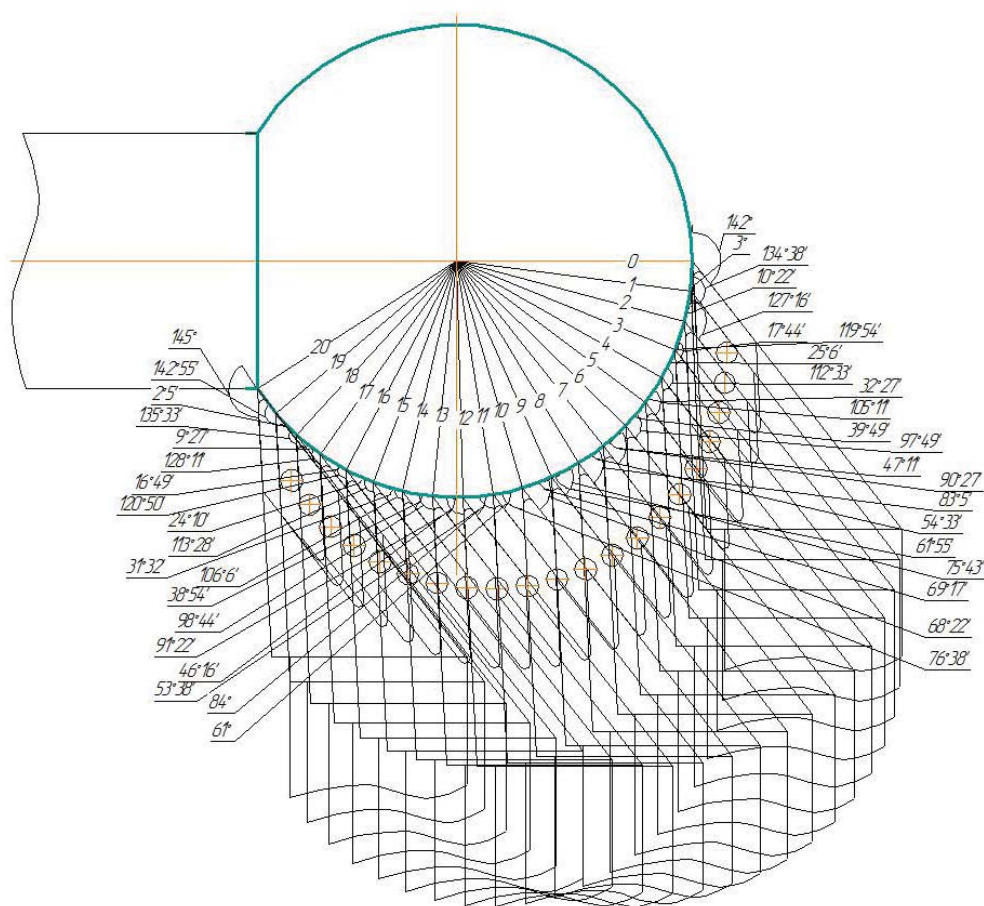


Рисунок 10 – Схема изменения главного и вспомогательного углов в плане резца

главного  $\varphi$  и вспомогательного  $\varphi_1$  углов в плане резца (рисунок 10) соответственно с 142 и 3° до 0 и 145°. Надо также учитывать так называемые «перебеги» резца при его входе в заготовку и выходе из нее, которые изменяют размеры сечения срезаемого слоя. Эти изменения оказывают существенно влияние на направление схода стружки, явление наростообразования, отведение теплоты из зоны резания, шероховатость обработанной поверхности детали.

При обработке сферической поверхности детали «Палец шаровой» без применения СОЖ по дуге при  $t = 0,2 \text{ мм}$  было установлено (рисунок 11), что максимальная температура поверхности при частоте вращения заготовки  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  составляет 125 °С. Скачкообразное изменение полученных значений температуры обуславливается характером обработки, а именно при установочном движении инструмента температура поверхности падает, так как отсутствует резание.

Чистовая обработка сферической поверхности на последнем рабочем ходе характеризовалась (рисунок 12) нарастанием температуры поверхности при частоте вращения заготовки  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  до значения 65 °С. Скачкообразное изменение значений температуры при чистовой обработке связано с явлением наро-

стообразования.

Падение значений температуры нагрева детали на рисунках 5, 6, 8, 9, 12 на завершающих этапах обработки объясняется изменением углов лезвия инструментов и размеров сечения срезаемого слоя (см. рисунок 10).

При обработке деталей различных конфигураций, например, как в нашем случае конуса и сферы, можно ввести понятие коэффициента приведенной интенсивности изменения температуры [3, 4], который оценивается как отношение изменения температуры к единице объёма или площади снимаемого слоя, или длине пути инструмента и единице времени, то есть соответственно:

$$I'_{\theta} = \frac{\theta_{\max} - \theta_{\min}}{V \cdot \tau}, \frac{\text{град}}{\text{мм}^3 \cdot \text{с}};$$

$$I''_{\theta} = \frac{\theta_{\max} - \theta_{\min}}{F \cdot \tau}, \frac{\text{град}}{\text{мм}^2 \cdot \text{с}};$$

$$I'''_{\theta} = \frac{\theta_{\max} - \theta_{\min}}{l \cdot \tau}, \frac{\text{град}}{\text{мм} \cdot \text{с}};$$

где  $V$  – объём снимаемого слоя,  $\text{мм}^3$ ;  $F$  – площадь снимаемого слоя,  $\text{мм}^2$ ;  $l$  – длина пути инструмента,  $\text{мм}$ .



Рисунок 11 – Зависимость значений температуры от времени при черновой и чистовой обработке сферической поверхности детали

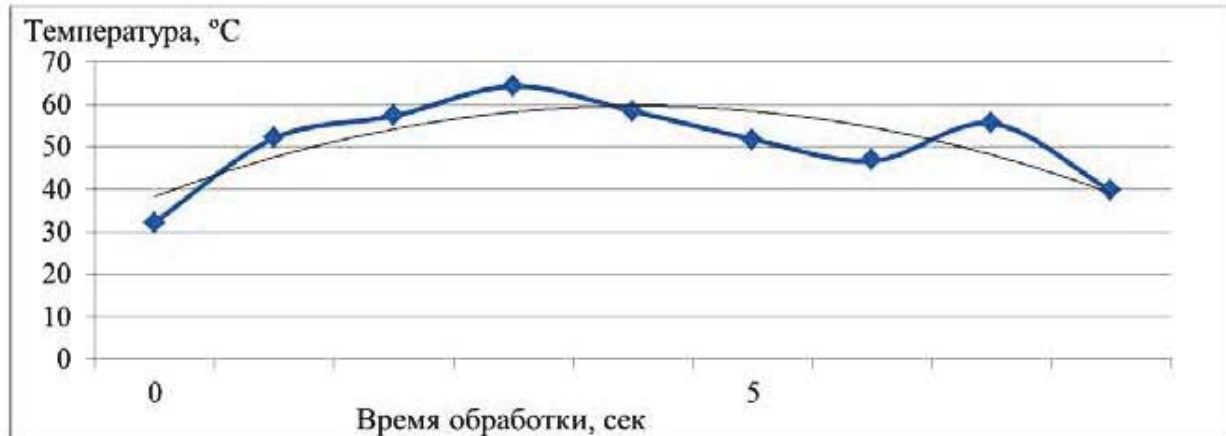


Рисунок 12 – Зависимость значений температуры от времени при чистовой обработке сферической поверхности детали

Таблица 1 – Коэффициенты приведенной интенсивности изменения температуры при обработке конической поверхности детали

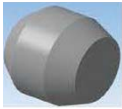
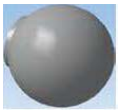


Эскизы заготовок и детали			
Заготовка	Заготовка после черновой обработки	Деталь	
Расчетные параметры: Масса, г / Объем, см <sup>3</sup>			
1326,632 / 169,646	640,026 / 81,8448	579,844 / 74,1488	
Условия обработки	Значения характеристик обработки		Приведенный коэффициент $I_p, °C/мин \cdot см^3$
Черновая + чистовая + СОЖ	$\theta_{max}, °C$	128	0,28
	$\theta_{min}, °C$	30	
	$\tau, с$	220	
Черновая + СОЖ	$\theta_{max}, °C$	124,6	0,34
	$\theta_{min}, °C$	20	
	$\tau, с$	210	
Черновая без СОЖ	$\theta_{max}, °C$	187,1	0,51
	$\theta_{min}, °C$	30	
	$\tau, с$	210	
Чистовая без СОЖ	$\theta_{max}, °C$	172	34,23
	$\theta_{min}, °C$	40,3	
	$\tau, с$	30	
Чистовая + СОЖ	$\theta_{max}, °C$	123,8	23,44
	$\theta_{min}, °C$	33,6	
	$\tau, с$	30	
Чистовая + СОЖ + предварительное остывание	$\theta_{max}, °C$	98,1	19,96
	$\theta_{min}, °C$	21,3	
	$\tau, с$	30	

В этом случае можно сравнивать обработку различных конфигураций деталей и с различным припуском с точки зрения интенсивности нагрева детали, инструмента и стружки.

В таблицах 1 и 2 приведены данные расче-

тов приведенных коэффициентов интенсивности изменения температуры при обработке конической и сферической поверхностей деталей. Анализ данных при обработке конической поверхности детали показывает (рисунок 13),

Таблица 2 – Приведенные коэффициенты интенсивности изменения температуры при обработке сферической поверхности детали

Эскизы заготовок и детали			
Заготовка	Заготовка с припуском под чистовую 0,8 мм	Заготовка с припуском под чистовую 0,2 мм	Деталь
			
<b>Расчетные параметры: Масса, г / Объем, см<sup>3</sup></b>			
309,228 / 39,5432	236,564 / 30,2511	217,151 / 27,7687	210,903 / 26,9697
<b>Условия обработки</b>	<b>Значения характеристик обработки</b>		<b>Приведенный коэффициент <math>I_p, \text{ }^\circ\text{C}/\text{мин} \cdot \text{см}^3</math></b>
<b>Режим резания: <math>S = 0,2 \text{ мм/об}; t = 0,8 \text{ мм}</math></b>			
Черновая + чистовая при $n = 800 \text{ мин}^{-1}$	$\theta_{max}, \text{ }^\circ\text{C}$	118,5	3,07
	$\theta_{min}, \text{ }^\circ\text{C}$	22	
	$\tau, \text{ с}$	150	
Черновая + чистовая при $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$	$\theta_{max}, \text{ }^\circ\text{C}$	104,8	3,16
	$\theta_{min}, \text{ }^\circ\text{C}$	22	
	$\tau, \text{ с}$	125	
Черновая + чистовая при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$	$\theta_{max}, \text{ }^\circ\text{C}$	146,9	5,42
	$\theta_{min}, \text{ }^\circ\text{C}$	22	
	$\tau, \text{ с}$	110	
Чистовая при $n = 800 \text{ мин}^{-1}$	$\theta_{max}, \text{ }^\circ\text{C}$	112,1	78,45
	$\theta_{min}, \text{ }^\circ\text{C}$	22	
	$\tau, \text{ с}$	21	
Чистовая при $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$	$\theta_{max}, \text{ }^\circ\text{C}$	102,8	85,33
	$\theta_{min}, \text{ }^\circ\text{C}$	32,8	
	$\tau, \text{ с}$	15	
Чистовая при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$	$\theta_{max}, \text{ }^\circ\text{C}$	122,3	190,37
	$\theta_{min}, \text{ }^\circ\text{C}$	28,6	
	$\tau, \text{ с}$	9	
<b>Режим резания: <math>S = 0,2 \text{ мм/об}; t = 0,2 \text{ мм}</math></b>			
Черновая + чистовая при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$	$\theta_{max}, \text{ }^\circ\text{C}$	126	26,53
	$\theta_{min}, \text{ }^\circ\text{C}$	20	
	$\tau, \text{ с}$	300	
Чистовая при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$	$\theta_{max}, \text{ }^\circ\text{C}$	64,3	267,01
	$\theta_{min}, \text{ }^\circ\text{C}$	32,3	
	$\tau, \text{ с}$	9	

что применение СОЖ снижает приведенную интенсивность тепловыделения как при черновой (с 0,51 до 0,28), так и при чистовой (с 34,23 до 19,96) обработке. Снижению интенсивности также способствует остывание заготовки перед окончательной чистовой обработкой.

При обработке сферических поверхностей с увеличением частоты вращения детали приведенная интенсивность изменения температуры возрастает (рисунок 14). Причем при чистовых проходах резца приведенная интенсивность температуры выше, чем при черновых (рисунок 14 б, в) в связи с уменьшением объема снимаемого слоя и времени обработки.

Сравнение приведенной интенсивности изменения температуры при обработке конической и сферической поверхностей показывает (см. рисунки 13 и 14), что ее значения гораздо выше при обработке сферы. Это объясняется меньшими значениями объема снимаемого слоя и времени обработки, а также большими значениями частоты вращения сферической поверхности в сопоставлении с обработкой конической поверхности.

При установленных значениях температуры нагрева как конической, так и сферической поверхностей деталей в пределах 90–170 °С, рост приведенной интенсивности изменения температуры не оказывает существенного влияния на структуру и фазовый состав материала детали. Однако в случае высокоскоростной обработки

поверхности детали необходимо снижать приведенную интенсивность изменения температуры путем применения СОЖ и теплоотвода в стружку.

Данные измерений шероховатости обработанной поверхности детали при различных базовых длинах измерений имеют значения, которые находятся в пределах  $Ra$  3,45–5,8 мкм. Такая шероховатость соответствует общепринятым значениям при токарной чистовой обработке поверхностей. Причем для сферических поверхностей отмечается увеличение шероховатости поверхности вблизи оси вращения детали, что связано с уменьшением значений ее линейной скорости.

**ВЫВОДЫ**

1. Установлены рациональные схемы обработки, заключающиеся в последовательном съеме припуска вдоль оси при обработке длинных конических и по дуге при обработке сферических поверхностей деталей, и диапазоны режима резания ( $n = 800–1200 \text{ мин}^{-1}$ ;  $S = 0,2–0,5 \text{ мм/об}$ ;  $t = 0,2–1,0 \text{ мм}$ ), обеспечивающие уменьшение упругих отжатию заготовки и резца, исключение вибрации, что позволило сократить машинное время обработки длинных конических и сферических поверхностей на 10–15 %.

2. Определены условия обработки ( $n = 800–1200 \text{ мин}^{-1}$ ,  $S = 0,2 \text{ мм/об}$ , геометрия инструмента – пластина с углом при вершине  $\epsilon = 35^\circ$ , применение СОЖ), при которых обеспе-

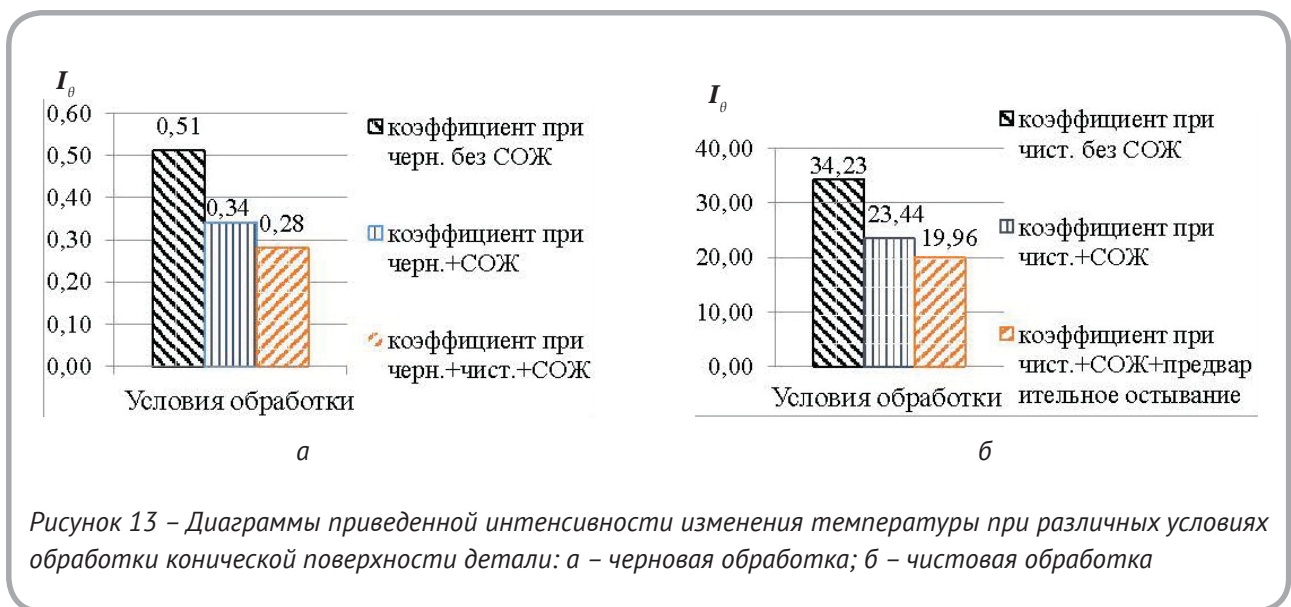


Рисунок 13 – Диаграммы приведенной интенсивности изменения температуры при различных условиях обработки конической поверхности детали: а – черновая обработка; б – чистовая обработка

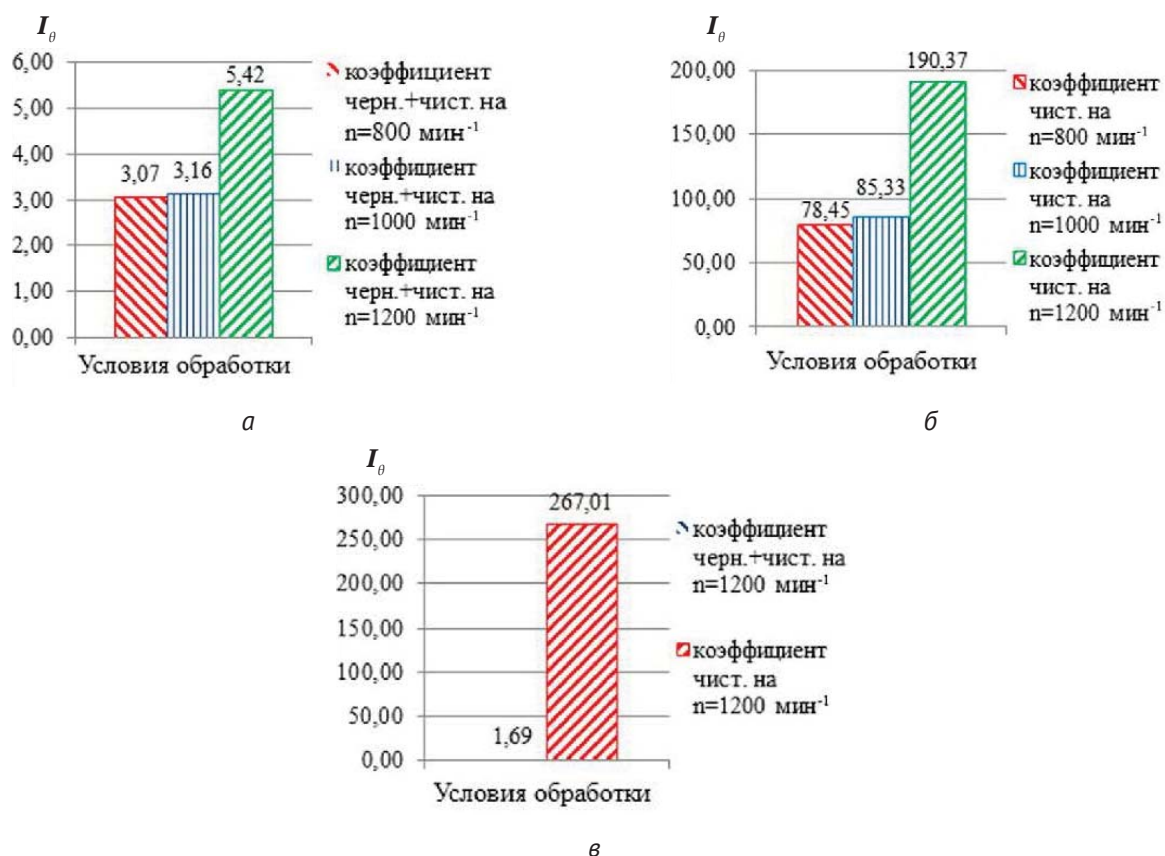


Рисунок 14 – Диаграммы приведенной интенсивности изменения температуры при различных условиях обработки сферической поверхности детали: а – черновая обработка при  $t = 0,8 \text{ мм}$ ; б – чистовая обработка при  $t = 0,8 \text{ мм}$ ; в – черновая и чистовая обработка при  $t = 0,2 \text{ мм}$

чивается минимальное тепловыделение в зоне резания и нагрев детали до  $90-170 \text{ }^\circ\text{C}$ .

3. Установлен эффект опережающего распространения теплоты в сферических поверхностях по отношению к изменению линейной скорости вращения детали, что позволяет управлять процессом резания и оптимизировать режимы обработки.

4. Предложено сравнивать обработку деталей различной конфигурации и с различным при-

пуском по приведенной интенсивности изменения температуры, что позволяет снижать нагрев детали путем управления тепловыделением за счет изменения режимов резания, применения СОЖ и так далее. Расчет коэффициента приведенной интенсивности изменения температуры также позволяет увеличивать производительность обработки без критического (предельного) нагрева поверхностей деталей, приводящих к изменению их структуры и фазового состава.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Данилов, В.А. (1995), *Формообразующая обработка сложных поверхностей резанием*, Минск, Наука и техника, 264 с.
2. Жолобов, А.А. (2009), *Программирование процессов обработки поверхностей на станках с ЧПУ*, Могилев, Беларусско-российский университет, 338 с.
3. Резников, А.Н., Резников, Л.А., (1990), *Тепловые процессы в технологических системах*, Москва, Машиностроение, 288 с.
4. Попок, Н.Н., Хмельницкий, Р.С., Анисимов, В.С., Сидикевич, А.В. (2017), Интенсивность тепловыделения при обработке конических и сферических поверхностей деталей на станках с ЧПУ, Перспективные направления развития технологии машиностроения и металлообработки, *Тезисы докладов международной научно-технической конференции*, Минск, Бизнес-софсет, 2017, С. 181-183.

## REFERENCES

1. Danilov, V.A. (1995), *Form-forming treatment of complex surfaces by cutting* [Formoobrazujushhaja obrabotka slozhnyh poverhnostej rezaniem], Minsk, Nauka i tehnika, 264 p.
2. Zholobov, A.A. (2009), *Programming of surface treatment processes on CNC machines* [Programmirovanie processov obrabotki poverhnostej na stankah s ChPU], Mogilev, Belarusian-Russian university, 338 p.
3. Reznikov, A.N., Reznikov, L.A. (1990), *Thermal processes in technological systems* [Teplovyje processy v tehnologicheskikh sistemah], Moscow, Mashinostroenie, 288 p.
4. Popok, N.N., Khmel'nitsky, R.S., Anisimov, V.S., Sidikevich, A.V. (2017), Intensity of heat release during processing of conical and spherical surfaces of parts on CNC machines [Intensivnost' teplovydelenija pri obrabotke konicheskikh i sfericheskikh poverhnostej detalej na stankah s ChPU], Perspective directions of development of technology of machine building and metalworking, *Abstracts of the International scientific and technical conference*, Minsk, Biznessofset, pp. 181-183.

*Статья поступила в редакцию 15. 03. 2017 г.*

## АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТРИКОТАЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОЛУШЕРСТЯНОЙ ПРЯЖИ

### ANALYSIS OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF MAKING KNITWEAR FROM HALF-WOOLEN YARN

**Н.В. Скобова\*, А.А. Пришляк**

*Витебский государственный технологический университет*

УДК 677.027.18:677.025

**N. Skobova\*, H. Prisiak**

*Vitebsk State Technological University*

#### РЕФЕРАТ

**ПОЛУШЕРСТЯНАЯ ПРЯЖА, ПОЛУФАБРИКАТЫ ТРИКОТАЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС, АППРЕТИРОВАНИЕ, СУШКА**

*На трикотажных предприятиях Республики Беларусь остро стоит вопрос о повышении конкурентоспособности выпускаемой продукции. Одним из путей решения этого вопроса является использование более дешевого отечественного сырья и снижение затрат на технологию изготовления изделий. Проведен анализ основных операций технологического процесса изготовления полушерстяных трикотажных изделий на примере предприятия ОАО «Алеся», в ходе которого установлено, что этапы влажно-тепловой обработки полуфабрикатов изделий требуют оптимизации режимных параметров. Проведены экспериментальные исследования процесса аппретирования трикотажных полуфабрикатов на стиральной машине с последующей их сушкой на сушильной машине, в ходе которых определены рациональные технологические режимы: температура аппретирования – 30 °С, температура сушки – 50 °С, концентрация уксусной кислоты – 7,5 %.*

#### ABSTRACT

**HALF-WOOLEN YARN, KNITTED SEMI-FINISHED PRODUCTS, PRODUCTION PROCESS, SIZING, DRYING**

*Competitiveness of production is a hot topic of the day at knitting enterprises of the Republic of Belarus. One way of solving this issue is the use of cheaper domestic raw material and reducing production costs. The analysis of the basic operations of technological process of making half-woolen knitted products (enterprise case JSC «Alesya») was conducted. It was established, that stages of damp-thermal processing of semifinished products require optimization of regime parameters. Experimental researches of process of dressing of knitted semifinished items in a washing machine with their subsequent drying in the dryer were held. Rational technological regimes were found out: temperature of dressing – 30 °C, temperature of drying – 50 °C, concentration of an acetic acid – 7,5 %.*

Трикотажная промышленность представляет собой крупную отрасль легкой промышленности. Она вырабатывает широкий ассортимент самых разнообразных изделий, многие из которых являются незаменимыми или более желанными, чем изделия из ткани.

ОАО «Алеся» специализируется на производстве изделий верхнего трикотажа для взрос-

лых. Модели изготавливаются из пряжи, выработанной из натуральных, искусственных и синтетических волокон. Номенклатура выпускаемых моделей достаточно широка, однако имеется большая проблема конкурентоспособности отечественных брендов с зарубежными аналогами в стоимостном выражении.

Для решения указанной проблемы необходи-

\* E-mail: [skobova-nv@mail.ru](mailto:skobova-nv@mail.ru) (N. Skobova)

мо проанализировать технологический процесс изготовления верхних трикотажных изделий из полушерстяной пряжи на ОАО «Алеся», определить пути удешевления выпускаемой продукции, провести оптимизацию технологических режимов влажно-тепловой обработки трикотажных изделий.

В данной работе объектом исследования является модель мужского жилета, изготовленного из полушерстяной крученой пряжи линейной плотности  $31 \text{ текс} \times 2$  (шерсть – 30 %, нитрон – 70 %). Последовательность полного технологического процесса изготовления трикотажных изделий в производственных условиях ОАО «Алеся» (г. Минск) представлена на рисунке 1. Для изготовления купонов изделий применяли хлопчатобумажную машину 14 класса, вид переплетения – кулирная гладь.

В ходе анализа всех этапов технологического процесса изготовления трикотажных мужских жилетов, выявлены несколько путей, которые позволят снизить себестоимость выпускаемых изделий: первый – за счет удешевления сырья, которое в себестоимости верхних трикотажных изделий составляет 80–90 %; второй – за счет снижения затрат на технологию изготовления изделий.

В последние несколько лет на предприятии для изготовления жилетов использовалась полушерстяная гребенная пряжа, закупаемая у фирмы Filivivi (Италия): пряжа отличается высокими качественными показателями, однако имеет закупочную стоимость за 1 кг на 15 % выше по сравнению с отечественными аналогами. Изучив рынок сырья в Республике Беларусь, было принято решение отказаться от зарубежного постав-

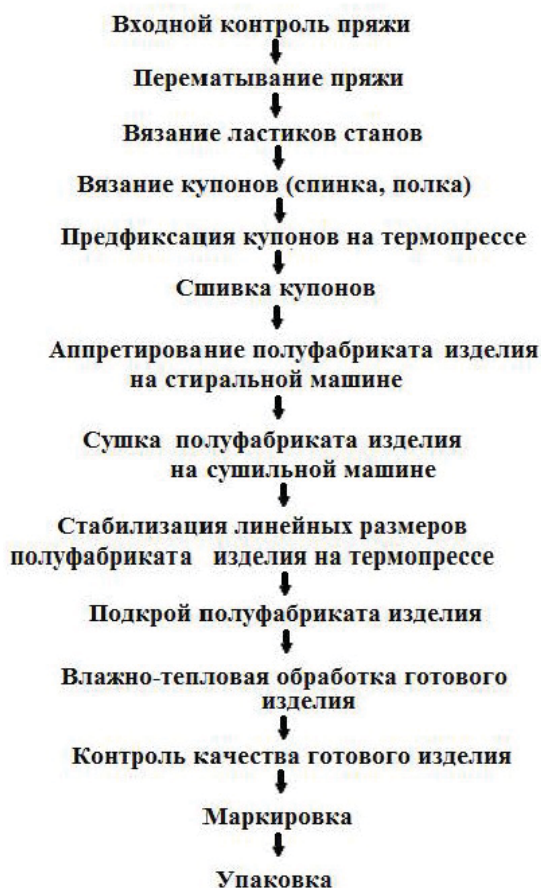


Рисунок 1 – Технологический процесс изготовления трикотажных жилетов

щика и перейти на белорусского производителя гребенной пряжи – ОАО «Слонимская камвольно-прядельная фабрика». Пряжа данного ассортимента несколько уступает по качественным показателям итальянским образцам, однако значительно дешевле.

Рассмотрена возможность удешевления выпускаемой продукции за счет снижения затрат на заключительную отделку полуфабрикатов трикотажных изделий. Анализ технологии изготовления трикотажных изделий показал, что наиболее энергозатратными в технологическом цикле являются операции влажно-тепловой обработки: предфиксация, аппретирование, сушка, стабилизация купонов и ВТО готовых изделий. Большая часть перечисленных операций осуществляется на термопрессах различных моделей, настройки технологических параметров которых показали минимальное энергопотребление. Поэтому особое внимание было уделено процессам аппретирования и сушки полуфабрикатов, осуществляемых на стиральном и сушильном оборудовании. Технологические режимы работы оборудования имели нестабильный характер и требовали оптимизации.

Таким образом, целью проводимых исследований являлось определение рациональных режимных параметров аппретирования и сушки полуфабрикатов трикотажных изделий, позволя-

ющих снизить затраты на их обработку.

Аппретирование трикотажных полотен проводится с целью придания им мягкости, формоустойчивости, малосминаемости, малоусадочности и исключения прорубки при пошиве. Рекомендуемые температура обработки 40–45 °С [1, 4].

Технологический режим процесса аппретирования полуфабрикатов трикотажных изделий в стиральной машине представлен на рисунке 2. Модуль ванны - 1:10. При анализе применяемого режима обработки в качестве варьируемых факторов выбраны температура аппретирующего раствора и концентрация уксусной кислоты. Используемый в этом процессе смягчитель Solusoft CFN и его концентрация не могут варьироваться в ходе проводимого исследования, так как являются оптимальными для данного вида продукции.

Следующий после аппретирования процесс сушки полуфабрикатов производится в барабанной сушильной машине PRIMUS. Используется конвективный вид сушки. Объем подаваемого нагретого электротенами воздуха постоянный и составляет 0,95 м<sup>3</sup>/сек. Поэтому регулируемым параметром на данном типе оборудования является температура сушки, которая задается через меню с пульта управления. Численное значение выбранного параметра варьируется в

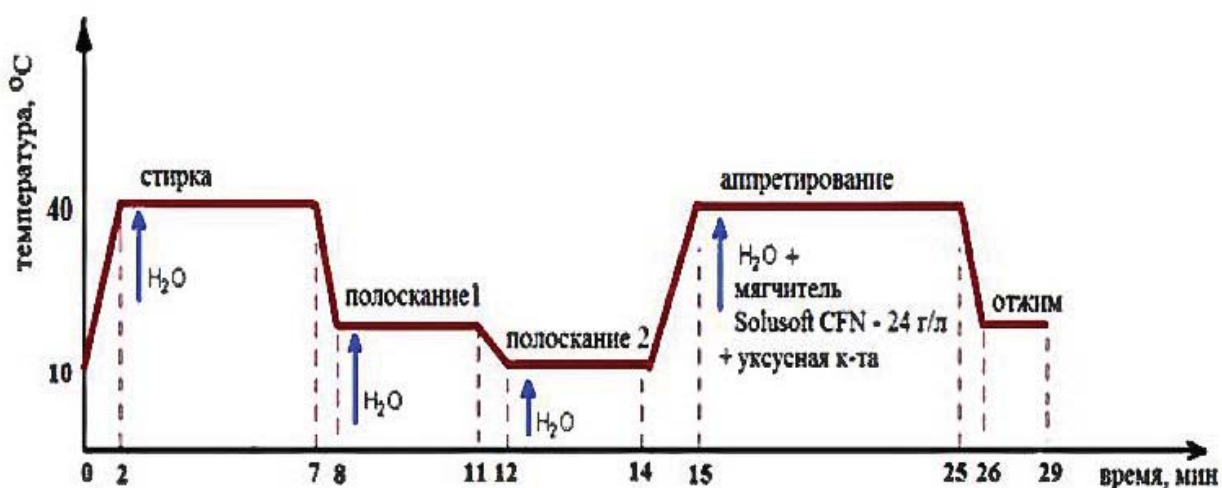


Рисунок 2 – Технологический режим процесса аппретирования полуфабрикатов трикотажных изделий на стиральной машине

широком диапазоне (максимальное значение до 70 °С), поэтому при выборе интервала варьирования фактора учитывалось, что полуфабрикаты не должны быть пересушены во избежание образования заломов.

В таблице 1 представлены уровни варьирования выбранных входных факторов. Эксперимент проводился по матрице полного факторного эксперимента 2<sup>3</sup> с двумя повторностями опытов.

При смачивании и особенно при стирке, сопряженной с механическими воздействиями, изменяются связи между отдельными элементами петельной структуры, меняются точки контакта петель и форма петли. Набухание волокон способствует распрямлению и изменению размеров нитей. Происходит существенная перестройка структуры трикотажа, приводящая к изменению соотношения высоты петельного ряда и петельного шага и, следовательно, к усадке или притяжке полотна [2, 5]. Поэтому эффективность обработки полуфабрикатов трикотажных изделий оценивалась по показателям коэффициента драпируемости (*Kd*), линейной усадки полуфабриката по длине (*Ud*) и притяжки по ширине (*Ush*).

**МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ**

Показатель драпируемости трикотажных полуфабрикатов определяли дисковым методом на приборе ЦНИИШелка. Отбор проб проводили по ГОСТ 20566-75 «Ткани и штучные изделия текстильные. Правила приемки и метод отбора проб». Из каждой точечной пробы вырезались по три элементарные пробы диаметром 200 мм. Таким образом, общее количество проб равно 9. При дисковом методе драпируемость материалов оценивали коэффициентом драпируемости, который рассчитывали, используя результа-

ты взвешивания бумаги (с погрешностью до 0,001 г), вырезанной по проекциям недрапированной и драпированной пробы [3]:

$$K = \frac{m_o - m_n}{m_o} 100, \quad (1)$$

где *m<sub>o</sub>* – масса проекции исходной недрапированной пробы, г; *m<sub>n</sub>* – масса проекции драпированной пробы, г.

Показатели усадки и притяжки трикотажных купонов определялись согласно ГОСТ 30157.0-95 «Полотна текстильные. Методы определения изменения размеров после мокрых обработок или химической чистки. Общие положения», ГОСТ 20566-75. Отбирались три пробы, от каждой отобранной точечной пробы выкраивали по шаблону элементарные пробы (по три пробы по длине и ширине). На каждой элементарной пробе в расправленном и ненатянутом состоянии наносили точки через отверстия шаблона, по размеченным точкам прошивали стежки тонкими нитками контрастного цвета. Каждый образец подвергали процессу влажно-тепловой обработки согласно плану эксперимента. После завершения испытания элементарные пробы выдерживали в климатических условиях по ГОСТ 10681 в расправленном виде в течение 120 мин, после чего измеряли линейные размеры образцов в направлении петельных столбиков и петельных рядов.

После обработки экспериментальных данных получены модели зависимости выходных параметров от варьируемых факторов:

- регрессионная модель зависимости коэффициента драпируемости от температуры аппретирования и сушки полуфабрикатов трико-

Таблица 1 – Уровни варьирования входных факторов				
Параметры	Уровни варьирования			
	Натуральные значения		Кодированные значения	
Температура аппретирующего раствора, °С – <i>ta</i>	30	40	-1	+1
Концентрация уксусной кислоты, % – <i>C</i>	7.5	15	-1	+1
Температура сушки, °С – <i>tc</i>	40	50	-1	+1

тажных изделий

$$Kd = 67,07 + 0,625 \cdot t_c + 0,525 \cdot t_a ; \quad (2)$$

- регрессионная модель зависимости линейной усадки полуфабриката по длине от температуры аппретирования и сушки

$$ud = 2,697 + 0,572 \cdot t_c + 1,477 \cdot t_a - 0,442 \cdot t_c \cdot t_a ; \quad (3)$$

- регрессионная модель зависимости показателя притяжки полуфабриката по ширине от температуры аппретирования, сушки и концентрации уксусной кислоты

$$ush = -4,087 - 0,462 \cdot t_c - 0,862 \cdot C - 0,362 \cdot t_c \cdot t_a . \quad (4)$$

Для оценки статистической значимости разработанных моделей проведен дисперсионный анализ. В таблице 2 для каждого уравнения показана сумма квадратов отклонений регрессии, критерий Фишера (*F-value*), значение которого для всех рассмотренных моделей значительно больше табличного при уровне значимости  $p < 0.05$ , что указывает на достоверность разработанных моделей.

Анализ полученных моделей (1–3) показывает, что коэффициент драпируемости и линейная усадка по длине полуфабрикатов трикотажных изделий зависят только от температурных параметров этапов аппретирования и сушки, а на показатель притяжки по ширине одновременно влияют три варьируемых фактора. Графическая

зависимость этого показателя при различной концентрации уксусной кислоты (рисунок 3) выявила, что наименьшая притяжка образца соответствует режиму обработки при минимальной концентрации кислоты.

Для определения рациональных параметров заправки стиральной и сушильной машины для выработки полуфабрикатов трикотажных изделий, удовлетворяющих нормированным требованиям по усадочным свойствам и мягкости, построен совмещенный график линий равного уровня выходных параметров (рисунок 4).

Отмечается локализация области рациональных значений выходных факторов в зоне минимального значения температуры аппретирования 30 °С, и максимального значения температуры сушки 50 °С при фиксированном значении концентрации уксусной кислоты на минимальном уровне – 7,5 %.

В таблице 3 представлен сравнительный анализ свойств полуфабрикатов трикотажных полотен, прошедших процесс аппретирования на стиральной машине с последующей сушкой на сушильной машине по ранее существующим на предприятии технологическим режимам обработки, и по параметрам из области рациональных значений. Можно отметить, что образцы, прошедшие влажно-тепловую обработку по рациональным технологическим параметрам, обладают более высоким коэффициентом драпируемости (увеличился на 3 %); меньшей линейной усадкой по длине и притяжкой по ширине (снижение на 50 %), прочностные показатели изделий не изменились.

Таблица 2 – Оценка значимости разработанных моделей

Эффект ( <i>Effect</i> )	Сумма квадратов отклонений регрессий ( <i>Sum of Squares</i> )	Критерий Фишера ( <i>F-value</i> )	Уровень значимости ( <i>p-value</i> )
Регрессия для модели (1)	35997,79	59697,80	0,000000
Регрессия для модели (2)	79,86	213,65	0,000065
Регрессия для модели (3)	141,71	275,17	0,000039

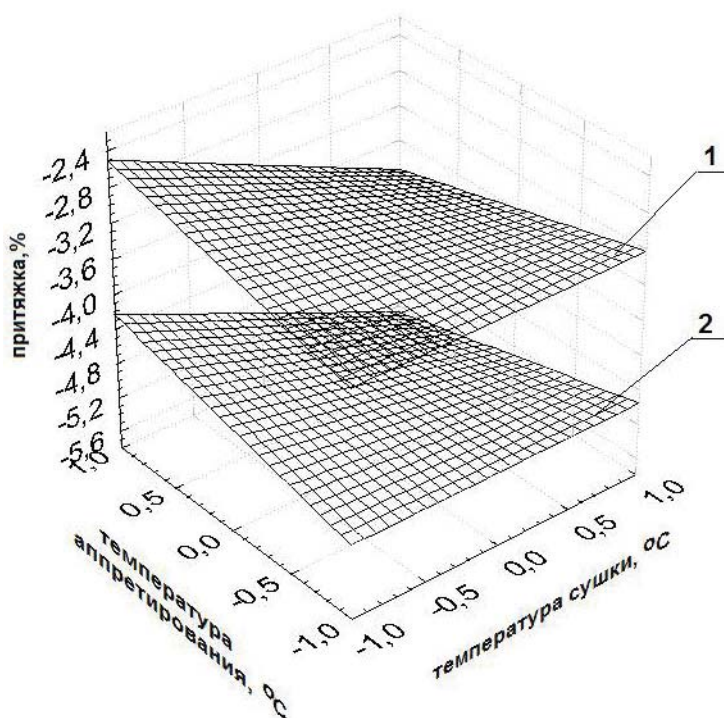


Рисунок 3 – Зависимость притяжки по ширине полуфабриката трикотажного изделия от температурных режимов отделки при концентрации уксусной кислоты: 1 – 7,5 %, 2 – 15 %

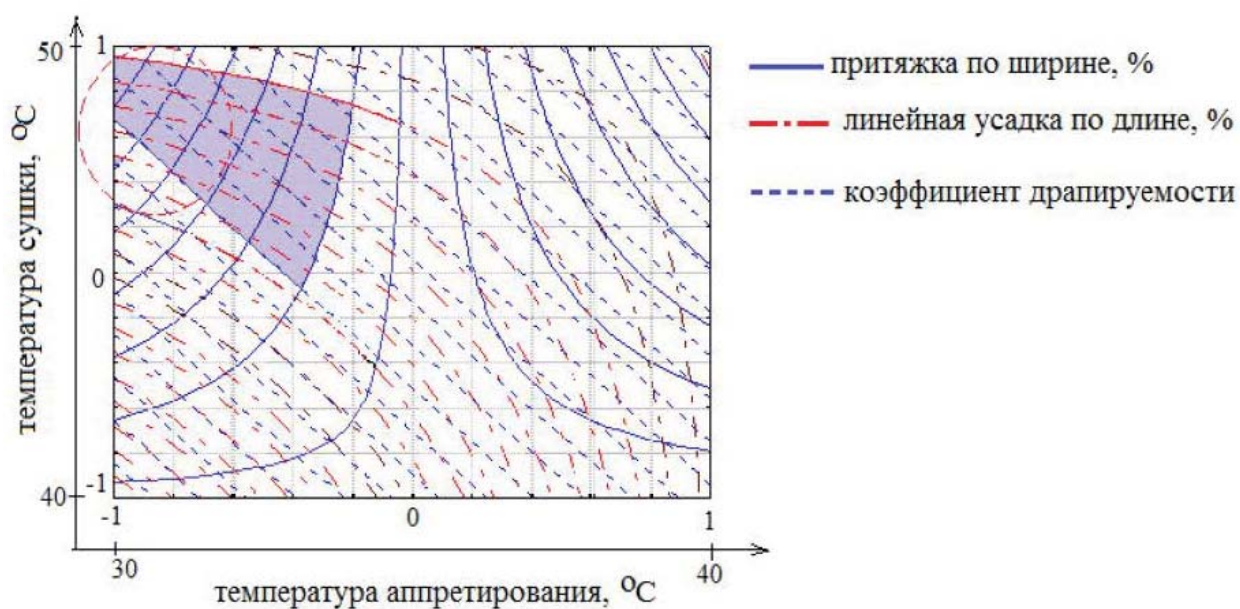


Рисунок 4 – Совмещенный график линий равного уровня при фиксированном значении концентрации уксусной кислоты 7,5 %

Таблица 3 – Физико-механические свойства полуфабрикатов трикотажных изделий из полушерстяной пряжи

Физико-механические свойства полуфабрикатов	Значение	
	До оптимизации	После оптимизации
Коэффициент драпируемости, %	66,8	68,7
Усадка по длине изделия, %	4,2	2,26
Притяжка по ширине изделия, %	-5,8	-2,9
Разрывная нагрузка вдоль петельных столбиков, <b>H</b>	18,32	19,8
Разрывная нагрузка вдоль петельных рядов, <b>H</b>	27,78	28,5

В ходе расчета технико-экономических показателей производства трикотажного изделия выбранного артикула по рациональным параметрам технологического процесса получен экономический эффект по отпускной цене за счет перехода на более дешевое сырье – полушерстяную пряжу производства ОАО «Слонимская КПФ», экономии расхода уксусной кислоты и снижения температуры аппретирования, который составил 0,945 руб. на одно изделие. При среднемесячном выпуске 3192 ед. данной продукции эффект составит – 3015,82 руб.

#### Выводы

В ходе многофакторного планирования эксперимента теоретико-экспериментальным путем получены математические модели взаимосвязи

технологических параметров процесса аппретирования и сушки с основными качественными показателями трикотажных изделий: коэффициентом драпируемости, линейной усадкой по длине и притяжкой по ширине изделия.

В результате проведенных исследований установлены рациональные параметры процесса аппретирования и сушки полуфабрикатов трикотажных изделий из полушерстяной пряжи, осуществляемых на стиральной и сушильной машине: температура аппретирования 30 °C, концентрации уксусной кислоты 7,5 % и температуры сушки 50 °C, позволяющие получать полуфабрикаты трикотажных изделий с улучшенными качественными показателями.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Красина, И.В. (2014), *Химическая технология текстильных материалов*, Казань, КНИТУ, 116 с.
2. Чешкова, А.В. (2008), *Химические технологии и оборудование трикотажного отделочного производства*, Иваново, 113 с.
3. Бузов, Б.А., Алыменкова, Н.Д., Петропавловский, Д.Г. (2003), *Практикум по материаловедению швейного производства*, Москва, Академия, 2003, 416 с.

#### REFERENCES

1. Krasina, I.V. (2014), *Himicheskaja tehnologija tekstil'nyh materialov* [Chemical technology of textile materials], Kazan, 116 p.
2. Cheshkova, A.V. (2008), *Himicheskie tehnologii i oborudovanie trikotazhnogo otdelochnogo proizvodstva* [Chemical technologies and equipment production finishing of knitts], Ivanovo, 113 p.
3. Buzov, B.A., Alymenkova, N.D., Petropavlovski, D.G. (2003), *Praktikum po materialovedeniju*



4. Лукина, Л.А. (2010), Особенности оборудования влажно-тепловой обработки трикотажных изделий, *Электротехнические и информационные комплексы и системы*, 2010, № 3, т.6, С. 53-57.
5. Сичкарь, Т.В., Морозова, Л.В. (2013), Особенности технологического обеспечения качества процесса производства верхнего трикотажа, *Интернет-журнал «Науковедение»*, 2013, вып.6, С. 1-10.
- shvejnogo proizvodstva* [Workshop on materials science sewing production], Moscow, Academy, 416 p.
4. Lukina, L.A., (2010), The features of the damp-thermal equipment of knitted goods [Osobennosti oborudovanijavlazhno-teplovobjabotkitrikotazhnyhizdelij], *Jelektrotehnicaske i informacionnye komplekxy i sistemy - Electrical and information complexes and systems*, 2010, № 3, vol.6, pp. 53-57.
5. Sichkar, T.V., Morozova, L.V. (2013), Technological features ensure the quality of the production process of the top jersey [Osobennosti tehnologicheskogo obespechenija kachestva processa proizvodstva verhnego trikotazha], *Internet-zhurnal «Naukovedenie» – Online Magazine «Management science»*, 2013, release 6, pp. 1-10.

Статья поступила в редакцию 23. 02. 2017 г.

## ПОВЫШЕНИЕ СТЕПЕНИ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ВОЛОКНИСТОГО ПОКРЫТИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ СТЕРЖНЕВОГО КОМПОНЕНТА АРМИРОВАННОЙ НИТИ

### THE WAYS OF SOLVING THE PROBLEM OF REINFORCED THREAD ROD COMPONENT SLIDING ALONG THE FIBROUS COATING

**Н.В. Ульянова, Д.Б. Рыклин\***

*Витебский государственный технологический университет*

УДК 677.072:687.023

**N. Ulyanova, D. Ryklin\***

*Vitebsk State Technological University*

#### РЕФЕРАТ

*АРМИРОВАННАЯ ПОЛИЭФИРНАЯ НИТЬ, ПОЛИЭФИРНОЕ ВОЛОКНО, КРУТКА, УКРУТКА, НЕРОВНОТА, ШВЕЙНЫЕ НИТКИ*

*Объект исследований – полиэфирные армированные нити линейной плотности 16,7 текс для швейных ниток ЛЛ и технологические процессы их производства.*

*Использованные методы – спектральный анализ неровноты продуктов прядения, методы математического планирования эксперимента и статистической обработки данных.*

*Результаты работы – определены направления повышения качества армированных нитей для швейных ниток торгового номера 35 ЛЛ.*

*Область применения результатов – текстильная промышленность.*

*Выводы – в результате выполненной работы определена сила нормального давления волокон оплетки на стержневой компонент армированной нити и сила трения, возникающая между комплексной нитью и покрытием в структуре армированной нити. Определена сила сопротивления волокон покрытия смещению при трении нити о нитепроводник.*

*Установлено влияние неровноты по линейной плотности покрытия на степень закрепления оплетки на поверхности комплексной нити. Получена зависимость удельной силы трения, возникающей между волокнами покрытия и комплексной нитью в слоях оплетки армированной нити линейной плотности 16,7 текс от нормированного значения линейной плотно-*

#### ABSTRACT

*CORE-SPUN POLYESTER YARNS, POLYESTER FIBER, TWIST, TWIST CONTRACTION, EVENNESS, SEWING THREADS*

*The work aimed at improving the quality indicators reinforced sewing thread LL.*

*As result of the work done, the force of normal pressure of the braid fibers on the core component of the reinforced yarn is determined. The frictional force between the complex filament and the coating in the structure of the reinforced yarn is calculated. The force of resistance of the coating fibers to the misalignment of the filament is calculated from the thread.*

*The influence of unevenness on the linear density of the coating on the degree of fastening of the braid on the surface of the complex filament is established. The dependence of the specific frictional force arising between the coating fibers and the complex filament in the braiding layers of the reinforced 16.7 tex fiber of the normalized value of the linear density of the filament is obtained. The nominal linear density of the filament is calculated in the most thinned place, taking into account the deviation of the linear density in the smaller direction.*

\* E-mail: ryklin-db@rambler.ru (D. Ryklin)

сти нити. Рассчитана нормированная линейная плотность нити в наиболее утоненном месте с учетом отклонения линейной плотности в меньшую сторону.

При широком ассортименте швейных ниток, представленном на рынке, наиболее перспективными являются армированные полиэфирные нитки, получившие торговое обозначение ЛЛ (лавсан-лавсановые). Однако при всех преимуществах данного вида ниток им свойственен дефект – наличие участков, на которых волокна покрытия слабо закреплены на поверхности комплексных нитей в структуре одиночных армированных нитей, предназначенных для производства швейных ниток ЛЛ.

Вследствие этого определение способов устранения указанного дефекта является актуальной научно-практической задачей, на решение которой направлены исследования, представленные в данной статье.

Объектом исследований в работе являлись армированные полиэфирные нити линейной плотности 16,7 текс, применяемые для производства швейных ниток торгового обозначения 35 ЛЛ.

Ранее в ходе проведенных исследований [1] было установлено влияние таких факторов, как состав компонентов в армированной нити, количество и характер расположения волокон в покрытии сердечника, крутки нити на степень закрепления оплетки на комплексной нити. При этом было выдвинуто предположение о том, что сползание обкручивающего компонента вдоль стержневой нити возможно в том случае, если при огибании армированной нитью рабочих органов технологического оборудования на волокна действует сила трения большая, чем сила трения между комплексной нитью и волокнистым покрытием.

Взаимодействие волокон покрытия со стержневым компонентом в структуре армированной нити рассматривалось на основе гипотезы о том, что волокна покрытия располагаются в виде концентрических слоев вокруг комплексной нити, то есть оси волокон представляют собой спирали постоянного радиуса.

Сила трения между волокнами и комплексной

нитью зависит от силы нормального давления на единицу длины одного волокна в слоях покрытия армированной нити  $q_{Ci}$  в  $\text{H/мм}$ , которое для волокон  $i$ -того слоя в работе [1] рассчитывалось по формуле

$$q_{Ci} = \frac{\left( K_y \sqrt{1 + (\pi d_{APMH} \cdot K)^2} - 1 \right) \cdot E \cdot S \cdot \sin^2 \beta_{Ci}}{r_{Ci}}, \quad (1)$$

где  $K_y$  – коэффициент укрутки армированной нити;  $d_{APMH}$  – диаметр армированной нити,  $\text{мм}$ ;  $K$  – крутка армированной нити,  $\text{кр./м}$ ;  $E$  – средний модуль продольной упругости полиэфирного волокна,  $\text{H/мм}^2$ ;  $S$  – площадь поперечного сечения полиэфирного волокна,  $\text{мм}^2$ ;  $\beta_{Ci}$  – угол наклона волокна к оси нити в  $i$ -том слое,  $\text{град}$ ;  $r_{Ci}$  – расстояние от оси волокна до оси стержня в  $i$ -том слое,  $\text{мм}$ .

Установлено, что при формировании армированной нити комплексная нить испытывает силу нормального давления на единицу длины со стороны слоев волокон, равную  $0,332 \text{ H/мм}$ .

Предположено, что сползание покрытия вдоль стержня возможно в том случае, если при огибании армированной нитью рабочих органов оборудования на волокна действует сила трения большая, чем удельная сила трения  $G$ , возникающая между волокнами покрытия и комплексной нитью, соответствующая значению  $0,12 \text{ H/мм}$ :

$$G = q_{KH} \cdot f, \quad (2)$$

где  $f$  – коэффициент трения волокна о волокно (для полиэфирных волокон коэффициент  $f$  составляет  $0,31 \div 0,42$ ) [2], для расчетов принимаем  $f = 0,37$ .

Однако в расчетах не учитывалась неровнота волокнистого покрытия по линейной плотности армированной нити. Тем не менее при формировании армированной нити данный фактор необ-

ходимо учитывать, так как неровнота покрытия оказывает влияние на линейную плотность нити, на прочность закрепления оплетки и, как следствие, на равномерность распределения волокон вдоль стержневого ее компонента.

Влияние нормированной линейной плотности участка армированной нити на удельную силу трения между покрытием и комплексной нитью в слоях оплетки армированной нити линейной плотности 16,7 текс графически представлено на рисунке 1.

На рисунке 1  $\tau$  – нормированное значение линейной плотности участка армированной нити, определяемое отношением:

$$\tau = T_{АРМН} / \sqrt{T_{АРМН}}, \quad (3)$$

где  $T_{АРМН}$  – линейная плотность участка армированной нити, текс;  $T_{АРМН}$  – средняя линейная плотность армированной нити, текс.

Следует отметить, что точкой **A** на графике обозначено нормированное значение номинальной линейной плотности армированной нити (16,7 текс в натуральном выражении). Точка

**B** соответствует фактическому значению номинальной линейной плотности нити в наиболее утоненном месте с учетом отклонения линейной плотности в меньшую сторону на 25 % (12,5 текс в натуральном выражении).

Можно отметить, что зависимость содержит два прямолинейных участка:

1) участок, на котором  $\tau \leq 0,88$ , характеризуется неполным покрытием стержневой комплексной нити волокном;

2) участок, на котором  $\tau \geq 0,88$ , характеризуется наличием как минимум одного полного слоя волокон, покрывающих комплексную нить.

При этом нормированное значение линейной плотности армированной нити равное 0,88 в натуральном значении, соответствует ее линейной плотности 14,7 текс.

Наглядно видно, что с повышением нормированного значения линейной плотности армированной нити увеличивается удельная сила трения между волокнами оплетки и стержневым компонентом в ее структуре, что обеспечивает более прочное закрепление покрытия на комплексной нити.

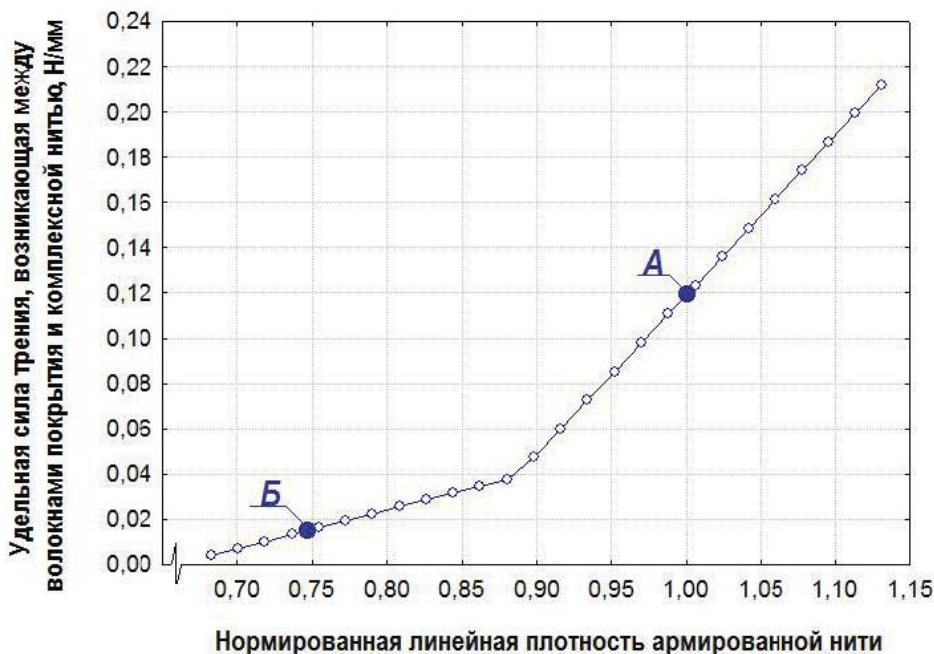


Рисунок 1 – Влияние нормированного значения линейной плотности участка армированной нити на удельную силу трения между покрытием и комплексной нитью

В результате обработки экспериментальных данных, получена зависимость удельной силы трения между волокнами покрытия и комплексной нитью в слоях оплетки армированной нити линейной плотности 16,7 текс от нормированного значения линейной плотности нити, которая имеет вид:

$$\begin{cases} G = 0,168 \cdot \tau - 0,111, & \text{если } \tau \leq 0,88, & (4) \\ G = 0,711 \cdot \tau - 0,589, & \text{если } \tau \geq 0,88, & (5) \end{cases}$$

Так как коэффициент детерминации  $R^2 > 0,95$  ( $R^2 = 0,98$ ) для данной системы уравнений, то полученную зависимость можно считать адекватной.

С учетом фактической неровноты по линейной плотности армированной нити можно отметить следующее. При уменьшении нормированного значения линейной плотности армированной нити до минимального значения 0,75 происходит снижение силы трения между покрытием и комплексной нитью примерно в 8 раз по сравнению с аналогичным показателем в армированной нити линейной плотности 16,7 текс.

Таким образом, одним из направлений повышения прочности закрепления волокнистого покрытия на поверхности комплексной нити является снижение неровноты покрытия по линейной плотности армированной нити.

Для выявления возможности сползания покрытия вдоль стержневого компонента в процессе формирования армированной нити определены значения силы трения, возникающей при ее взаимодействии с деталями кольцевой прядильной машины.

С целью определения силы трения армированной нити о нитепроводник, оказывающей сопротивление ее продвижению в процессе формирования, выполнялся расчет натяжения нити в вершине баллона ( $P$ ) по формуле, предложенной в работах И. И. Мигушова [3].

Сила трения армированной нити о нитепроводник  $F_p, H$ , рассчитывалась с учетом формулы Л. Эйлера:

$$F_i = P \cdot (1 - e^{-\mu\varphi}) = T_{АРМН} \cdot 10^{-6} \cdot \omega_6^2 \cdot \left\{ R_M^2 + \left[ \frac{H_6}{\arcsin\left(\frac{R_K}{R_M}\right)} \right]^2 \right\} \cdot (1 - e^{-\mu\varphi}), \quad (6)$$

где  $T_{АРМН}$  – линейная плотность армированной нити, текс;  $\omega_6$  – угловая скорость бегунка,  $c^{-1}$ ;  $H_6$  – высота баллона,  $m$ ;  $R_K$  – радиус кольца,  $m$ ;  $R_M$  – максимальный радиус баллона,  $m$ ;  $\mu$  – коэффициент трения нити о нитепроводник;  $\varphi$  – угол обхвата нитью нитепроводника,  $рад$ .

Угол обхвата нитью нитепроводника  $\varphi$  в радианах, определялся как:

$$\varphi = \varphi_1 + (90 - \varphi_2) . \quad (7)$$

Для угла наклона армированной нити к горизонту до нитепроводника  $\varphi_1$  в радианах применялась формула [4, с. 139, формула (III.11)]:

$$\varphi_1 = \arcsin \frac{Ar + H \sqrt{A^2 + H^2 - r^2}}{A^2 + H^2} , \quad (8)$$

где  $A$  – расстояние от середины нитепроводника до оси переднего цилиндра вытяжного прибора (горизонтально) замерялось на прядильной машине, для расчетов принималось  $A = 75 \text{ мм}$ ;  $r$  – радиус переднего цилиндра вытяжного прибора составляет  $12,5 \text{ мм}$ ;  $H$  – расстояние от нитепроводника до оси переднего цилиндра вытяжного прибора (вертикально),  $мм$ .

Параметры формы баллона определялись по фотографиям, полученным при формировании различных участков прядильного початка (рисунок 2).

Для оценки возможности смещения волокнистого покрытия вдоль комплексной нити в структуре армированной нити при трении ее о нитепроводник определена сила сопротивления покрытия смещению ( $F_2$ ), по следующей предложенной формуле:

$$F_2 = G \cdot \frac{l_B \cdot \left( 1 - \frac{H \cdot T_B}{T_{ВП}} \right)}{2} , \quad (9)$$

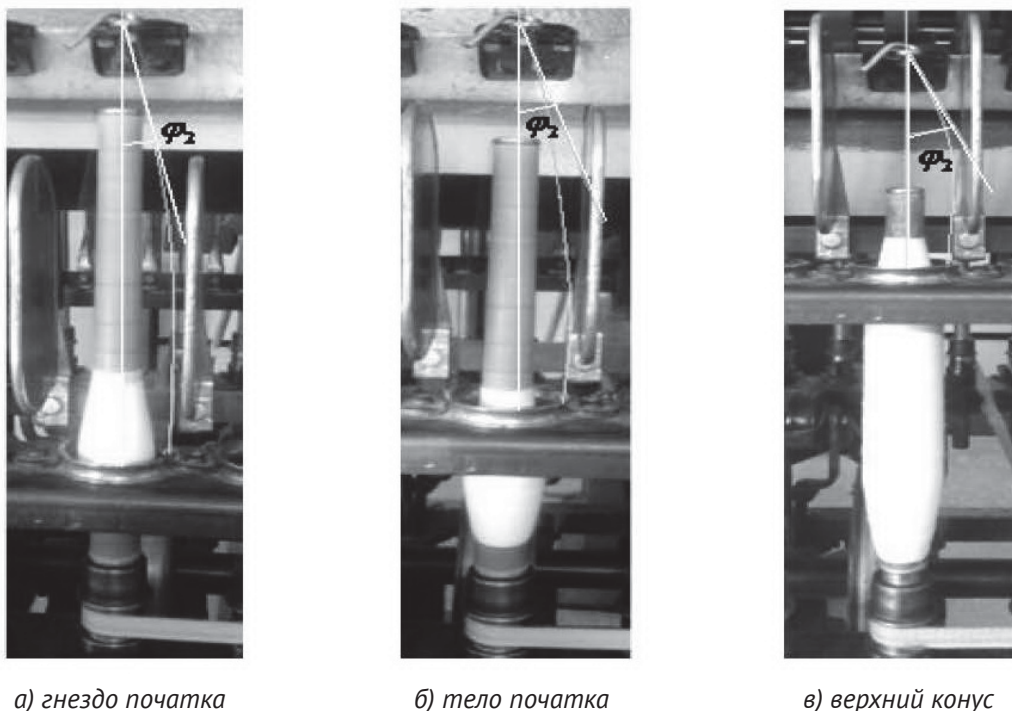


Рисунок 2 – Фотографии баллонирующей армированной нити при разных условиях наработки прядильного початка

где  $l_B$  – длина волокна, мм;  $H$  – ворсистость армированной нити;  $T_B$  – линейная плотность волокна, текс.

В результате расчетов установлено, что сила сопротивления смещению участка покрытия средней линейной плотности составила 2,1  $H$ . Из анализа расчетных значений силы трения армированной нити о нитепроводник (рисунок 3) следует, что сила сопротивления волокон покрытия смещению существенно превышает силу трения нити о нитепроводник в процессе наработки початка, что исключает возможность сползания волокнистого покрытия.

Однако представленный расчет выполнялся для армированной нити средней линейной плотности линейной плотности 16,7 текс. В реальных условиях при формировании армированной нити неизбежна неровнота покрытия по линейной плотности, которая влияет на общее число в нем волокон. Уменьшение числа волокон в покрытии ведет к снижению силы трения между компонентами в армированной нити. Это в свою очередь влияет на степень закрепления волокнистого покрытия на поверхности

стержневой нити, приводящее впоследствии к сползанию оплетки. В связи с этим стала задача рассчитать минимальную линейную плотность армированной нити.

Рассмотрим случай, когда в процессе наработки армированной нити линейной плотности 16,7 текс на участке контакта ее с нитепроводником сила трения о нитепроводник  $F_1$  будет равна минимальной удельной силе трения между волокнами покрытия и комплексной нитью  $G_{min}$ , то есть будет выполняться условие:

$$F_1 = F_{2min} = G_{min} \cdot \bar{L}. \quad (10)$$

Выразим минимальную удельную силу трения между покрытием и комплексной нитью в структуре армированной нити:

$$G_{min} = \frac{F_1}{L}. \quad (11)$$

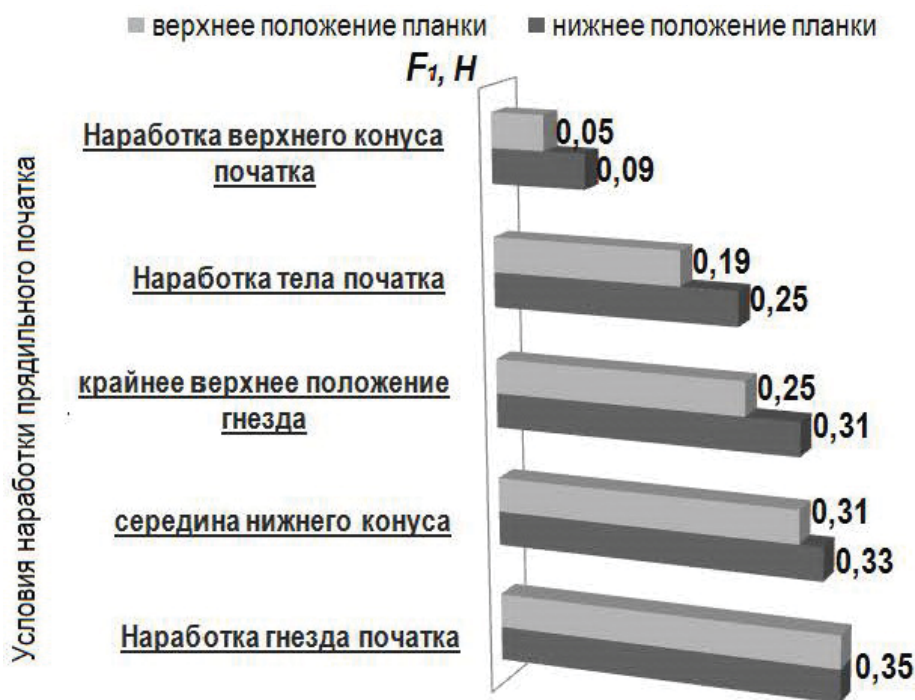


Рисунок 3 – Расчетные значения силы трения армированной нити о нитепроводник

Для расчета номинальной линейной плотности нити в наиболее утоненном месте с учетом отклонения линейной плотности в меньшую сторону армированной нити линейной плотности 16,7 текс применим ранее полученную зависимость (4).

Для определенной минимальной удельной силы трения между волокнами покрытия и комплексной нитью можно рассчитать следующие значения параметров: нормированную минимальную линейную плотность армированной нити; отклонение линейной плотности армированной нити; минимальную линейную плотность армированной нити; отклонение минимальной линейной плотности армированной нити от среднего значения (таблица 1).

Анализируя представленные в таблице 1 данные, можно отметить, что наибольшая вероятность сползания волокнистого покрытия вдоль стержневого компонента армированной нити возникает при нижнем положении кольцевой планки.

По гистограмме отклонения масс отрезков, представленной на рисунке 4, видно, что отклонение линейной плотности покрытия в меньшую

сторону для армированных нитей средней линейной плотности 16,7 текс составляет 25 % или 4,2 текс. Тогда минимальная линейная плотность армированной нити с учетом неровноты равна  $16,7 - 4,2 = 12,5$  текс.

Анализируя полученные результаты, можно отметить, что вероятность сползания волокнистого покрытия вдоль комплексной нити в структуре армированной нити с учетом неровноты по линейной плотности возможна на этапе наработки гнезда прядильного початка, при отклонении линейной плотности армированной нити в меньшую сторону на 22–25 %. По гистограмме отклонений масс отрезков опытного варианта армированной нити, представленной на рисунке 4, видно, что слабое закрепление волокон на поверхности комплексной нити, возможно, менее чем на 1 % участков армированной нити, в связи с чем на следующем этапе работы необходимо проведение работ, направленных на полное устранение причин их возникновения.

Аналогичным путем определено натяжение армированной нити у бегунка. Установлено, что при минимальной линейной плотности покрытия на данном участке вероятность его сполза-

Таблица 1 – Расчетные значения параметров

Условия наработки прядильного початка		Минимальная удельная сила трения между волокнами покрытия и комплексной нитью $G_{min}, Н/мм$	Нормированная минимальная линейная плотность армированной нити $\tau_{min}, \text{текс}$	Отклонение линейной плотности армированной нити $\Delta, \text{текс}$	Минимальная линейная плотность армированной нити $T_{ARM min}, \text{текс}$	Отклонение минимальной линейной плотности армированной нити от среднего значения, %
<b>Наробotka гнезда початка</b>						
<b>Крайнее нижнее положение гнезда (нижний конус) (точка <math>O_1</math>)</b>						
Положение планки	нижнее	0,020	13,0	3,7	14,7	-22
<b>Середина нижнего конуса (точки <math>O_2, O_3</math>)</b>						
Положение планки	нижнее	0,019	12,9	3,8	14,8	-23
	верхнее	0,017	12,8	3,9	14,9	-24
<b>Крайнее верхнее положение гнезда (конец наматывания гнезда) (точки <math>O_4, O_5</math>)</b>						
Положение планки	нижнее	0,017	12,8	3,9	14,9	-24
	верхнее	0,014	12,5	4,2	15,2	-25
<b>Наробotka тела початка (точки <math>O_6, O_7</math>)</b>						
Положение планки	нижнее	0,014	12,4	4,3	15,3	-26
	верхнее	0,011	12,1	4,6	15,6	-28
<b>Наробotka верхнего конуса початка (точки <math>O_8, O_9</math>)</b>						
Положение планки	нижнее	0,005	11,6	5,1	16,1	-31
	верхнее	0,003	11,3	5,4	16,4	-32

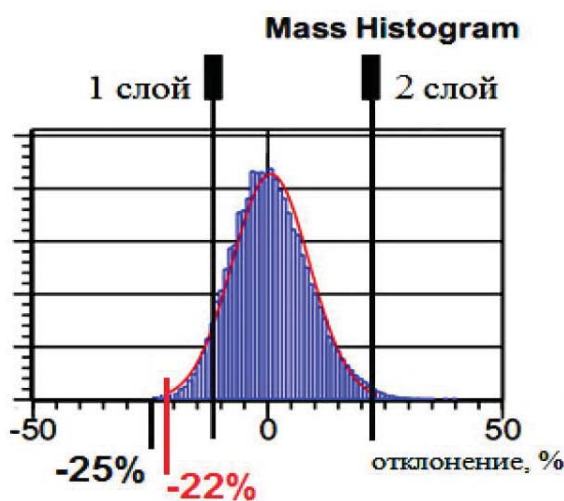


Рисунок 4 – Гистограмма отклонения масс отрезков армированной нити 16,7 текс, полученная в результате тестирования на приборе UsterTester 5



ния вдоль комплексной нити исключается.

Таким образом, проведенные исследования позволили выявить следующие направления повышения прочности закрепления покрытия на поверхности комплексной нити в структуре армированной нити:

- снижение неровноты волокнистого покрытия по линейной плотности;
- повышение коэффициента трения между волокнами покрытия и комплексной нитью.

Снижение неровноты волокнистого покрытия по линейной плотности армированной нити было достигнуто путем обработки исходного сырья и вырабатываемых нитей текстильно-вспомогательными веществами [5]. Это способствовало выравниванию силы трения по длине волокон и нитей, повысило сцепляемость между волокнами покрытия и комплексной нитью, а также улучшило качество поверхности нити.

По гистограмме, представленной на рисунке 5, установлено, что отклонение линейной плотности армированной нити в меньшую сторону составило 20 % от среднего значения.

Доказано, что проведенные мероприятия полностью исключают вероятность сползания покрытия в процессе формирования армированных полиэфирных нитей. По результатам тестирования армированных нитей также можно

отметить, что на их поверхности на 77 % сократилось число крупных непсов (+200 %), а число непсов (+280 %) уменьшилось в 2,25 раза. Существенно снизилась ворсистость нитей с 5,34 до 3,88 [6].

Уменьшение линейной плотности волокон покрытия также оказывает влияние на снижение неровноты волокнистого покрытия по линейной плотности и на трение волокон и нитей. Однако волокна малой линейной плотности в Беларуси не производятся, что не позволяет реализовать данное направление. При этом выпуск полиэфирных волокон меньшей линейной плотности может быть рекомендован текстильным предприятиям в качестве перспективного сырья.

Сформированные одиночные армированные полиэфирные нити были переработаны в ассортимент швейных ниток торгового номера 35 ЛЛ (таблица 2).

Для оценки пошивочных свойств армированных швейных ниток торгового номера 35 ЛЛ была осуществлена их промышленная апробация. Специалисты-технологи отмечают, что швейные нитки указанной структуры по технологическим свойствам удовлетворяют требованиям предприятий швейной промышленности, обеспечивают качественное ниточное соединение, низкую обрывность ниток и пригодны

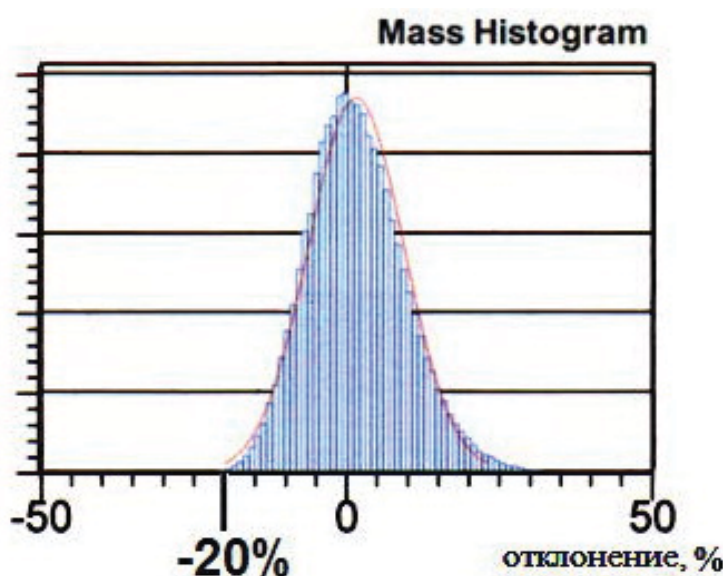


Рисунок 5 – Гистограмма отклонений масс отрезков армированных нитей линейной плотности 16,7 текс

Таблица 2 – Показатели качества армированных швейных ниток 35 ЛЛ

Наименование параметра	Фактические значения	Требования ГОСТ 6309-93 [7]
Фактическая линейная плотность, текс	36,0	34,5 ± 6
Разрывная нагрузка, <i>cH</i>	1596	не менее 1450
Относительное удлинение при разрыве, %	19,0	не более 22,0
Коэффициент вариации по разрывной нагрузке, %	3,9	не более 7,5
Неравномерность ниток	2,1	не более 3 витков

для пошива широкого ассортимента швейных изделий из различного ассортимента текстильных материалов на высокоскоростном швейном оборудовании.

Таким образом, в результате выполненной работы определено, что существенное влияние на закрепление волокнистого покрытия на стержневой нити оказывает его неровнота по линейной плотности, а также условия формирования армированной нити. Примененный подход может быть использован при разработке технологических процессов производства комбинированных нитей различных структур.

#### ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований предложено математическое описание структуры одиночной армированной нити для изготовления швейных ниток ЛЛ, позволившее рассчитать силу давления полиэфирных волокон покрытия на комплексную нить, определяющую сопротивление волокон смещению вдоль армированной полиэфирной нити на различных ее участках в процессе формирования на кольцевой прядильной машине и переработки в крутильно-ниточном производстве.

Разработан метод расчета минимального количества волокон в сечении покрытия армированной полиэфирной нити, обеспечивающего надежное закрепление волокон на поверхности комплексной нити, что предотвращает их сползание и образование местных пороков в процессе производства армированных швейных ниток ЛЛ.

Установлено, что для предотвращения сползания волокнистого покрытия вдоль стержневого компонента армированной нити в процессе ее формирования целесообразно осуществлять работы, направленные на снижение неровноты покрытия по линейной плотности и на повышение коэффициента трения между волокнами покрытия и комплексной нитью.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ульянова, Н.В., Рыклин Д.Б., Коган, А.Г. (2015), Влияние основных факторов на связь и распределение полиэфирных волокон оплетки на синтетическом стержне армированной нити, *Известия Вузов. Технология легкой промышленности*, 2015, № 2, С. 43–48.
2. Кукин, Г.Н., Соловьев, А.Н., Кобляков, А.И. (1989), *Текстильное материаловедение (волокна и нити)*, Москва, 352 с.
3. Мигушов, И.И. (1980), *Механика текстильной нити и ткани*, Москва, 160 с.
4. Усенко, В.А. (1987), *Производство крученых и текстурированных химических нитей (теория процессов, технология кручения и текстурирования химических нитей, оборудование)*, Москва, 352 с.
5. Ульянова, Н.В., Рыклин Д.Б. (2015), Освоение новых текстильно-вспомогательных веществ для повышения качества армированных швейных ниток, *Известия Вузов. Технология легкой промышленности*, 2015, № 4, С. 83–88.
6. Uster Statistics. Application Handbook Textile Technology (2013), Uster, 210 с.
7. ГОСТ 6309-93. Нитки швейные хлопчатобумажные и синтетические. Технические условия – Введ. 1996 – 01 – 01.

## REFERENCES

1. Ulyanova, N.V., Ryklin, D.B., Kogan, A.G. (2015), Influence of main factors on the communication and distribution of polyester fiber braid on a synthetic rod reinforced thread [Vlijanie osnovnykh faktorov na svjaz' i raspredelenie polijefirnykh volokon opletki na sinteticheskom sterzhne armirovannoj niti], *Izvestija vysshikh uchebnykh zavedenij. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti – Proceedings of higher education institutions. Textile industry technology*, 2015, № 2, pp. 43–48.
2. Kukin, G.N., Soloviev, A.N., Koblyakov, A.I. (1989), *Tekstil'noe materialovedenie (volokna i niti)* [Textile material science (fiber and yarn)], Moscow, 352 p.
3. Megushow, I.I. (1980), *Mehanika tekstil'noj niti i tkani* [Mechanics of a textile thread and fabric], Moscow, 160 p.
4. Usenko, V.A. *Proizvodstvo kruchenykh i teksturirovannykh himicheskikh nitej (teorija processov, tehnologija kruchenija i teksturirovaniya himicheskikh nitej, oborudovanie)* [Production of twisted and textured filament yarn (the theory of processes, technology and torsion texturing filaments, equipment)], Moscow, 352 p.
5. Ulyanova, N.V., Ryklin, D.B. (2015), Development of new textile auxiliaries for improving the quality of reinforced sewing thread [Osvoenie novykh tekstil'no-vspomogatel'nykh veshhestv dlja povyshenija kachestva armirovannykh shvejnykh nitok], *Izvestija vysshikh uchebnykh zavedenij. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti – Proceedings of higher education institutions. Textile industry technology*, 2015, № 4, pp. 83–88.
6. Uster Statistics. Application Handbook Textile Technology (2013), Uster, 210 с.
7. Standard 6309-93. *Nitki shvejnye hlopchato-bumazhnye i sinteticheskie. Tehnicheskie uslovija* [Cotton and synthetic threads for sewing. Specifications], Vved. 1996 – 01 – 01.

Статья поступила в редакцию 03. 03. 2017 г.

## СОЗДАНИЕ БИОСТОЙКОЙ ЗАМАСЛИВАЮЩЕЙ КОМПОЗИЦИИ

## CREATING BIOLOGICAL STABILITY OF THE SIZING COMPOSITION

**А.А. Арашкова<sup>1\*</sup>, И.А. Гончарова<sup>1</sup>,  
Е.С. Посканная<sup>2</sup>, В.Н. Сакевич<sup>3</sup>,  
А.М. Тригубович<sup>1</sup>, Т.В. Шарич<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Институт микробиологии Национальной академии наук Беларуси

<sup>2</sup> Витебское отделение филиала «Энергосбыт» РУП «Витебскэнерго»

<sup>3</sup> Витебский государственный технологический университет

УДК 677.042.23

**A. Arashkova<sup>1\*</sup>, I. Goncharova<sup>1</sup>,  
E. Poskannaja<sup>2</sup>, V. Sakevich<sup>3</sup>,  
A. Trigubovich<sup>1</sup>, T. Sharich<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus

<sup>2</sup> Vitebsk office of «Energosbyt» Affiliate of RUE «Vitebskenergo»

<sup>3</sup> Vitebsk State Technological University

### РЕФЕРАТ

**СИНТЕТИЧЕСКИЕ ВОЛОКНА, ЗАМАСЛИВАТЕЛЬ, БИОПОВРЕЖДЕНИЕ, МИКРОМИЦЕТЫ**

*Работа посвящена созданию биостойкой безжировой замасливающей композиции IS-2 для химических волокон.*

*Цель работы – обеспечение длительного защитного эффекта химических волокон от плесневого поражения.*

*Изучение закономерностей роста микромицетов, принадлежащих различным родам среде Чапека-Докса с 1 % замасливающей композиции IS-2 в качестве единственного источника углерода показало, что в составе замасливателя есть компоненты, которые могут служить питательным субстратом для развития плесневых грибов *Aspergillus niger*, *aureobasidium pullulance*, *penicillium chrysogenum*, *Trichoderma viride*.*

*При выборе фунгицидной добавки для придания композиции замасливателя способности подавлять жизнедеятельность плесневых грибов выявлена высокая стабильность эмульсии после испытания согласно ГОСТ 29188.3 при добавлении четвертичных аммониевых соединений и эфиров *p*-оксибензойной кислоты.*

*Установлено, что высокую грибостойкость*

### ABSTRACT

**SYNTHETIC FIBRES, SIZE, BIODETERIORATION, MICROMYCETE**

*Work is devoted to creation of the biostable, fat-free sizing composition IS-2 for chemical fibers.*

*The aim is to ensure long-term protective effect of chemical fibers from the mold defeat.*

*The study of behavior of micromycete growth which belong to different species in medium of Czapek-Dox with 1 % of sizing composition IS-2 as the sole carbon source showed that there are components in the sizing that can serve as nutrient substrate for the development of fungi *Aspergillus niger*, *aureobasidium pullulance*, *penicillium chrysogenum*, *Trichoderma viride*.*

*When choosing a fungicide additive in order to give the composition a lubricant's ability to suppress the vital activity of fungi a high stability of the emulsion was revealed during the testing in accordance with GOST 29188.3 by adding quaternary ammonium compounds and esters of *p*-hydroxybenzoic acid.*

*It is found that propyl *p*-hydroxybenzoate in a concentration of 0,2 % provides a high fungal resistance of 10 % to aqueous sizing solution IS-2 according to the results of testing by the method 4 of GOST 9.052.*

\* E-mail: sorbic@bio.bas-net.by (A. Arashkova)

*10 % водному раствору замасливателя IS-2, согласно результатам тестирования по методу 4 ГОСТ 9.052, придает пропиловый эфир п-оксibenзойной кислоты в концентрации 0,2 %.*

## ВВЕДЕНИЕ

Для улучшения технологических процессов как производства химических волокон, так и выработки нетканого полотна необходимо применять замасливатели и антистатики различной химической природы. В текстильном производстве используются замасливатели как в концентрированном виде, так и в виде эмульсий [1].

Адсорбционный слой замасливателя, образующийся на поверхности химических волокон, обеспечивает способность текстильного материала к переработке, в частности, снижает коэффициент трения и электризацию. Замасливатели оказывают существенное влияние на скорости проведения технологических процессов и потребительские свойства химических волокон [2].

По назначению замасливатели для производства, в частности, синтетических волокон можно разделить на два основных вида: замасливатели для формования нитей и расплава полимера (прядельные замасливатели) и финишные замасливатели, наносимые на готовую нить. Основное назначение прядельных замасливателей – обеспечить безобрывное протекание процесса формования, вытягивания и текстурирования нити, качественную и устойчивую намотку невытянутой нити, а основное назначение финишных замасливателей – обеспечить оптимальную перерабатывающую способность готовых нитей у потребителей [3].

Для достижения наилучшего результата при обработке волокон используют замасливатели, представляющие собой многокомпонентные системы, включающие натуральные и искусственные масла, эмульгаторы и антистатические вещества, а также эффективные добавки, улучшающие свойства волокон и обеспечивающие удаление вышеперечисленных веществ перед отделкой [4].

Большинство используемых на практике текстильных вспомогательных веществ пред-

ставляют собой не индивидуальные ПАВ, а композиционные препараты на их основе. Необходимость создания таких препаратов обусловлена сложной физико-химической природой и многостадийностью отделочных процессов. В состав таких композиций входят хорошо сочетающиеся друг с другом компоненты, которые либо действуют аддитивно или синергически на одной стадии процесса, либо активизируются на различных его стадиях [5].

В связи с совершенствованием производства волокон, появлением новых видов оборудования для выработки нетканых полотен, производители предъявляют к замасливателям повышенные требования. Замасливатель должен равномерно покрывать поверхность пряжи и частично проникать в глубь нити, не снижать разрывной нагрузки волокна и не затруднять отбелку и крашение, легко удаляться из ткани промывкой водой без применения специальных растворителей, а материалы для приготовления замасливателей должны быть дешевыми и недефицитными, не быть токсичными и не вызывать коррозии металлических деталей текстильных машин, не застывать, не быть липкими и вязкими, не давать осадка и не сыпаться в процессе ткачества, не изменять окраску цветных основ [6].

Химические волокна в отличие от натуральных не имеют своей постоянной и определенной микрофлоры, но при определенных условиях эксплуатации способны подвергаться воздействию микроорганизмов. В биодеструкции текстильных материалов основное участие могут принимать наиболее распространенные виды микроорганизмов, отличающиеся повышенной адаптивностью [7].

Особое место в процессах биоповреждения занимают грибы и грибообразные организмы микроскопических размеров (микромикеты), для которых характерна высокая адаптационная способность, широкая амплитуда их измен-

чивости, возникновение новых форм (мутации) и приспособление к экстремальным условиям среды. Микромицеты-деструкторы, образуя очаги плесневого поражения, воздействуя на структуру волокон, снижают их свойства. На процесс биоповреждения определенное влияние оказывают красители, присутствующие в текстильном материале, снижая или повышая скорость биодеструкции волокнообразующего полимера [8].

Для эффективной борьбы с плесневым поражением разработана целая система мероприятий, включающая применение химических средств защиты. Для борьбы с плесневыми грибами чаще всего используется термин «фунгициды» – средства для уничтожения грибов. Большинство фунгицидов изначально действуют фунгистатично (то есть останавливают либо притормаживают рост грибов), и только после стабильного воздействия на грибок эффект становится фунгицидным (то есть грибы полностью уничтожаются). Тип воздействия препарата – фунгицидный либо фунгистатический, зависит от концентрации. Для обеспечения длительного защитного эффекта биоциды добавляют непосредственно в материалы [9].

#### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Основой для замамливающей композиции служил замамливатель **IS-2**, включающий метиловый эфир жирных кислот; неонол АФ 9-12; олеиновую кислоту. При смешении указанных компонентов посредством ультразвуковой обработки до достижения однородной массы образуется эмульсол, при растворении которого в воде образуются устойчивые прямые микроэмульсии (типа «масло в воде»).

Задача исследований заключается в подборе средства для уничтожения грибов и его концентрации для добавления в эмульсол с целью получения защитного эффекта от биоповреждений химических волокон и сохранения устойчивости эмульсии (замамливателя).

#### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для исследования подверженности замамливателя **IS-2** плесневому поражению использовали микромицеты *Alternaria alternata*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus versicolor*, *aureobasidium pullulans*, *penicillium chrysogenum*, *Trichoderma viride*, выделенные ранее из очагов плесневого пораже-

ния современных строительных материалов и поддерживаемые в коллекции группы по биоповреждениям Института микробиологии НАН Беларуси на стандартных средах с глюкозой или сахарозой.

Споры грибов брали с поверхности колоний чистых культур стерильными гигиеническими ватными палочками и высевали на поверхность питательной среды четырьмя диаметральными штрихами.

Для приготовления агаризованной питательной среды, содержащей замамливатель **IS-2** в качестве единственного источника углерода за основу взят минеральный комплекс среды Чапека-Докса (ЧДА) следующего состава (г/л):  $KH_2PO_4$  – 0,7,  $K_2HPO_4$  – 0,3,  $NaNO_3$  – 2,0,  $MgSO_4$  – 0,5,  $KCl$  – 0,5,  $FeSO_4$  – 0,01, агар-агар – 15,0. Замамливатель в количестве 1 % добавляли в расплавленную среду непосредственно перед разливом в чашки Петри и тщательно перемешивали. Для сравнения использовали ЧДА с 1 % глюкозы.

Стабильность замамливателя с биоцидными добавками оценивали согласно ГОСТ 29188.3-91 «Изделия косметические. Методы определения стабильности эмульсии» по наличию или отсутствию расслоения после 5 минут центрифугирования при частоте вращения  $100\text{ с}^{-1}$ . [10].

Оценка грибостойкости замамливателя проводилась согласно ГОСТ 9.052-88 «Масла и смазки. Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов», метод 4 [11].

Перед испытаниями в 5 чашек Петри заливали по 30 мл расплавленной агаризованной среды Чапека-Докса с сахарозой в качестве источника углерода. После застывания в среде было сделано по 5 лунок глубиной около 5 мм с помощью стерильного сверла. В лунки заливали 0,2 мл замамливателя и опрыскивали суспензией спор следующих грибов: *Aspergillus niger*, *Aspergillus terreus*, *Paecilomyces variotii*, *Penicillium chrysogenum*, *Penicillium verruculosum*.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Из предоставленного для исследования 10 % водного раствора замамливателя **IS-2** выделялись бактерии и микроскопические мицелиальные грибы рода *Penicillium*.

Для первичного анализа подверженности плесневому поражению 10 % раствор замазливателя помещали в лунки, сделанные в агаризованной среде Чапека-Докса с глюкозой, засеянной газом спорами грибов, выделенных из очагов плесневого поражения в монокультуре и смеси.

Через 7 суток культивирования в варианте с грибом *P.chrysogenum* лунки оказались свободными от замазливателя, а газон вокруг лунок имел более светлую окраску, вероятно, вследствие присутствия продуктов частичного расщепления компонентов эмульсии (рисунок 1).

В других вариантах такого явления не наблюдалось. Интересно отметить, что у гриба *T.viride* на среде с глюкозой был едва заметный паутинистый мицелий, а в лунках и вокруг их интенсивное спороношение. Хорошо развивался по краям лунки и *A. niger* (рисунок 1).

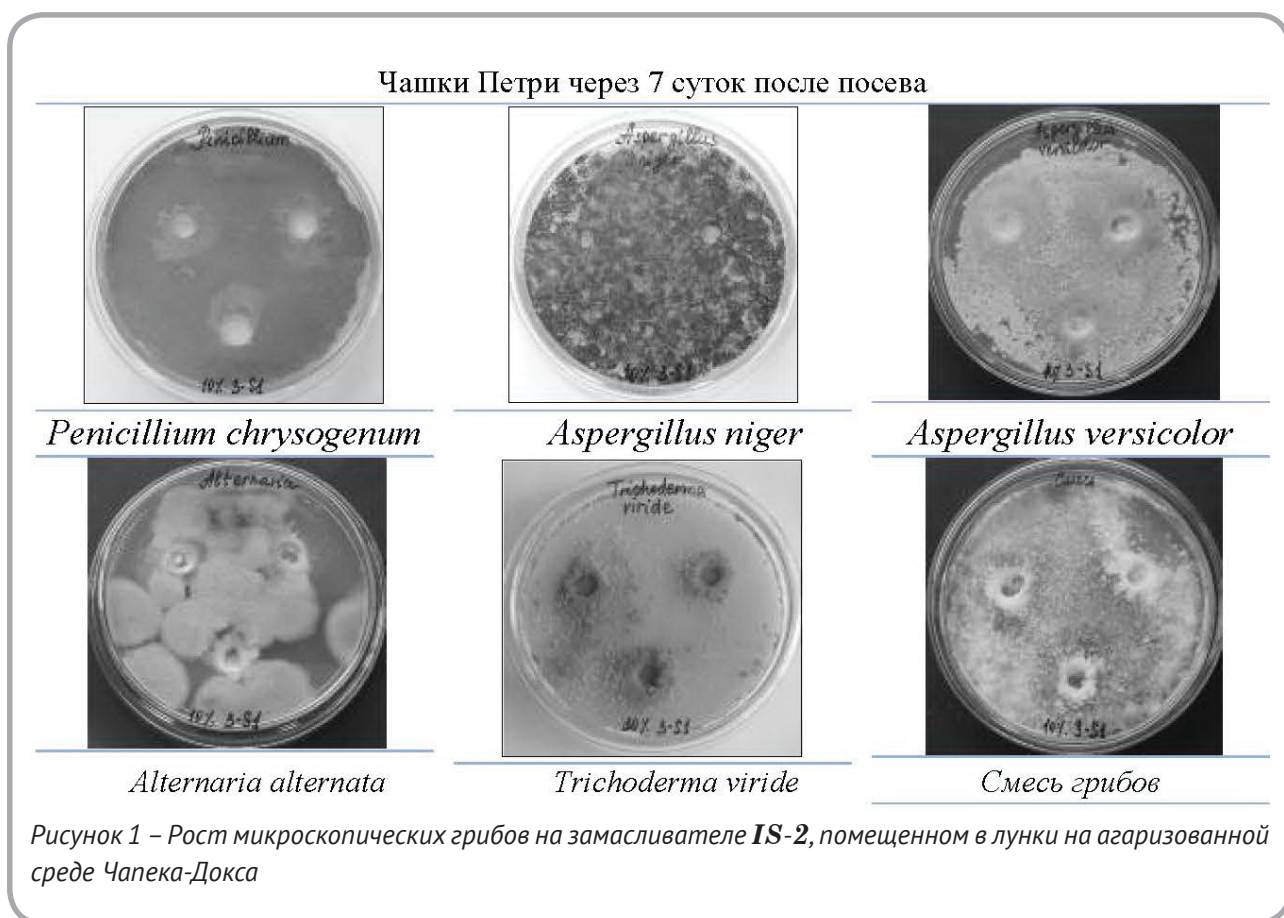
Высев грибных спор диаметрными штрихами на агаризованную питательную среду с замазливателем в качестве единственного источника углерода показал, что кроме выше-

указанных грибов утилизировать компоненты композиции *IS-2* способен также гриб *A. pul-lulans*, тогда как у *A. alternata* и *A. versicolor* происходило лишь прорастание спор и формирование коротких неветвящихся гиф (рисунок 2).

Основные культуральные признаки грибов на среде с замазливателем по сравнению с традиционной средой Чапека с 2 % глюкозы практически не изменились, но интенсивность роста по штрихам была несколько ниже (рисунок 3).

При выборе фунгицидной добавки для придания композиции замазливателя способности подавлять жизнедеятельность плесневых грибов была проведена проверка различных классов биоцидных соединений на совместимость и стабильности эмульсии. Для этого проводили оценку коллоидной стабильности согласно ГОСТ 29188.3-91 «Изделия косметические. Методы определения стабильности эмульсии», анализируя разделение эмульсии на жировую и водную часть при центрифугировании.

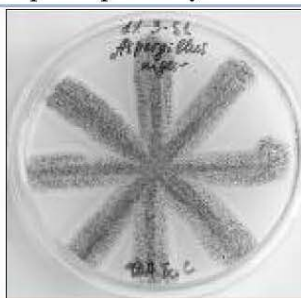
Выявлено отсутствие расслоения эмульсии



Чашки Петри через 7 суток после посева



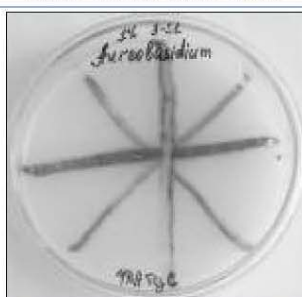
*Alternaria alternata*



*Aspergillus niger*



*Aspergillus versicolor*



*Aureobasidium pullulans*



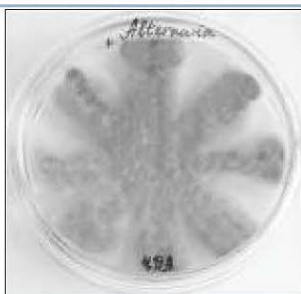
*Penicillium chrysogenum*



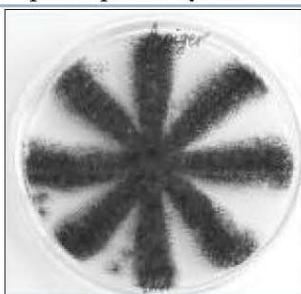
*Trichoderma viride*

Рисунок 2 – Рост тест-культур микроскопических грибов на агаризованной среде Чапека-Докса с 2 % эмульгатора **IS-2** в качестве единственного источника углерода

Чашки Петри через 7 суток после посева



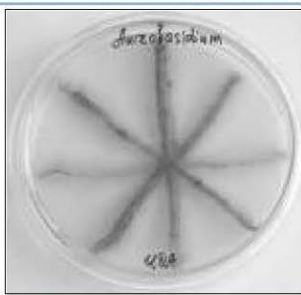
*Alternaria alternata*



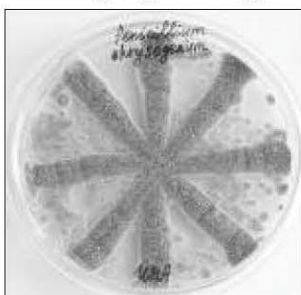
*Aspergillus niger*



*Aspergillus versicolor*



*Aureobasidium pullulans*



*Penicillium chrysogenum*



*Trichoderma viride*

Рисунок 3 – Рост тест-культур микроскопических грибов на агаризованной среде Чапека-Докса с 2 % глюкозы в качестве единственного источника углерода



после центрифугирования в присутствии четвертичных аммониевых соединений (ЧАС) и эфиров *n*-оксибензойной кислоты.

Из группы ЧАС наиболее широкое использование в различных отраслях промышленности получил бензалконий хлорид (алкилбензилдиметиламмоний хлорид), сочетающий высокую биоцидную активность с низкой токсичностью для человека.

Однако результаты тестирования фунгитоксичности замасливателя с различным содержанием бензалкониум хлорида луночным методом с использованием газонной культуры *P.chrysogenum* показали отсутствие четко выраженной зоны ингибирования тест-культуры и рост небольших колоний вокруг лунки по краю эмульсии даже при 0,5 % содержании данного препарата (рисунок 4).

Причиной этого, возможно, является хорошая растворимость ЧАС в воде и низкая в масляной основе эмульсии, которая используется грибом в качестве источника питания. Эфиры *n*-оксибензойной кислоты, широко использующиеся в качестве консервантов для косметических эмульсий, напротив, хорошо совмещаются с жироподобными соединениями.

При проведении аналогичного опыта с пропазолом (пропиловый эфир *n*-оксибензойной кислоты) рост *P.chrysogenum* на замасливателе отсутствовал даже при низком содержании биоцидного препарата (0,1 %).

Грибостойкость замасливателя с различным содержанием бензалконий хлорида и пропа-

зола была также проверена по методу 4 ГОСТ 9.052-88. Перед испытаниями в 5 чашек Петри залили по 30 мл расплавленной агаризованной среды Чапека-Докса с сахарозой в качестве источника углерода. После застывания в среде было сделано по 5 лунок глубиной около 5 мм с помощью стерильного сверла. В лунки залили 0,2 мл замасливателя и опрыскали суспензией спор видов, рекомендуемых ГОСТ для испытания на грибостойкость косметических эмульсий: *Aspergillus niger*, *Aspergillus terreus*, *Paecilomyces variotii*, *Penicillium chrysogenum*, *Penicillium verruculosum*.

Через 14 суток инкубации при температуре 28 °С чашки Петри микроскопировали в отраженном свете при 60-кратном увеличении. Результаты исследования показали высокую грибостойкость замасливателя **IS-2** с 0,2 % пропазола. Во всех чашках на поверхности питательной среды был сплошной газон спороносающего мицелия, но на замасливателе ни в одной из лунок проросших спор грибов не выявлено. При более низком содержании биоцида ингибирующий эффект был менее выражен (рисунок 5).

Для более точной визуальной оценки грибостойкости замасливателя **IS-2** с 0,2 % пропазола использовали микроскопирование. Замасливатель, инокулированный спорами плесневых грибов, рекомендуемых ГОСТ 9.052-88, капнули в лунку на предметном стекле, накрыли покровным стеклом, поместили в чашки Петри с увлажненным бумажным фильтром и проинкубировали в течение 7 суток при температуре 28 °С.

Чашки Петри через 7 суток после посева

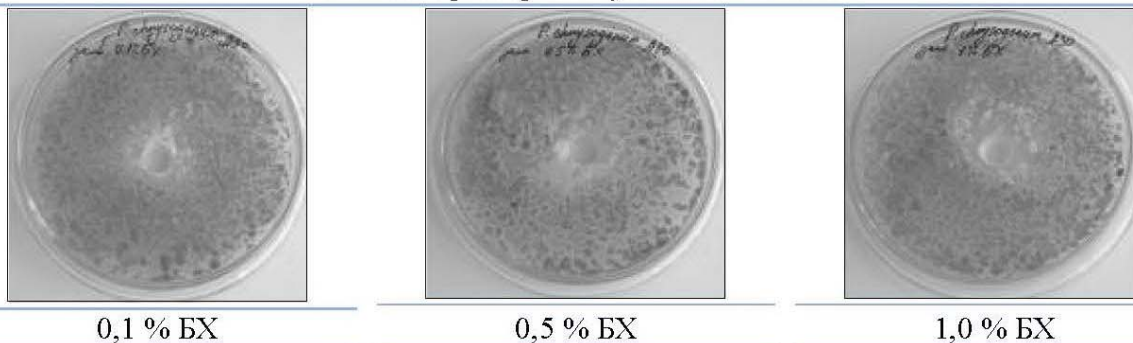


Рисунок 4 – Рост *Penicillium chrysogenum* на замасливателе **IS-2** с различным содержанием бензалконий хлорида (**БХ**), помещенном в лунки на агаризованной среде Чапека-Докса

Так как количество замазливателя было недостаточно, чтобы заполнить лунку полностью, в ее центре под микроскопом в проходящем свете в варианте с 0,1 % пропазола наблюдались единичные грибные гифы, а при концентрации данного биоцида 0,2 % они полностью отсутствовали (рисунок 6).

Таким образом, пропиловый эфир *n*-оксибензойной кислоты в концентрации 0,2 % придает замазливателю **IS-2** высокую грибостойкость.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Изучение закономерностей роста микроорганизмов, принадлежащих различным родам среде Чапека-Докса с 1 % замазливательной композиции **IS-2** в качестве единственного источника углерода показало, что в составе замазливателя есть компоненты, которые могут служить питатель-

ным субстратом для развития плесневых грибов *Aspergillus niger*, *aureobasidium pullulance*, *penicillium chrysogenum*, *Trichoderma viride*.

При выборе фунгицидной добавки для придания композиции замазливателя способности подавлять жизнедеятельность плесневых грибов выявлена высокая стабильность эмульсии после испытания согласно ГОСТ 29188.3 при добавлении четвертичных аммониевых соединений и эфиров *n*-оксибензойной кислоты.

Высокую грибостойкость 10 % водному раствору замазливателя **IS-2**, согласно результатам тестирования по методу 4 ГОСТ 9.052, придал пропиловый эфир *n*-оксибензойной кислоты в концентрации 0,2 %.

Чашки Петри после испытания

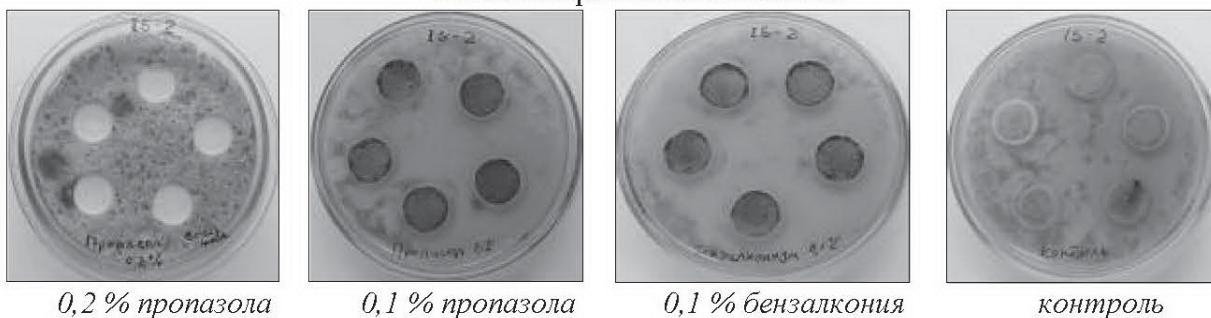


Рисунок 5 – Результаты испытания на грибостойкость замазливателя **IS-2** с биоцидными добавками по ГОСТ 9.052-88

Общий вид



Замазливатель на стекле с лункой

Вид лунки под микроскопом



0,1 % пропазола



0,2 % пропазола

Рисунок 6 – Прорастание спор *Aspergillus niger* в замазливателе **IS-2** с 0,1 % и 0,2 % пропазола на предметном стекле с лункой

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Степанова, Т.Ю. (2011), *Эмульсирование как способ модификации свойств поверхности текстильных волокон*; Иваново, Ивановский государственный химико-технологический университет, 118 с.
2. Работина, Н.Г., Шикова, Т.Г., Степанова, Т.Ю. (2011), Составление замасливающей композиции и ее оценка. Волокна и пленки 2011. Перспективные технологии и оборудование для производства и переработки волокнистых и пленочных материалов, *Материалы международной научно-практической конференции-семинара 28 октября 2011 г.*, Могилев, С. 108-111.
3. Генис, А.В. и др. (2013), Роль замасливателей в современных процессах получения химических волокон и наполненных полимерных материалов, *Пластические массы*, 2013, № 3, С. 24-30.
4. Степанова, Т.Ю., Сахарова, С.Г. (2007), Влияние оксиэтилированных ТВВ на электризуемость волокон, *Известия вузов. Химия и химическая технология*, 2007, Т. 50., Вып. 10., С. 80–81.
5. Смирнова, О.К., Пророкова, Н.П. (2002), Вспомогательные вещества в химико-текстильных процессах. Современный ассортимент отечественных текстильных вспомогательных веществ, *Российский химический журнал*, 2002, № 1, С. 88-95.
6. Максимович, Е.С., Сакевич, В.Н. (2013), Разработка замасливателя для текстильных волокон и исследование процесса удаления его из ткани, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2013, № 24, С. 107-111.
7. Пехташева, Е.Л., Неверов, А.Н., Заиков, Г.Е., Бутовецкая, В.И. (2012), Биоповреждения лубяных, искусственных и синтетических волокон,

## REFERENCES

1. Stepanova, T.Ju. (2011), *Jemul'sirovanie kak sposob modifikacii svojstv poverhnosti tekstil'nyh volokon* [Emulsifying as a way to modify the properties of the surface of textile fibers], Ivanovo, Ivanovo State University of Chemistry and Technology, 118 p.
2. Rabotina, N.G., Shikova, T.G., Stepanova, T.Ju. (2011), Preparation of the sizing composition and its evaluation [*Sostavlenie zamaslivajushhej kompozicii i ee ocenka*], The fibers and films, 2011. Advanced technologies and equipment for production and processing of fibrous and film materials, *Materials of international scientific-practical conference-seminar October 28, 2011 s.*, Mogilev, pp. 108-111.
3. Genis, A.V. etc. (2013), The role of lubricants in modern processes for the production of chemical fibers and filled polymeric materials [*Rol' zamaslivatelej v sovremennyh processah poluchenija himicheskikh volokon i napolnennyh polimernyh materialov*], *Plasticheskie massy – Plastic material*, 2013, № 3, pp. 24-30.
4. Stepanova, T.Ju., Saharova, S.G. (2007), Influence of oxyethylated TVV on electrified fibers [*Vlijanie oksijetilirovannyh TVV na jelektrizuemost' volokon*], *Izvestija vuzov. Himija i himicheskaja tehnologija – News of Higher Educational Institutions. Chemistry and chemical technology*, 2007, V. 50, issue 10, pp. 80-81.
5. Smirnova, O.K., Prorokova, N.P. (2002), Excipients in the chemical-textile processes. Modern range of domestic textile auxiliaries [*Vspomogatel'nye veshhestva v himiko-tekstil'nyh processah, Sovremennij assortiment otechestvennyh tekstil'nyh vspomogatel'nyh veshhestv*], *Rossijskij himicheskij zhurnal – Russian Chemical Journal*, 2002, № 1, pp. 88-95.
6. Maksimovich, E.S., Sakevich, V.N. (2013), Development of lubricant for textile fibers and

- Вестник Казанского технологического университета*, 2012, Т. 15, № 8, С. 178-191.
8. Виноградова, А.В., Ермилова, И.А., Лебедева, Е.В. (2008), Повреждение синтетических полиэфирных материалов, Современная микология в России. Том 2, *Материалы 2-го Съезда микологов России*, Москва, Национальная академия микологии, 2008, С. 368-369.
  9. Szostak-Kotowa, J. (2004), Biodeterioration of textiles, *International J. Biodeterioration and Biodegradation*, 2004, V. 53, pp. 165 – 170.
  10. Изделия косметические. Методы определения стабильности эмульсии: ГОСТ 29188.3-91. Введ. 01.01.1993, Москва: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1993, 4 с.
  11. Единая система защиты от коррозии и старения. Масла и смазки. Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов: ГОСТ 9.052-88, Введ. 01.01.1989, Москва: Государственный комитет СССР по стандартам, 1995, 34 с.
- the study of the process of removing it from the fabric [Razrabotka zamashivatelja dlja tekstil'nyh volokon i issledovanie processa udalenija ego iz tkani], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta – Bulletin of the Vitebsk State Technological University*, 2013, № 24, pp. 88-111.
7. Pehtasheva, E.L., Neverov, A.N., Zaikov, G.E., Butoveckaja, V.I. (2012), Biodegradation Bast, artificial and synthetic fibers [Biopovrezhdenija ljubjanyh, iskusstvennyh i sinteticheskikh volokon], *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta – Bulletin of Kazan Technological University*, 2012, V. 15, № 8, pp. 178-191.
  8. Vinogradova, A.V., Ermilova, I.A., Lebedeva, E.V. (2008), Damage to synthetic polymer materials, *Modern Mycology in Russia. Volume 2* [Povrezhdenie sinteticheskikh polijefirnyh materijalov, Sovremennaja mikologija v Rossii. Tom 2], *Materials 2-go S'ezda mikologov Rossii – Proceedings of the 2nd Congress of the Russian mycologists*. Moscow, The National Academy of Mycology, 2008, pp. 368-369.
  9. Szostak-Kotowa, J. (2004), Biodeterioration of textiles, *International J. Biodeterioration and Biodegradation*, 2004, V. 53, pp. 165 – 170.
  10. *Cosmetic. Methods for determining the stability of the emulsion: GOST 29188.3-91* [Izdelija kosmeticheskie. Metody opredelenija stabil'nosti jemul'sii: GOST 29188.3-91], introduced. 01.01.1993, Moscow: Committee for Standardization and Metrology of the USSR, 1993, 4 p.
  11. *Unified system of protection from corrosion and aging. Oils and greases. Methods of laboratory tests for resistance to fungi: GOST 9.052-88* [Edinaja sistema zashhity ot korrozii i starenija. Masla i smazki. Metody laboratornyh ispytanij na stojkost' k vozdejstviju plesnevych gribov: GOST 9.052-88], introduced 01.01.1989, Moscow: USSR State Committee on Standards, 1995, 34 p.

Статья поступила в редакцию 19. 12. 2016 г.

## ПОЛУЧЕНИЕ НИТРАТОВ ЛАНТАНА И АЛЮМИНИЯ ИЗ АЗОТНОКИСЛЫХ РАСТВОРОВ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ОТРАБОТАННОГО КАТАЛИЗАТОРА КРЕКИНГА

## OBTAINING OF ALUMINUM AND LANTHANUM NITRATES FROM NITRIC ACID SOLUTIONS OF SPENT CRACKING CATALYST LEACHING

**И.Ю. Козловская\*, В.Н. Марцунь**

*Белорусский государственный технологический университет*

УДК 661.(865+56)

**I. Kozlovskaja\*, V. Marcun'**

*Belarusian State Technological University*

### РЕФЕРАТ

*ОТРАБОТАННЫЙ КАТАЛИЗАТОР КРЕКИНГА, РАСТВОР ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ, АЗОТНАЯ КИСЛОТА, ОТГОНКА, НИТРАТ ЛАНТАНА, НИТРАТ АЛЮМИНИЯ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОДУКТОВ*

*Представлены результаты исследований по изучению условий получения нитратов лантана и алюминия при отгонке азотной кислоты из растворов выщелачивания отработанного катализатора крекинга. Исследованы состав и свойства продуктов, предложены направления их использования.*

### ABSTRACT

*WASTE CRACKING CATALYST, SOLUTION OF LEACHING, NITRIC ACID, EVAPORATION, LANTHANUM NITRATE, ALUMINUM NITRATE, PRODUCTS USE*

*The influence of leaching agent nature of process on lanthanum leaching ratio from spent petroleum hydrocarbon cracking catalyst has been established. It has been identified that aluminum is extracted in addition to lanthanum by the acid leaching of waste catalyst. The methods of lanthanum precipitation over aluminum from waste cracking catalyst leaching solutions by evaporation of nitrate leaching solution have been proved. Directions to use lanthanum-containing products have been offered.*

По данным U.S. Geological Survey, мировая добыча редкоземельных элементов (РЗЭ) в период с 2013 по 2015 гг. составила 110 000 *т*. Известно, что наибольшая часть мировых запасов РЗЭ заключена в месторождениях бастнезита в Китае и США, монацита в Бразилии, Австралии, Индии. Лидером в производстве РЗЭ по-прежнему остается Китай, на его долю приходится 86,4 % от общего объема добычи. Спрос на РЗЭ и их соединения постоянно растет, и к 2020 г. ожидается его повышение более чем на 5 % [1]. Поэтому интересным с практической точки зрения является поиск нового доступного сырья для получения РЗЭ и их соединений. В качестве такого могут рассматриваться отработанные катализаторы крекинга (ОКК) с содержанием РЗЭ до 4 % масс.

В опубликованных ранее работах показано [2], что для получения соединений лантана из ОКК проводят его кислотное выщелачивание растворами азотной или серной кислот. Азотнокислое выщелачивание предпочтительнее, так как позволяет перевести в раствор до 99 % лантана при меньшем количестве извлекаемого алюминия (16,2–20,4 %). Дальнейшее выделение соединения лантана проводят осаждением аммиаком либо гидрокарбонатом натрия с получением осадков сложного состава. Предложенные способы выделения лантана из кислотных растворов выщелачивания [3] требуют использования дополнительных реагентов, при их реализации происходят потери кислоты и образование разбавленных растворов нейтрализации, при селективном осаждении значительная часть лан-

\* E-mail: [kozlovskaya.inna@yandex.ru](mailto:kozlovskaya.inna@yandex.ru) (I. Kozlovskaja)

тана теряется из-за соосаждения с алюминием.

Для того чтобы избежать потерь лантана и сократить расход азотной кислоты, в качестве варианта выделения нитрата лантана из азотнокислых растворов выщелачивания ОКК была рассмотрена отгонка азотной кислоты с конденсацией парогазовой фазы. Данный способ основан на том, что азотная кислота при атмосферном давлении удаляется из разбавленных водных растворов в составе парогазовой смеси без разложения при температурах до 121,9 °С (температура образования азеотропной смеси). При этом весь лантан остается в твердой фазе, не требуются дополнительные реагенты для его выделения, присутствие нитрата алюминия в твердом остатке после отгонки не препятствуют его использованию по ряду направлений.

Цель работы – установить условия получения смеси нитратов лантана и алюминия при отгонке азотной кислоты из растворов выщелачивания отработанного катализатора крекинга, изучить их состав и свойства, направления использования.

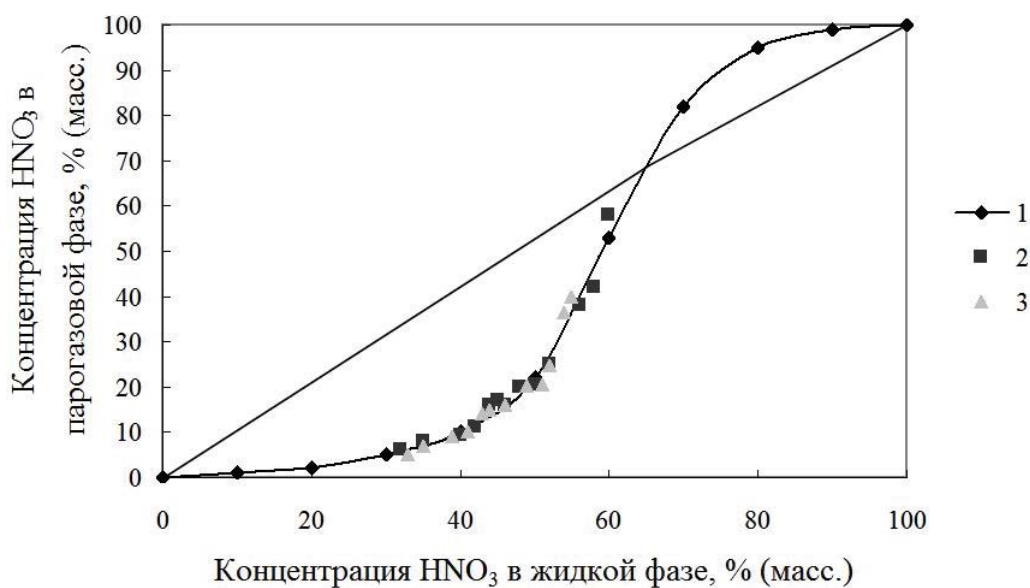
Для получения нитратов лантана и алюминия в виде твердого продукта проводили прямую отгонку азотнокислого раствора выщелачивания ОКК (концентрация азотной кислоты 25–30 %) с последующей конденсацией парогазовой фазы. Для различных порций конденсата фиксировали начальную и конечную температуру отгонки. Концентрацию азотной кислоты в конденсате определяли по плотности раствора с помощью пикнометра после охлаждения весовым методом. Общий объем конденсата составлял до 80 % от объема азотнокислого раствора выщелачивания. Остаток после отгонки раствора охлаждали до образования твердой фазы.

Элементный состав полученной после отгонки и охлаждения твердой фазы устанавливали рентгенофлуоресцентным методом на сканирующем электронном микроскопе JSM 5610 LV с системой элементного анализа EDX JED 2201 JEOL (диапазон измеряемых концентраций 0,1–100 %). Методом порошка на дифрактометре D8 ADVANCE фирмы BRUKER с пошаговым методом съемки (с шагом по углу  $2\theta$  – 0,03 ° и выдержкой в каждой точке 3 секунды) в диапазоне углов  $\theta$  от 20 до 80 ° установили фазовый состав продуктов. Расшифровку дифрактограмм проводили

с использованием программного комплекса EVA (Bruker) и базы данных ICDD PDF-2. Термогравиметрический (TG, DTG) анализ и дифференциальную сканирующую калориметрию (DSC) образцов вели на дериватографе TGA / DSC1 фирмы METTLER TOLEDO до максимальной температуры 800 °С с использованием в качестве эталона  $Al_2O_3$  (платиновые тигли; скорость нагревания – 10 °С/мин; масса навески образцов 60,3–60,9 мг). Температуру плавления твердого остатка после отгонки определяли капиллярным методом.

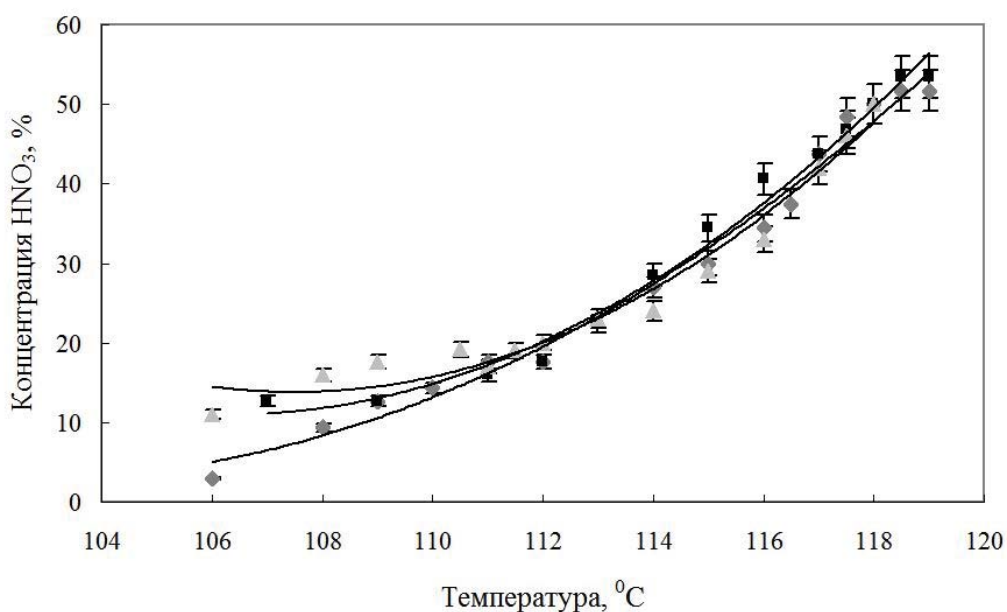
Состав парогазовой и жидкой фаз в системе  $HNO_3-H_2O$  известен, но присутствие нитратов лантана и алюминия в растворе выщелачивания может существенно на них повлиять. Для установления зависимости состава парогазовой фазы, находящейся в равновесии с азотнокислым раствором выщелачивания ОКК, использовали растворы, отличающиеся содержанием нитратов лантана и алюминия (концентрация лантана составляла 0,9 и 1,8 г/дм<sup>3</sup>, алюминия – 3,1 и 6,2 г/дм<sup>3</sup>). Сбор конденсата после отгонки азотнокислого раствора выщелачивания ОКК проводили по фракциям при различных температурах (от 106 до 119 °С), концентрация  $HNO_3$  в конденсате при этом изменялась от 3 до 52 % (рисунок 1). Усредненная концентрация азотной кислоты в конденсате (без разделения его на фракции) составляет 22–24 %.

Сравнение экспериментальных и теоретических данных о составе жидкой и парогазовой фаз свидетельствуют о том, что образование азеотропной смеси в условиях эксперимента не происходит. Максимальная концентрация азотной кислоты в конденсате, как отмечено выше, составила 52 % (при 119 °С), а при образовании азеотропной смеси концентрация  $HNO_3$  достигает 68,4 % (рисунок 2). Такое расхождение объясняется тем, что не удалось достичь температуры образования азеотропной смеси (121,9 °С), что позволило бы укрепить конденсат на 3–4 %. Можно предположить также, что происходит разложение азотной кислоты с образованием оксидов азота, которые выбрасываются в атмосферный воздух. Поэтому при реализации данного процесса на практике необходимо предусмотреть варианты их улавливания для снижения отрицательного воздействия на окру-



1 – кривая, построенная по теоретическим данным; 2, 3 – точки, полученные по экспериментальным данным

Рисунок 1 – Зависимость концентрации азотной кислоты в конденсате от температуры отгонки



1 – кривая, построенная по теоретическим данным; 2, 3 – точки, полученные по экспериментальным данным

Рисунок 2 – Состав фаз при отгонке азотнокислого раствора выщелачивания ОКК

жающую среду и увеличения выхода азотной кислоты. Полученный раствор азотной кислоты (до 60 % от исходного количества в пересчете на концентрированную кислоту) возвращается в процесс.

Твердая фаза после отгонки состоит из гидратированных нитратов лантана и алюминия. Такое предположение основано на том, что при отгонке раствора выщелачивания ОКК в системе  $Al^{3+} - La^{3+} - HNO_3 - H_2O$  повышается кон-

центрация растворенных солей, что приводит к пресыщению раствора и образованию зародышей кристаллов нитрата алюминия (растворимость  $Al(NO_3)_3$  в растворе азотной кислоты  $73,9 \text{ г}/100 \text{ см}^3$ ). Кристаллизация нитрата лантана в данных условиях не происходит из-за его низкой концентрации в исходном растворе (растворимость  $La(NO_3)_3$  в растворе азотной кислоты  $75 \text{ г}/100 \text{ см}^3$ ). Полная кристаллизация остатка протекает при снижении температуры до  $30\text{--}35 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Определение температуры плавления твердого остатка после отгонки показало, что он начинает плавиться при температуре  $39,8 \text{ }^\circ\text{C}$ . Полный переход в жидкую фазу заканчивается при температуре  $76,7 \text{ }^\circ\text{C}$ . Известно, что  $T_{\text{пл}}$  кристаллогидратов нитрата лантана и наногидрата нитрата алюминия равны соответственно  $40,0 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $73,5 \text{ }^\circ\text{C}$ , что соответствует интервалу температур, в котором наблюдается фазовый переход остатка от отгонки азотнокислого раствора выщелачивания ОКК. По данным рентгенофазового установлено, что лантан в остатке присутствует в виде кристаллических  $La(NO_3)_3 \cdot 3H_2O$

и  $La(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$ , алюминий – в виде кристаллического  $Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ . Помимо этого в остатке обнаружена кристаллическая фаза  $La_{10}Al_4O_{21}$ .

Известно, что гидратированные нитраты алюминия и лантана существенно отличаются по термической стойкости, что подтверждается данными термогравиметрического анализа. На термограмме остатка, предварительно высушенного при температуре  $105 \text{ }^\circ\text{C}$ , наблюдаются два эндотермических пика (рисунок 3).

Первый из них в диапазоне  $27\text{--}200 \text{ }^\circ\text{C}$  с максимумом при  $115 \text{ }^\circ\text{C}$  соответствует диапазону дегидратации нитратов лантана и алюминия, а также разложению нитрата алюминия. Известно, что  $Al(NO_3)_3$  и  $9H_2O$  при нагревании до  $135 \text{ }^\circ\text{C}$  образует основную соль  $Al(OH)_2NO_3 \cdot 1,5H_2O$ , а при температуре около  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  разлагается до оксида алюминия. Второй из пиков в диапазоне температур  $345\text{--}560 \text{ }^\circ\text{C}$  с максимумом при  $450 \text{ }^\circ\text{C}$  соответствует разложению нитрата лантана с образованием оксида, при этом дегидратация протекает при нагревании до  $240 \text{ }^\circ\text{C}$ , разложение безводного нитрата проис-

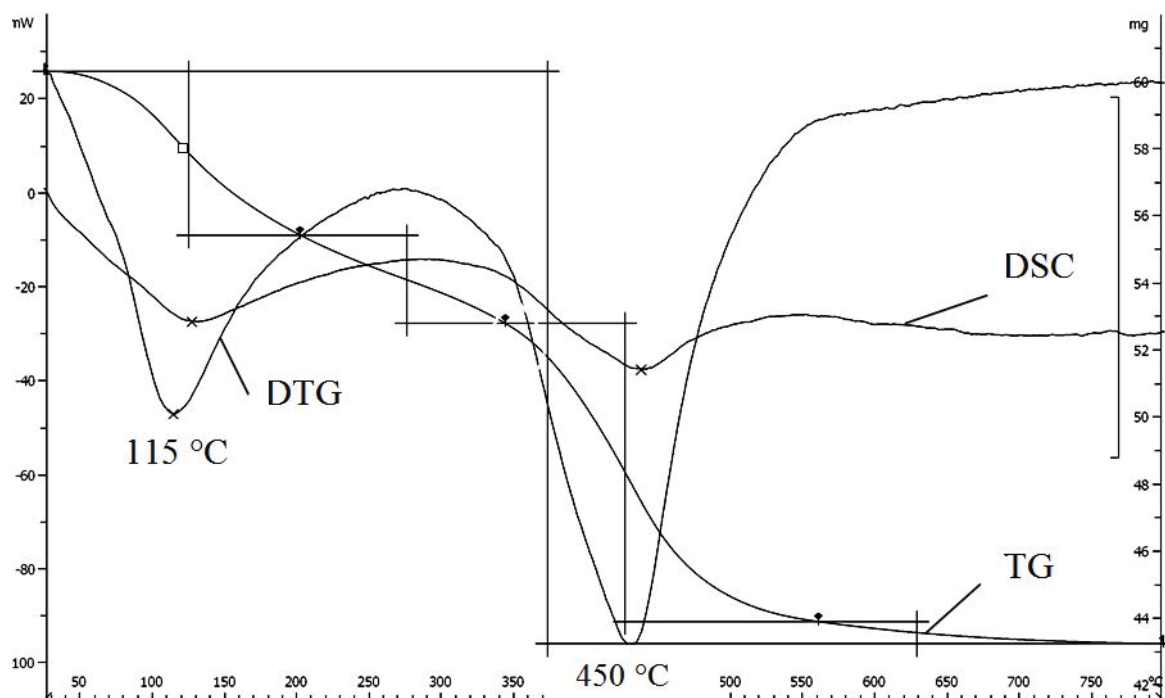


Рисунок 3 – Термограмма остатка после отгонки азотнокислого раствора выщелачивания ОКК



ходит через образование  $LaONO_3$  при нагревании до  $515\text{ }^\circ\text{C}$ .

Массовое соотношение между лантаном и алюминием в полученном остатке (в пересчете на  $La_2O_3$  и  $Al_2O_3$ ) составляет 1 : 4–5. Содержание лантана в остатке после термической обработки при  $600\text{ }^\circ\text{C}$  достигает 19,6–20,2 %.

Сравнение состава и свойств остатка после отгонки с требованиями ТУ СТ ТОО 38960949-002-2006 «Азотнокислый раствор редкоземельных элементов» свидетельствует о том, что полученный после отгонки твердый остаток может быть использован при производстве катализаторов крекинга. Присутствие алюминия не будет являться мешающим агентом, так как синтез катализаторов крекинга производится из алюмосиликатного сырья. Однако данное направление требует дополнительных исследований. Как было отмечено ранее [3], термическая обработка продуктов подобного состава приводит к формированию в них кристаллической фазы алюмината лантана. Керамика на основе гексаалюмината лантана, обладая тугоплавкостью, высокой твердостью, механической прочностью, находит применение в производстве функциональных материалов и керамических композитов [4].

Выводы:

1) определены условия получения смеси соединений лантана и алюминия при отгонке азотной кислоты из растворов выщелачивания ОКК. Для этого необходимо отгонять не менее 80,0 % жидкой фазы и охлаждать остаток до  $30\text{--}35\text{ }^\circ\text{C}$ . Твердый остаток после отгонки представляет собой смесь гидратированных нитратов алюминия и лантана, в нем возможно присутствие сложных соединений лантана и алюминия. Содержание лантана достигает 20,2 %, соотношение между  $La_2O_3$  и  $Al_2O_3$  составляет 1 : 4–5;

2) предложенный способ разделения растворов выщелачивания отработанного катализатора крекинга позволяет повторно использовать до 60 % азотной кислоты от ее исходного количества. Концентрация азотной кислоты в растворе, полученном после конденсации парогазовой фазы, зависит от температуры отгонки и может изменяться от 3 до 52 %, усредненная концентрация составляет 22–24 %;

3) остаток после отгонки азотной кислоты из растворов выщелачивания ОКК может быть использован при производстве алюмосиликатных катализаторов крекинга, алюмината лантана.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. U. S. Geological Survey (2015) // *Mineral commodity summaries 2015*, 196 p.
2. Kozlovskaja, I.Yu., Marcul', V.N. (2014), Acid leaching of lanthanum from spent cracking catalyst. *J. of Appl. Chem.* V. 87. Is.12, P. 1817–1822.
3. Marcul', V.N., Kozlovskaja, I.Yu. (2015), Recovery of lanthanum from acid leaching solutions for leaching of spent cracking catalyst. *J. of Appl. Chem.* V. 88. Is.10, P. 1589–1593.
4. Дудкин, Б.Н., Бугаева, А.Ю., Зайнуллин, Г.Г. (2011), Особенности спекания ксерогеля состава «гексаалюминат лантана – оксид иттрия», полученного золь-гель способом, *Известия Коми научного центра УрО РАН*, № 2., С. 19–24.

## REFERENCES

1. U. S. Geological Survey // *Mineral commodity summaries 2015*. 2015. 196 p.
2. Kozlovskaja, I.Yu., Marcul', V.N. (2014), Acid leaching of lanthanum from spent cracking catalyst. *J. of Appl. Chem.* V. 87. Is.12, P. 1817–1822.
3. Marcul', V.N., Kozlovskaja, I.Yu. (2015), Recovery of lanthanum from acid leaching solutions for leaching of spent cracking catalyst. *J. of Appl. Chem.* V. 88. Is.10, P. 1589–1593.
4. Dudkin, B.N., Bugaeva, A.Yu., Zajnullin, G.G. (2011), Features sintering the xerogel composition «lanthanum hexaaluminate - yttrium oxide» obtained by sol-gel method, [Osobennosti spekanija kserogelja sostava «geksaaljuminat lantana – oksid ittrija», poluchennogo zol'-gel' sposobom], *Izvestija Komi nauchnogo centra UrO RAN – Proceedings of the Komi Scientific Center Ural Branch of Russian Academy of Sciences*, № 2, p. 19– 24.

Статья поступила в редакцию 16. 02. 2017 г.

## КРАШЕНИЕ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ПОЛИЭФИРНЫХ ВОЛОКОН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

### DYEING PROCESS OF TEXTILE POLYESTER FIBERS WITH ULTRASONIC INFLUENCE

**А.О. Кульнев\*, С.В. Жерносек, Н.Н. Ясинская,  
В.И. Ольшанский, А.Г. Коган**  
*Витебский государственный технологический  
университет*

УДК 677.027.43  
**A. Kulnev\*, S. Zhernosek, N. Yasinskaya,  
V. Alshanski, A. Kogan**  
*Vitebsk State Technological  
University*

#### РЕФЕРАТ

*КРАШЕНИЕ, ПОЛИЭФИРНЫЕ ВОЛОКНА, ДИСПЕРСНЫЕ КРАСИТЕЛИ, УЛЬТРАЗВУК, УСТОЙЧИВОСТЬ ОКРАСКИ*

*Авторами проведены экспериментальные исследования влияния УЗ-излучения частотой 35 кГц на процесс крашения полиэфирных тканей дисперсным красителем, выполнен анализ показателей качества полученной окраски: равномерности окраски и устойчивости к физико-химическим воздействиям. Процесс крашения осуществлялся по двум технологиям: по классической – продолжительностью 60 минут; с использованием УЗ-колебаний для предварительного озвучивания раствора красителя – длительностью 30 минут. Сравнительный анализ результатов интенсивности окрашивания и степени закрепления красителя показал, что использование УЗ-колебаний для озвучивания красильного раствора позволяет достичь высокой степени фиксации красителя на волокне при сокращении общей продолжительности процесса, получить более глубокие и насыщенные оттенки, повысить устойчивость окраски к физико-химическим воздействиям. Рекомендуемый режим обработки – мощность УЗ 100 Вт, интенсивность 8,6 Вт/см<sup>2</sup>, продолжительность озвучивания 5 мин.*

#### ABSTRACT

*DYEING, POLYESTER FIBERS, DISPERSE DYES, ULTRASOUND, COLORFASTNESS*

*Polyester fabric was dyed with Disperse Red by using ultrasonic power. Authors researched effects of ultrasound on the fixation of the dye within the polyester fibers and color fastness to chemical and physical influences such as resistance to dry and wet friction, color fastness to washing. The comparative analysis was made with the results of dyeing polyester fabrics with disperse dyes by traditional technology. The results show that pretreatment of dyeing solutions with ultrasonic vibrations improves color fastness to physical and chemical influences, it can reduce the dyeing time. Recommended treatment regimen is the following: ultrasonic power 100 W, duration of exposure of 10 minutes.*

#### ВВЕДЕНИЕ

Наряду с целлюлозными волокнами полиэфирные волокна являются основным текстильным сырьем в мировой практике. В общемиро-

вом балансе текстильного сырья на их долю приходится около 45 % (на 5 % выше хлопка) [1]. В производстве многих видов материалов и изделий легкой промышленности они находят-

\* E-mail: alexanderkulnyow@yahoo.com (A. Kulnev)

ся вне конкуренции. Например, доля потребления полиэфирных волокон в производстве различных видов швейных изделий составляет: мужские сорочки – 50–70 %; женские блузки – 25–40 %; платья – 10–20 %; брюки – 15–40 %; плащи – 50–70 %; рабочая одежда – 15–25 %.

Высокий спрос на полиэфирные волокна обусловлен созданием материалов нового типа, обладающих комплексом свойств, за счет которых они становятся конкурентоспособными природным волокнам и могут имитировать шерсть, хлопок и натуральный шелк.

К недостаткам полиэфирных волокон следует отнести крайне низкую гигроскопичность, высокую электризуемость и степень кристалличности. Это затрудняет процесс их крашения, который, как правило, проводят при температурах порядка 130 °C, на работающем под давлением оборудовании.

Для крашения текстильных материалов из полиэфирных волокон широко используют дисперсные красители, которые имеют маленький размер молекул, являются полярными органическими соединениями, малорастворимыми в воде [2]. Ограниченная растворимость (0,1–150 мг/л) обусловлена наличием в малых по размерам молекулах сильнополярных групп ( $-NO_2$ ;  $-OH$ ;  $-NH_2$ ;  $-NHR$  и др.). Растворимость красителей увеличивается при температуре выше 80 °C и в присутствии поверхностно-активных веществ.

Красильные растворы красителей данного типа представляют собой высокодисперсные системы, в которых частицы красителя находятся как в мономолекулярной (растворимой), так и в твердой фазах. По мере поглощения волокном молекул красителя, в раствор переходит дополнительное количество красящего вещества. Таким образом, крашение всегда проводят из насыщенных при заданной температуре растворов. Молекулы красителя диффундируют в волокно и фиксируются на волокне за счёт слабых межмолекулярных сил Ван-дер-Ваальса и водородных связей.

С целью повышения скорости диффузии дисперсных красителей в высоко кристаллические синтетические полимеры, крашение проводят при высоких температурах или в присутствии специальных веществ, вызывающих набухание

волокна или снижающих степень его кристалличности.

Способы крашения полиэфирных волокон по характеру используемой для интенсификации процесса энергии можно разделить на термические и химические. К первой группе относятся следующие способы: 1) периодическое крашение в водной среде при температурах 120–140 °C в автоклавах при избыточном давлении; 2) непрерывное крашение с прогревом полиэфирного материала после нанесения красителя до температуры 190–220 °C в воздушной среде («термозоль») или в среде перегретого пара. Ко второй группе можно отнести: 1) способ крашения в среде органических растворителей, преимущественно в среде хлорированных углеводородов, при температуре близких к кипению этих соединений; 2) крашение при температурах ниже или равной 100 °C в присутствии различных химических реагентов-интенсификаторов (ускорителей) крашения [3].

#### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Высокий уровень показателей качества текстильных изделий обеспечивается путем использования современных технологий в процессе химической отделки [4–6]. Одним из способов, позволяющих интенсифицировать процесс крашения текстильных материалов из полиэфирных волокон дисперсными красителями, является применение упругих колебаний, генерируемых в жидкой среде.

В работе [7] приведены результаты крашения полиэфирных материалов дисперсным красным красителем с применением ультразвука и показано, что ультразвуковая интенсификация процесса крашения может увеличить глубину оттенка окрашиваемой ткани при более низкой температуре. При этом ультразвук влияет на уменьшение размеров частиц дисперсного красителя в растворе, что обусловлено возникновением кавитации в жидкости при интенсивности ультразвукового излучения 0,3–10 Вт/см<sup>2</sup> [8].

При воздействии ультразвуковых колебаний скорость растворения красителей в растворах поверхностно-активных веществ увеличивается в 10–20 раз, что может быть вызвано возникновением в системе стабилизированной ультрамикроразмешивающей ионной фазы в результате кавитации [9]. Поэтому одним из инновационных

путей решения вопроса по совершенствованию технологий крашения современных текстильных материалов является использование ультразвуковых методов озвучивания красильных ванн.

Целью работы является исследование процесса крашения текстильных материалов из полиэфирных волокон с применением ультразвуковых колебаний, выбор и рекомендация оптимальных режимов воздействия ультразвука на красильный раствор для достижения наилучших показателей колористических свойств.

#### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объекта исследований выбрана ткань из комплексных полиэфирных нитей декоративного назначения, физико-механические свойства которой представлены в таблице 1.

Для крашения полиэфирной ткани выбран краситель дисперсный красный (производство РФ), формула которого представлена на рисунке 1.

В качестве поверхностно-активного вещества использовался раствор олеинового мыла (2 г/л). Состав красильной ванны, использованный для крашения, представлен в таблице 2.

Крашение из водных дисперсий периодическим способом (традиционным) проводили по схеме представленной на рисунке 2.

Перед крашением ткань обрабатывали в растворе поверхностно-активного вещества при температуре 40–45 °С в течение 10 минут. Затем в эту же ванну вводили суспензию красителя, производили нагрев до температуры 100 °С и об-

Таблица 1 – Физико-механические свойства полиэфирной ткани

Наименование параметра	Значение параметра
Ткань декоративная	образец 1556–12 арт. 12С7–ВШ
Линейная плотность нитей, <i>текс</i> : – основы, – утка	372,8, 92,7
Плотность ткани, <i>нит/10 см</i> : – по основе, – по утку	66, 114
Поверхностная плотность, <i>г/м²</i> :	277,4
Разрывная нагрузка полоски ткани, <i>Н</i> : – основа, – уток	2750, 1800
Разрывное удлинение полоски ткани, <i>мм</i> : – основа, – уток	54, 61

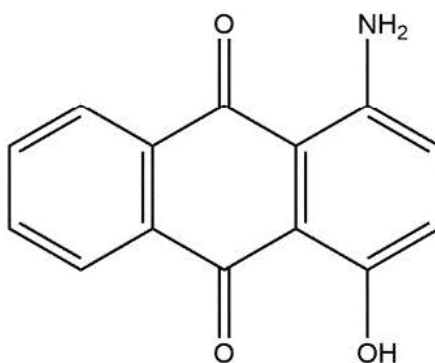


Рисунок 1 – Краситель дисперсный красный

Таблица 2 – Состав красильной ванны

Химический реагент	Концентрация исходного раствора, г/л	Объем раствора при традиционном способе, мл	Объем раствора при озвучивании красителя, мл
Дисперсный краситель	1	20	400
ПАВ	2	15	300
Вода	–	15	300



Рисунок 2 – Схема крашения традиционным способом

работывали ткань в течение 60 минут. Контроль температуры производился при помощи ртутного термометра. Крашение осуществлялось при модуле ванны 50. После крашения образец обрабатывался щелочным раствором восстановителя с целью удаления поверхностно-фиксированного красителя и повышения прочности окраски, промывался в горячей и холодной воде, высушивался в сушильном шкафу.

Крашение с применением ультразвука производилось по схемам, представленным на рисунке 3.

После подготовки красильной ванны производилось озвучивание красильного раствора с помощью ультразвуковых колебаний частотой 35  $\kappa\Gamma\text{ц}$  в течение 5 минут (рисунок 3 а) и 10 минут (рисунок 3 б). Интенсивность ультразвуковых колебаний варьировалась от 0,86 до 8,6  $\text{Вт}/\text{см}^2$ . Затем в озвученный красильный раствор помещался образец ткани и в течение 5 минут производился нагрев до температуры 100 °C. Процесс крашения осуществлялся при температуре красильного раствора 100 °C в течение 30 минут.

Для озвучивания красильного раствора ис-

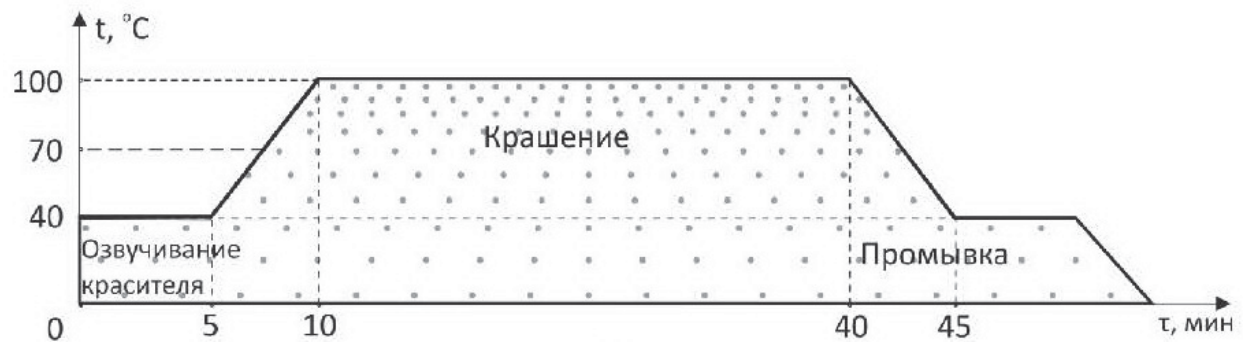
пользована ультразвуковая установка, изображенная на рисунке 4, мощностью 100  $\text{Вт}$  с ультразвуковыми пьезоэлектрическими преобразователями частотой 35  $\kappa\Gamma\text{ц}$ . Мощность ультразвуковых колебаний регулируется от 0 до 100 % от общей мощности с шагом 10 %. Устройство имеет дополнительный нагревательный элемент и датчик температуры, которые позволяют поддерживать температуру среды в ванне до 100 °C.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

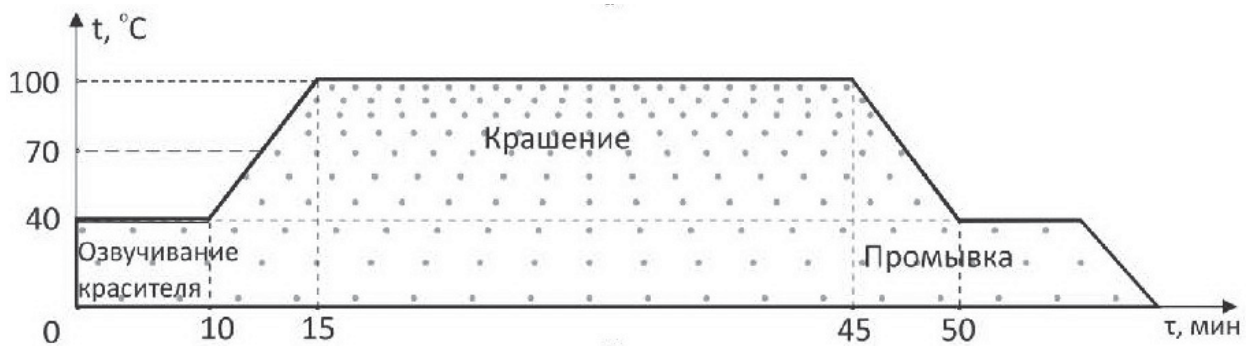
Визуальная оценка образцов, окрашенных по традиционной технологии и с использованием ультразвуковых колебаний, показала, что равномерность и насыщенность окраски при использовании предварительно «озвученных» красильных растворов находится на более высоком уровне по сравнению с традиционным способом крашения.

Для сравнения полученных результатов выполнена оценка устойчивости окраски к физико-химическим воздействиям, которая в основном определяется характером связи краситель – волокно [8]:

- устойчивость окраски к стиркам ГОСТ



а

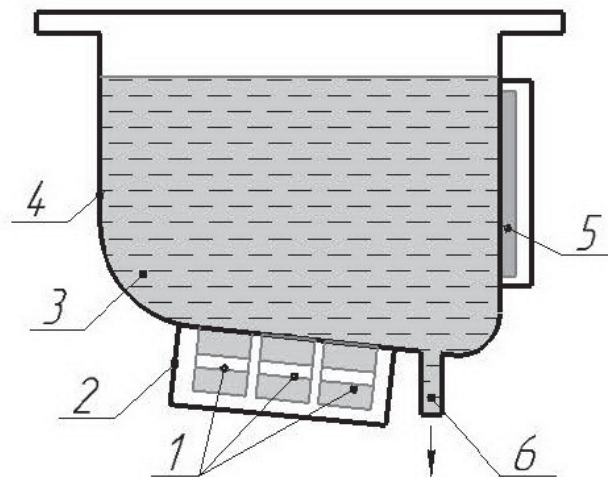


б

а – озвучивание красильного раствора с помощью ультразвуковых колебаний частотой 35 кГц, в течение 5 минут;

б – озвучивание красильного раствора с помощью ультразвуковых колебаний частотой 35 кГц, в течение 10 минут

Рисунок 3 – Схема крашения полиэфира озвученным красителем



1 – пьезоэлектрический преобразователь; 2 – экран; 3 – технологический раствор; 4 – корпус; 5 – нагревательная пластина; 6 – сливной патрубок

Рисунок 4 – Схема ультразвуковой установки

9733.4–83;

- устойчивость окраски к сухому и мокрому трению ГОСТ 9733.27–83.

Результаты оценки устойчивости окраски к физико-химическим воздействиям и режимные параметры крашения озвученным раствором красителя (образцы № 1–8) и традиционным способом (образец № 9) приведены в таблице 3.

Как видно из таблицы 3, озвучивание раство-

ра оказывает значительное влияние на процесс крашения. На рисунке 5 представлены результаты оценки устойчивости окраски полиэфирных тканей, окрашенных по традиционному способу и с применением озвученного красильного раствора, к физико-химическим воздействиям.

В соответствии с представленными на диаграмме результатами можно сделать вывод, что при увеличении мощности и продолжительности

Таблица 3 – Параметры озвучивания красильного раствора

№ образца	Режим озвучивания раствора			Оценка устойчивости		
	Температура, °C	Мощность, Вт	Время, мин	Сухое трение	Мокрое трение	Стирка
1	40	50	5	4,5	4,5	2,5
2	40	50	10	4,0	4,0	2,5
3	40	100	5	4,5	4,0	2,5
4	40	100	10	4,0	4,5	3,0
5	70	50	5	4,5	4,5	2,5
6	70	50	10	4,5	4,5	3,0
7	70	100	5	5,0	4,5	3,5
8	70	100	10	5,0	5,0	3,5
9	100	–	60	5,0	4,5	3,5

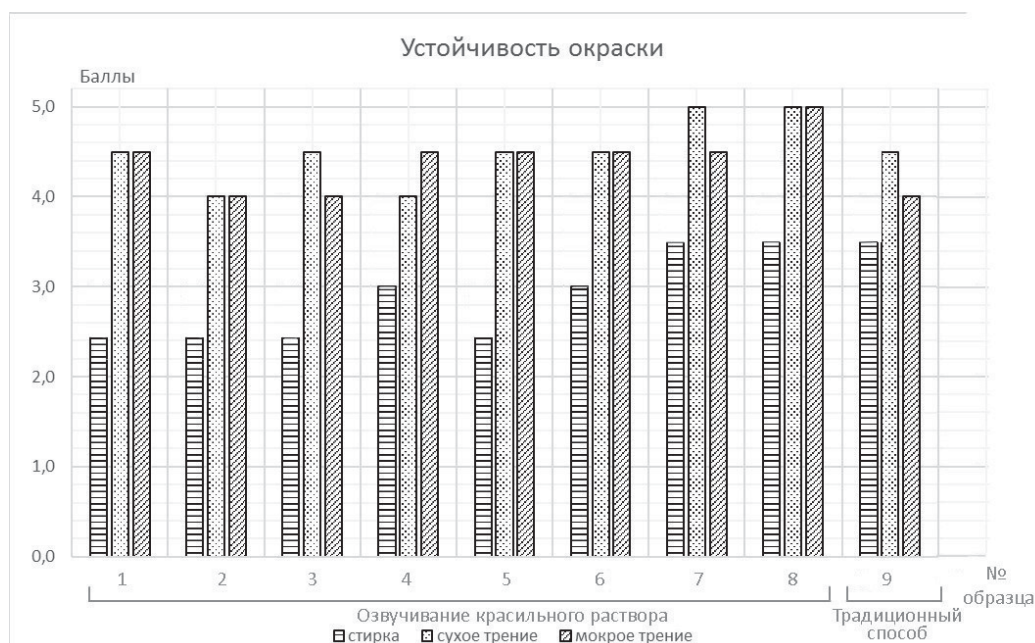


Рисунок 5 – Диаграмма устойчивости окраски к физико-химическим воздействиям



озвучивания красильных растворов увеличивается и устойчивость окраски рассматриваемых образцов к физико-химическим воздействиям. Установлено, что предварительное озвучивание красильного раствора в течение 5–10 минут с применением ультразвуковых колебаний позволяет сократить продолжительность процесса крашения полиэфирных тканей дисперсными красителями в 2 раза по сравнению с традиционным способом. При этом показатели качества окраски образцов после крашения в озвученном красильном растворе находятся на высоком уровне и соответствуют образцам, окрашенным традиционным способом. Озвучивание красильного раствора в течение 5–10 минут при мощности ультразвукового излучения 100 Вт (интенсивность 8,6 Вт/см<sup>2</sup>), температуре раствора 70 °С (образцы № 7, 8) позволяет обеспечить заметное улучшение всех рассмотренных показателей качества окраски.

Таким образом, установлено, что ключевым параметром озвучивания красильного раствора является мощность (интенсивность) ультразвуковых колебаний, что вероятно обусловлено измельчением дисперсных частиц красителя, а также процессами солюбилизации в растворе ПАВ под действием кавитации [9]. Под действием ультразвуковых колебаний в красильном растворе происходит образование пульсирующих пузырьков, их сложное движение, схлопывание и слияние друг с другом. Возникающие при этом микроударные волны (импульсы сжатия) вызывают уменьшение геометрических

размеров частиц красителя (кавитационная эрозия), способствуют их растворению, переходу в молекулярную фазу, перемешиванию в растворе, а следовательно, более эффективному проникновению и закреплению красителя в пористой структуре волокна.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований процесса крашения тканей из полиэфирных волокон дисперсным красителем установлено, что в ходе предварительного озвучивания красильного раствора в условиях ультразвуковых колебаний частотой 22–35 кГц происходит уменьшение геометрических размеров частиц красителя, что способствует их растворению и ускоряет диффузию в структуру волокна, а следовательно, позволяет снизить продолжительность процесса крашения при сохранении высокой равномерности окраски ткани.

Предложены режимные параметры подготовки красильных растворов с использованием ультразвуковых колебаний и процесса крашения полиэфирных тканей озвученным раствором красителя (предварительное озвучивание красильного раствора в течение 5–10 минут при мощности ультразвукового излучения 100 Вт (интенсивность 8,6 Вт/см<sup>2</sup>), температуре раствора 70 °С). Показано влияние режимов озвучивания красильного раствора (температура, мощность и продолжительность озвучивания) и крашения на устойчивость окраски полиэфирных тканей к физико-химическим воздействиям: к стиркам, к сухому и мокрому трению.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Айзенштейн, Э.М., Клепиков, Д.Н. (2015), Химические волокна на мировом рынке в 2015 г., *Вестник химической промышленности*, 2016, № 5, С. 36–43.
2. Кричевский, Г.Е. (2000), *Химическая технология текстильных материалов*, Москва, Т.2, 540 с.
3. Забашта, В.И. (1981), *Основы интенсификации крашения полиэфирных волокон*, Ленинград, 136 с.
4. Бизюк, А.Н., Жерносек, С.В., Ольшанский, В.И., Ясинская, Н.Н. (2014), Моделирование процесса пропитки текстильных материалов под действием СВЧ-излучения, *Известия высших учебных заведений, Технология легкой промышленности*, 2014, Т. 23, № 1, С. 16–18.
5. Бизюк, А.Н., Жерносек, С.В., Ольшанский, В.И., Ясинская, Н.Н. (2014), Исследование влияния СВЧ-излучения на показатели качества тканых полотен, *Известия высших учебных заведений, Технология текстильной промышленности*, 2014, № 2 (350), С. 17–20.
6. Жерносек, С.В., Ольшанский, В.И., Кульнев, А.О., Марецкий, С.В. (2015), Установка для СВЧ-обработки материалов, *Материалы докладов 48 Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, посвященной 50-летию университета в 2 т.*, Витебский государственный технологический университет, 2015, С. 367–368.
7. Wang, L., Zhao, H.F., Lin, J.X. Calami. (2010), Studies on the ultrasonic-assisted dyeing of poly (trimethylene terephthalate) fabric. *Coloration Technology*, 2010, 126, № 4, pp. 243–248.
8. Сафонов, В.В. (2006), *Интенсификация химико-текстильных процессов отделочного производства*, Москва, 405 с.

## REFERENCES

1. Ajzenshtejn, Je.M., Klepikov, D.N. (2015), Chemical fiber on the world market in 2015 [Himicheskie volokna na mirovom rynke v 2015 g], *Vestnik himicheskoy promyshlennosti – Journal of Chemical Industry*, 2016, № 5, pp. 36–43.
2. Krichevskij, G.E. (2000), *Himicheskaja tehnologija tekstil'nyh materialov* [The chemical technology of textile materials], Moscow, V.2, 540 p.
3. Zabashta, V.I. (1981), *Osnovy intensifikacii krashenija polijefirnyh volokon* [Basics intensification of dyeing polyester fibers], Leningrad, 136 p.
4. Bizjuk, A.N., Zhernosek, S.V., Alshanski, V.I., Yasinskaja, N.N. (2014), Simulation textile impregnation process under the action of microwave radiation [Modelirovanie processa propitki tekstil'nyh materialov pod dejstviem SVCh-izluchenija], *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij* [Proceedings of the higher educational institutions], *Tehnologija legkoj promyshlennosti – Technology of light industry*, 2014, V. 23, № 1, pp. 16–18.
5. Bizjuk, A.N., Zhernosek, S.V., Alshanski, V.I., Yasinskaja, N.N. (2014), Investigation of the effect of microwave radiation on the parameters of quality woven fabrics [Issledovanie vlijaniya SVCh-izluchenija na pokazateli kachestva tkanyh poloten], *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij* [Proceedings of the higher educational institutions], *Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti – Technology textile industry*, 2014, № 2 (350), pp. 17–20.
6. Zhernosek, S.V., Alshanski, V.I., Kulnev, A.O., Mareckij, S.V. (2015), Apparatus for the microwave processing of materials [Ustanovka dlja SVCh-obrabotki materialov], *Proceedings of the International scientific and technical conference № 48 of teachers and students dedicated to the 50th anniversary of the university*, Vitebsk State Technological University, 2015, pp. 367–368.

9. Виссарионова, О.Н., Ворончихина, Л.И. (2004), Интенсификация коллоидного растворения дисперсных красителей. *Успехи современного естествознания*, 2004, № 4, С. 54.
7. Wang, L., Zhao, H.F., Lin, J.X. Calami (2010), Studies on the ultrasonic-assisted dyeing of poly (trimethylene terephthalate) fabric. *Coloration Technology*, 2010, 126, № 4, pp. 243–248.
8. Safonov, V.V. (2006), *Intensifikacija himiko-tekstil'nyh processov otdelochnogo proizvodstva* [Intensification of chemical and textile finishing production processes], Moscow, 405 p.
9. Vissarionova, O.N., Voronchihina, L.I. (2004), Intensification of dissolving colloidal disperse dyes [Intensifikacija kolloidnogo rastvorenija dispersnyh krasitelej]. *Uspehi sovremennogo estestvoznaniija – The success of modern science*, 2004, № 4, pp. 54.

Статья поступила в редакцию 13. 03. 2017 г.

## ИНВЕРСИОННО-ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ШАМПУНЯХ

### STRIPPING VOLTAMMETRIC MONITORING OF HEAVY METALS CONTENT IN SHAMPOOS

Н.П. Матвейко\*, А.М. Брайкова, В.В. Садовский  
Белорусский государственный экономический университет

УДК 543.253  
М. Matveika\*, A. Braikova, V. Sadovski  
Belarusian State Economic University

#### РЕФЕРАТ

*ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ, КОНТРОЛЬ, ОБРАЗЦЫ ШАМПУНЕЙ, ИНВЕРСИОННАЯ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЯ*

Методом инверсионной вольтамперометрии установлено, что во всех восьми изученных образцах шампуней содержатся цинк (6,8–13,9 мг/кг), медь (0,09–1,57 мг/кг) и свинец (0,22–0,54 мг/кг), причем цинк содержится в количествах, превышающих содержание других металлов в десятки и сотни раз.

Кадмий и ртуть обнаружен в трех из восьми изученных образцов шампуней: 0,008–0,017 мг/кг и 0,02–0,39 мг/кг соответственно.

Содержание свинца и ртути в 5–22 и 2,5–50 раз меньше допустимого уровня, регламентируемого Техническим регламентом таможенного союза 009 соответственно.

#### ABSTRACT

*HEAVY METALS, MONITORING, SHAMPOOS-SAMPLES, STRIPPING VOLTAMMETRY*

Applying stripping voltammetry method it was established that all 8 shampoos samples studied contained zinc (6,8–13,9 mg/kg), copper (0,09–1,57 mg/kg) and lead (0,22–0,54 mg/kg), and zinc contained in amounts greater than other heavy metals in tens and hundreds of times.

Cadmium and mercury are found in shampoos of 3 out of 8 samples studied: 0,008–0,017 mg/kg and 0,02–0,39 mg/kg, respectively.

The content of lead and mercury is 5–22 and 2,5–50 times as low as the permissible level, regulated by the Technical Regulations of the Customs Union RHR-009, respectively.

Шампунь в гигиене человека широко применяется как средство для ухода за волосами. Жидкий шампунь впервые был разработан и представлен в торговые организации компанией Schwarzkopf в 1927 году [1,2].

Глобальный рынок в сегменте ухода за волосами к 2016 году достиг уровня в 83,1 млрд долларов США, а его главная составляющая – шампуни – вырастет к 2019 году до 25,73 млрд долларов США [3].

В 2015 г. натуральный объем продаж шампуней в России составил 416,9 млн флаконов. При этом в России произведено 386 млн флаконов шампуней, и экспорт составил 88,4 млн флаконов [4].

В состав современных шампуней входит достаточно большой перечень ингредиентов. Однако основными компонентами шампуней является вода, которая составляет по массе 65–75 %, и поверхностно-активные вещества, называемые моющей композицией (примерно от 20 до 30 %). Кроме того в шампунях содержится хлорид натрия (поваренная соль) не более 2 %. С целью придания шампуням необходимых потребительских свойств в их состав вводят ряд других ингредиентов, которые в целом составляют примерно 3 % [5]. Чаще всего это консерванты, загустители, красители, масла, аминокислоты, вытяжки из растений, белки, минералы, витамины и микроэлементы [6].

\* E-mail: matveiko\_np@mail.ru (M. Matveika)

При использовании шампуни контактируют с открытыми частями тела человека, поэтому необходим контроль и нормирование качества этого вида парфюмерно-косметических товаров. Так органолептические и физико-химические показатели качества шампуней регламентируются ГОСТ 31696 [7]. Требования к содержанию токсичных компонентов нормируются другими техническими нормативными правовыми актами (ТНПА) [8-10].

Согласно этим ТНПА в парфюмерно-косметической продукции нормируется содержание мышьяка, свинца и ртути, которое не должно превышать (*мг/кг*): 5; 5; 1 соответственно. Очевидно, что изучение содержания токсичных компонентов и тяжёлых металлов в шампунях представляет определенный интерес и для производителей, и для потребителей этого вида жидких моющих средств.

Цель работы – определить содержание *Zn*, *Cd*, *Pb*, *Cu* и *Hg* инверсионной вольтамперометрией в образцах шампуней, представленных на рынке Республики Беларусь.

#### МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Для приготовления растворов, необходимых при изучении шампуней, использовали реактивы марки «ХЧ», а также дважды перегнанную воду. Стандартный раствор, содержащий *Zn*, *Cd*, *Pb* и *Cu*, готовили на основе Государственного стандартного образца (ГСО). Стандартный раствор, содержащий Hg, приготавливали из оксида ртути (II) марки «ЧДА» растворением в водном растворе азотной кислоты с последующим разбавлением бидистиллятом до концентрации 1 *мг/дм<sup>3</sup>*.

Значения потенциалов индикаторного электрода измерены относительно хлорсеребряного электрода сравнения в 1 *М* растворе хлорида калия.

Для исследования выбраны восемь образцов шампуней различных производителей, представленные в торговых организациях г. Минска. Во всех изученных образцах шампуней содержится большой перечень ингредиентов. Наибольшее число ингредиентов содержится в образце шампуня № 6 (33 наименования), меньше всего – в образце шампуня № 5 (9 наименований). Во всех образцах шампуней содержится хлорид натрия. Следует также отметить, что по-

верхностно-активным веществом во всех образцах шампуней является Sodium Laureth Sulfate. В работе исследуется влияние тяжёлых металлов и микроэлементов, входящих в состав шампуней на организм человека.

Содержание *Zn*, *Cd*, *Pb*, *Cu* и *Hg* в образцах шампуней определяли инверсионной вольтамперометрией на анализаторе марки ТА-4. Индикаторным электродом при определении *Zn*, *Cd*, *Pb* и *Cu* служила амальгамированная серебряная проволока, при определении ртути – проволока из сплава золота 583 пробы, поверхность которой периодически обновляли механически алмазной пастой.

Параметры и режимы проведения анализа были определены предварительными исследованиями. Установлено, что при определении *Zn*, *Cd*, *Pb* и *Cu* электрохимическую очистку индикаторного электрода следует проводить в течение 20 *с* попеременной анодной и катодной поляризацией при потенциале +100 и –1200 *мВ* соответственно. Накопление металлов на поверхности амальгамированного серебряного электрода при потенциале –1400 *мВ* в течение 20 *с*. Успокоение раствора при потенциале –1160 *мВ* в течение 10 *с*. Регистрацию вольтамперной кривой в интервале потенциалов –1160 – +100 *мВ* при скорости развертки 70 *мВ/с*.

Оптимальными параметрами и режимами анализа проб шампуней на содержание ртути оказались следующие. Электрохимическая очистка индикаторного электрода при потенциале +610 *мВ* в течение 20 *с*. Накопление ртути при потенциале –600 *мВ* в течение 80 *с*. Успокоение раствора при потенциале +360 *мВ* в течение 15 *с*. Регистрация анодной вольтамперной кривой со скоростью развертки потенциала 6 *мВ/с* от +360 *мВ* до +570 *мВ*.

Содержание тяжелых металлов в пробах шампуней рассчитывали, используя кривые разности вольтамперных кривых пробы и фона, пробы с добавкой стандартного раствора и фона, с помощью специализированной компьютерной программы «VALabTx».

Каждую пробу на содержание тяжелых металлов анализировали 4 раза. Полученные результаты обрабатывали методом математической статистики: рассчитывали относительные

стандартные отклонения ( $S_r$ ) и интервальные значения ( $\pm dx$ ) содержания **Zn**, **Cd**, **Pb**, **Cu** и **Hg** в образцах шампуней [11].

Подготовку проб шампуней проводили методом мокрой минерализации в соответствии с методическим указанием [12]. С этой целью навеску образца шампуня массой 0,3 г помещали в кварцевый стакан, добавляли 3,0 см<sup>3</sup> концентрированной азотной кислоты. Образовавшийся раствор выпаривали, применяя программируемую двухкамерную печь марки ПДП-18М, при температуре 120 °С до получения влажного осадка. После этого к осадку добавляли 2,0 см<sup>3</sup> концентрированной азотной кислоты и 0,5 см<sup>3</sup> 30%-го раствора пероксида водорода и снова выпаривали при температуре 120 °С до сухого остатка. Сухой остаток термически разлагали в камере озонирования печи ПДП-18М при температуре 450 °С в течение 30 минут. Образовавшуюся золу растворяли в смеси 2,0 см<sup>3</sup> концентрированной азотной кислоты и 0,5 см<sup>3</sup> 30%-го раствора пероксида водорода. Раствор выпаривали при температуре 120 °С до сухого остатка, а затем озоняли при температуре 450 °С в течение 30 минут. Операции растворения золы в смеси 2,0 см<sup>3</sup> азотной кислоты и 0,5 см<sup>3</sup> 30%-го раствора пероксида водорода, выпаривания и последующего озонирования при температуре 450 °С повторяли до получения однородного серо-белого остатка, не содержащей включений углерода. Этот остаток растворяли в 10 см<sup>3</sup> водного раствора, содержащего 0,1 см<sup>3</sup> концентрированной муравьиной кислоты. Из полученного раствора для анализа отбирали аликвоту каждой пробы шампуня объемом 0,2 см<sup>3</sup>, помещали в кварцевую электрохимическую ячейку, добавляли фоновый электролит, доведя объем раствора до 10 см<sup>3</sup>. Анализ проб шампуней на содержание **Zn**, **Cd**, **Pb**, **Cu** выполняли на фоне водного раствора муравьиной кислоты, концентрацией 0,36 моль/дм<sup>3</sup>. Для определения в пробах шампуней ртути использовали фоновый электролит, содержащий 0,023 моль/дм<sup>3</sup> серной кислоты и 0,003 моль/дм<sup>3</sup> хлорида калия.

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 1 приведен пример анодных вольтамперных кривых индикаторно-

го электрода из амальгмированного серебра, зарегистрированных при выполнении инверсионно-вольтамперметрического анализа пробы образца шампуня № 1.

Видно, что в фоновом электролите на анодной вольтамперной кривой индикаторного электрода из амальгмированного серебра (кривая 1) токи, свидетельствующие о протекании процессов окисления, отсутствуют. Это значит, что в условиях проведения анализа на индикаторном электроде, прежде всего, не накапливаются **Zn**, **Cd**, **Pb**, **Cu**, поскольку они отсутствуют в фоновом электролите. На анодной вольтамперной кривой индикаторного электрода, зарегистрированной в растворе пробы образца шампуня № 1 (кривая 2), наблюдается максимум тока при потенциале  $-0,98 \text{ В}$  и два небольших максимума тока окисления при потенциалах  $-0,41 \text{ В}$  и  $-0,06 \text{ В}$ . Первый максимум тока обусловлен окислением цинка, два других – окислением свинца и меди – металлами, которые были сконцентрированы на индикаторном электроде в результате электрохимического осаждения из водного раствора пробы на стадии накопления. После введения в раствор пробы добавки стандартного раствора, содержащего **Zn**, **Cd**, **Pb**, **Cu**, максимумы тока окисления **Zn**, **Pb** и **Cu** увеличиваются, кроме того появляется максимум тока при потенциале  $-0,60 \text{ В}$  (кривая 3), свидетельствующий об анодном окислении кадмия. Таким образом, в растворе пробы с добавкой стандартного раствора присутствуют четыре металла (**Zn**, **Cd**, **Pb**, **Cu**), которые концентрируются на амальгмированном серебряном электроде при проведении стадии накопления.

Анодные вольтамперные кривые аналогичного вида зарегистрированы для амальгмированного серебряного электрода при анализе образцов других изученных видов шампуней.

Пример анодных вольтамперных кривых индикаторного электрода из сплава золота 583 пробы, зарегистрированных при анализе пробы образца шампуня № 7, представлен на рисунке 2.

Из рисунка 2 видно, что на анодной вольтамперной кривой индикаторного электрода из сплава золота 582 пробы в растворе фонового электролита (кривая 1) отсутствуют токи, указывающие на протекание окислительных процессов. Это свидетельствует об отсутствии в

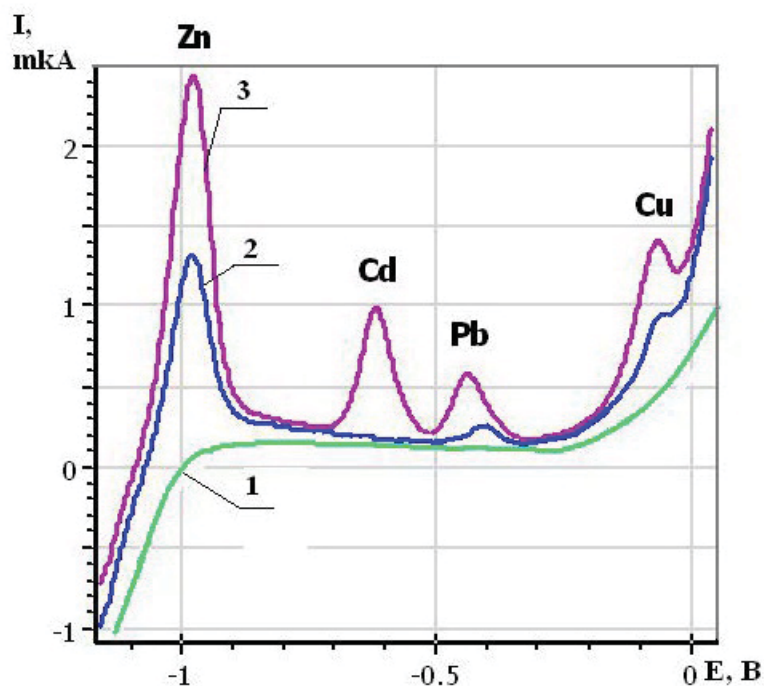


Рисунок 1 – Анодные вольтамперные кривые: 1 – фонового электролита ( $0,36 \text{ моль/дм}^3$  муравьиной кислоты); 2 – образца пробы шампуня № 1; 3 – образца пробы шампуня № 1 с добавкой  $0,03 \text{ см}^3$  стандартного раствора, содержащего по  $2 \text{ мг/дм}^3$  Cd, Pb, Cu и  $3 \text{ мг/дм}^3$  Zn. Температура раствора  $25 \text{ }^\circ\text{C}$

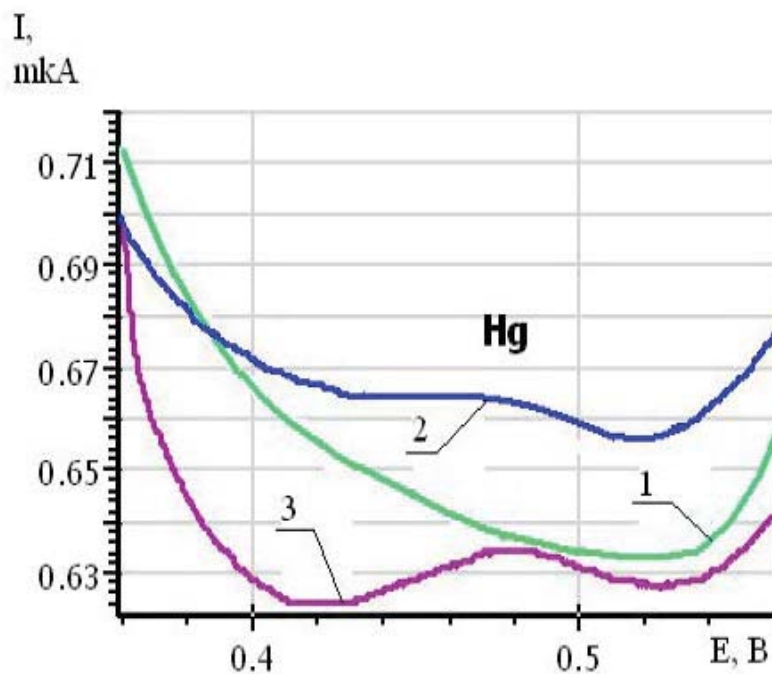


Рисунок 2 – Анодные вольтамперные кривые: 1 – фонового электролита ( $0,023 \text{ моль/дм}^3 \text{ H}_2\text{SO}_4$  и  $0,003 \text{ моль/дм}^3 \text{ KCl}$ ); 2 – пробы образца шампуня № 7; 3 – пробы образца шампуня № 7 с добавкой  $0,03 \text{ см}^3$  стандартного раствора, содержащего  $1 \text{ мг/дм}^3 \text{ Hg}$ . Температура раствора  $25 \text{ }^\circ\text{C}$

электролите веществ, способных концентрироваться на стадии электрохимического накопления. На анодной вольтамперной кривой индикаторного электрода из сплава золота 583 пробы в растворе пробы образца шампуня № 7 (кривая 2) наблюдается увеличение силы тока в интервале потенциалов +0,42 – +0,52 В, что связано с анодным окислением сконцентрированной на электроде ртути. При добавлении в раствор пробы стандартного раствора, содержащего ртуть, сила анодного тока окисления на вольтамперной кривой (кривая 3) в области потенциалов +0,42 – +0,52 В возрастает, что связано с увеличением количества ртути, осажденной на индикаторном электроде при проведении стадии накопления.

Аналогичные анодные вольтамперные кривые зарегистрированы для индикаторного электрода из сплава золота 583 пробы при анализе на содержание ртути других образцов шампуней.

По разности вольтамперных кривых пробы и фона, пробы с добавкой стандартного раствора и фона с помощью специализированной компьютерной программы VALabTx рассчитано содержание **Zn**, **Cd**, **Pb**, **Cu** и **Hg** во всех исследованных образцах шампуней.

Интервальные значения содержания **Zn**, **Cd**,

**Pb**, **Cu** и **Hg**, а также относительные стандартные отклонения, рассчитанные на основании результатов анализа образцов шампуней, представлены в таблице 1.

Анализ данных, представленных в таблице 1, показывает, что во всех изученных образцах шампуней содержится два микроэлемента: цинк и медь, а также токсичный элемент свинец. Больше всего в образцах шампуней содержится цинк: от 6,8 до 13,9 мг/кг для образцов № 2 и № 5 соответственно. Содержание меди приблизительно в 9–150 раз меньше, чем содержание цинка. При этом больше всего меди содержится в образце № 7 (1,57 мг/кг) и меньше всего в образце № 4 (0,09 мг/кг). Содержание свинца в шампунях также невелико и изменяется от 0,22 мг/кг (образец № 1) до 0,54 (образец № 7). Важно также отметить, что содержание свинца в изученных образцах шампуней в 5–22 раза меньше допустимого уровня, нормируемого Техническим регламентом таможенного союза 009 [8].

Что касается кадмия, то этот токсичный элемент в незначительных количествах (0,008–0,017 мг/кг) обнаружен лишь в трех из восьми изученных образцах шампуней: №№ 4, 7, 8. Ртуть также обнаружена лишь в трех образцах шам-

Таблица 1 – Содержание **Zn**, **Cd**, **Pb**, **Cu** и **Hg** в образцах шампуней

№ образца	Содержание металла, мг/кг									
	Zn	S <sub>r</sub> , %	Cd	S <sub>r</sub> , %	Pb	S <sub>r</sub> , %	Cu	S <sub>r</sub> , %	Hg	S <sub>r</sub> , %
1	6,8±0,2	1,64	нет	–	0,22±0,01	4,83	0,30±0,02	3,81	нет	–
2	6,9±0,2	1,62	нет	–	0,23±0,02	4,78	0,14±0,01	4,79	0,02±0,001	6,59
3	8,1±0,2	1,59	нет	–	0,51±0,03	3,84	0,43±0,02	3,56	нет	–
4	7,3±0,2	1,58	0,008±0,001	6,9	0,32±0,01	4,02	0,09±0,01	5,24	нет	–
5	13,9±0,3	1,46	нет	–	0,42±0,02	3,89	0,39±0,02	3,92	нет	–
6	9,5±0,2	1,47	нет	–	0,29±0,02	4,23	0,17±0,01	3,60	нет	–
7	10,6±0,2	1,52	0,017±0,001	5,2	0,54±0,02	3,77	1,57±0,07	3,39	0,39±0,026	4,80
8	12,8±0,2	1,35	0,015±0,001	5,7	0,51±0,03	3,84	1,55±0,08	3,60	0,33±0,023	4,95
Требования ТР ТС 009 (не более)	–	–	–	–	5	–	–	–	1	–



пуней: №№ 2, 7, 8. Причем больше всего этого токсичного элемента содержится в образце № 7 (0,39 мг/кг), а меньше всего – в образце № 2 (0,02 мг/кг). Сравнение экспериментально установленного содержания ртути с допустимым уровнем этого элемента, нормируемым Техническим регламентом таможенного союза 009, свидетельствует о том, что оно в 2,5–50 меньше требования этого ТНПА [8].

#### ВЫВОДЫ

1. Во всех изученных образцах шампуней, как показали инверсионно-вольтамперометриче-

ские исследования, содержатся микроэлементы цинк и медь, а также токсичный элемент свинец.

2. В трех образцах шампуней в небольших количествах содержатся также кадмий и ртуть.

3. Содержание цинка превышает содержание других тяжелых металлов в 9 – 150 раз.

4. Содержание токсичных элементов свинца и ртути в 5–22 и 2,5–50 раз меньше допустимого уровня, регламентируемого Техническим регламентом таможенного союза 009 соответственно.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. История вещей (2017), режим доступа: <http://история-вещей.рф/byitovaya-himiyani/istoriya.com.ua/content/istoriya-shampunya.html> (дата доступа 13.01.2017).
2. История шампуня (2017), режим доступа: <http://shampun.com.ua/content/istoriya-shampunya> (дата доступа: 13.01.2017).
3. Глобальный рынок косметики–2014: результаты, динамика, прогнозы и бренды (2017), режим доступа: <http://cosmetology-info.ru/5618/news-Globalnyy-rynok-kosmetiki--201...> (дата доступа: 13.01.2017).
4. Анализ рынка шампуней в России в 2011-2015 гг, прогноз на 2016-2020 гг (2017), режим доступа: <http://marketing.rbc.ru/research/562949987972113.shtml> (дата доступа 14.01.2017).
5. Компоненты шампуня (2017), режим доступа: <http://shampun.com.ua/category/komponenty-shampunya> (дата доступа 18.01.2017).
6. Состав шампуней, свойства и назначение входящих компонентов (2016), режим доступа: <http://pdr.ru/b8448.html> (дата доступа: 28.11.2016).
7. Продукция косметическая гигиеническая мою-

#### REFERENCES

1. *Istorija veshhej* [The history of things] (2017) [Electronic resource]. Access: <http://история-вещей.рф/byitovaya-himiyani/istoriya.com.ua/content/istoriya-shampunya.html>. Access Date: 13.01.2017.
2. *Istorija shampunja* [History shampoo] (2017) [Electronic resource]. Access: <http://shampun.com.ua/content/istoriya-shampunya>. Access Date: 13.01.2017.
3. *Global'nyj rynek kosmetiki-2014: rezul'taty, dinamika, prognozy i brendy* [The global market for cosmetics in 2014: results, dynamics, forecasts and brands] (2017) [Electronic resource]. Access: <http://cosmetology-info.ru/5618/news-Globalnyy-rynok-kosmetiki--201...> Access Date: 13.01.2017.
4. *Analiz rynka shampunej v Rossii v 2011-2015 godah, prognoz na 2016-2020 gody* [Market Analysis shampoos in Russia in 2011-2015, forecast for 2016-2020 years] (2017) [Electronic resource]. Access: <http://marketing.rbc.ru/research/562949987972113.shtml>. Access Date: 14.01.2017.
5. *Komponenty shampunja* [The components of the shampoo] (2017) [Electronic resource]. Access: <http://shampun.com.ua/category/komponenty-shampunya>. Access Date: 18.01.2017.

- щая. Общие технические условия. ГОСТ 31696-2012. Введ. 01.07.2013. Москва, Стандартинформ, 2014. 6 с.
8. О безопасности парфюмерно-косметической продукции ТР ТС 009/2011. Утвержден решением комиссии таможенного союза от 23 сентября 2011 г. № 799. 255 с.
  9. Изделия косметические гигиенические моющие. Общие технические условия. СТБ 1675-2006. – Введ. 01.08.2007. – Минск, Госстандарт Республики Беларусь, 2011. – 12 с.
  10. Гигиенические требования к безопасности парфюмерно-косметической продукции, ее производству и реализации, СанПиН № 130-А РБ. – Введ. 16.09.2008. – Минск, ГУРНПЦ РБ, 2008. – 114 с.
  11. Васильев, В.П. (2004), *Аналитическая химия: в 2 ч*, Москва, Дрофа, ч. 1, С. 122.
  12. Носкова, Г.Н., Заичко, А.В., Иванова, Е.Е. (2007), *Минерализация пищевых продуктов. Методическое пособие по подготовке проб для определения содержания токсичных элементов. Практическое руководство*, Томск, 30 с.
  6. *Sostav shampunej, svojstva i nalichie vhodjashhih komponentov* [Ingredients shampoos, properties, and assignment of incoming components] (2016) [Electronic resource]. Access: <http://pdnr.ru/b8448.html>. Access Date: 28.11.2016.
  7. *Produkcija kosmetičeskaja gigieničeskaja mojushhaja. Obshhie tehničeskie uslovija* [Products cosmetic hygiene wash. General specifications] State standard (GOST) 31696-2012. Enter. 01.07.2013. Moscow, Standartinform, 2014. 6 p.
  8. *O bezopasnosti parfjumerno-kosmetičeskoj produkcii* [On the safety of perfumery and cosmetic products] Technical regulations of the Customs Union (TR CU) 009/2011. Approved by the decision of the Commission of the Customs Union on 23 September 2011 number 799. 255 p.
  9. *Izdelija kosmetičeskie gigieničeskie mojushhie. Obshhie tehničeskie uslovija* [Cosmetic hygienic cleaning. General specifications] STB 1675-2006. Approved 01.08.2007. Minsk, State Standard of the Republic Belarus. 2011. - 12 p.
  10. *Gigieničeskie trebovanija k bezopasnosti parfjumerno-kosmetičeskoj produkcii, ee proizvodstvu i realizacii* [Hygienic requirements for the safety of perfumery and cosmetic products, their production and sale] Sanitary rules and norms № 130-A RB – Enter. 16.09.2008. - Minsk: GURNPTS Belarus, 2008. – 114 p.
  11. Vasiliev, V.P. (2004), *Analitičeskaja himija: v 2 ch* [Analytical chemistry: 2 p], Moscow, Drofa, Part 1. P. 122.
  12. Noskova, G.N., Zaichko, A.V., Ivanova, E.E. (2007), *Mineralizacija pishhevyh produktov. Metodičeskoe posobie po podgotovke prob dlja opredelenija soderžanija toksichnyh jelementov* [Mineralization food. Guidelines on the preparation of samples for the determination of the content of toxic elements. Practical Guide], Tomsk, 30 p.

Статья поступила в редакцию 01. 02. 2017 г.

## МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛЬНОЙ ФИБРЫ ДЛЯ ДИСПЕРСНОГО АРМИРОВАНИЯ БЕТОНА

### MODIFICATION OF THE STEEL FIBERS SURFACE FOR DISPERSE REINFORCEMENT OF CONCRETE

Н.П. Матвейко<sup>1\*</sup>, В.Г. Зарапин<sup>1</sup>, В.С. Артимович<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Белорусский государственный экономический университет

<sup>2</sup> ГП «БелдорНИИ»

УДК 691.328; 669.697

M. Matveika<sup>1\*</sup>, V. Zarapin<sup>1</sup>, V. Artimovich<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Belarusian State Economic University

<sup>2</sup> SE «BeldorNII»

#### РЕФЕРАТ

**ФИБРОБЕТОН, СТАЛЬНАЯ ФИБРА, МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ, АНКЕРОВКА, ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ**

*Цель работы – разработка состава композиции для модификации поверхности стальной фибры, используемой в сталефибробетоне, позволяющей усилить анкеровку фибры в бетоне и создать на ней антикоррозионный пассивирующий защитный слой.*

*Разработан новый состав модифицированной антикоррозионной композиции для обработки стальной фибры. Использование разработанной композиции дает возможность заземления стальной нити фибр в объеме бетона по всей длине за счет связывания ее поверхности с бетонной матрицей и минимизации возможности беспрепятственного растяжения фибры под действием нагрузок с одновременной защитой фибры от коррозии.*

*Обработка стальной фибры модифицированной антикоррозионной композицией может быть использована для получения стальных арматурных элементов с усиленными анкерующими свойствами. Обработка поверхности фибры модифицированной антикоррозионной композицией позволяет существенно (более чем на 60 %) повысить предел прочности дисперсно-армированного бетона с одновременной защитой фибры от коррозии, что позволит увеличить долговечность дисперсно-армированных бетонов.*

#### ABSTRACT

**FIBER CONCRETE, STEEL FIBER, SURFACE MODIFICATION, ANCHORING, CORROSION PROTECTION**

*The purpose is to develop composition for surface modification of steel fibers used for steel fiber concrete to strengthen the anchoring fibres in concrete and create it corrosion passivating protective layer.*

*A new composition of modified anticorrosion compositions is developed for processing of steel fibers. The use of the developed composition allows for steel filament fibers to volume concrete throughout its length by binding the surface with a concrete matrix and to minimize the possibility of unimpeded stretching of the fibers under the action of loads, while still protecting the fibers from corrosion.*

*Processing of steel fibers modified anticorrosive composition can be used to receive reinforcing steel elements with reinforced anchoring properties. Surface treatment of fiber modified anticorrosion composition can significantly (more than 60 %) increase the tensile strength of dispersion-reinforced concrete, while still protecting the fiber from corrosion, which enables to increase durability dispersion-reinforced concrete.*

\* E-mail: [matveiko\\_np@mail.ru](mailto:matveiko_np@mail.ru) (M. Matveika)

Большинство строительных сооружений в настоящее время возводится с использованием бетонов. Для увеличения ударной прочности, сопротивления на разрыв, прочности при растяжении и изгибе используют вторичное армирование бетона. В конструкционном бетоне для этих целей применяют стальную арматуру, а в бетонных перекрытиях – металлическую сетку. Однако присутствие в цементных бетонах электролитов приводит к коррозии стальной арматуры, что обуславливает образование пустот, которые являются концентраторами напряжений, ведущими к снижению эксплуатационных свойств. Для улучшения коррозионных свойств конструкций, одного из условий обеспечения качества возводимых зданий и сооружений, применяют новые эффективные строительные материалы, в том числе бетоны, армированные при помощи фибры. Такой бетон (фибробетон) представляет собой композиционный материал, состоящий из цементной матрицы с равномерным или заданным распределением по ее объему ориентированных, но чаще хаотично расположенных волокон (фибр) различного происхождения. В качестве дисперсного армирующего материала (фибр) широко применяют различные волокна. Материалом таких волокон или фибр могут быть металлы, базальт, минеральные, искусственные и синтетические полимеры [1].

Использование фибры позволяет избежать недостатков, которые связаны с коррозией арматуры вследствие минимизации верхнего защитного слоя бетона, поскольку фибра армирует бетон дисперсно и насыщает его по всему объему. В настоящее время самым распространенным вариантом фибры для армированного дисперсным способом бетона является стальная фибра, которая производится различными мировыми производителями в достаточно больших объемах. Использование стальной фибры обусловлено в первую очередь таким свойством стали, как технологическая возможность изготовления фибры различного профиля, размера и состава. Кроме того, стальные фибры имеют более высокие прочностные характеристики по сравнению с фибрами из полимерных материалов или минеральных волокон. Наконец, стоимость стальной фибры и ее производства существенно ниже стоимости фибр из других

материалов [2].

На показатели прочности сталефибробетона существенно влияет качество анкеровки фибр в бетонной матрице. Способов улучшения анкеровки фибры в бетоне существует достаточно много, большинство из которых защищено патентами. Например, существует способ получения стальных арматурных элементов (фибр) для дисперсного армирования бетона с улучшенными анкерующими свойствами, состоящий в изготовлении металлического волокна в виде плоского протяженного основания со сквозной перфорацией, снабженного анкерами из кристаллитов металла [3]. Предлагаются также фибры в виде отрезка проволоки с равномерно деформированными участками, имеющими выступы и впадины в форме волны в трехмерном измерении [4]. Известны фибры в виде проволочного тора эллипсоидного или сферического профиля с выпусками-анкерами в виде усов [5]. Однако такие фибры имеют некоторые недостатки. Во-первых, сложность изготовления стальных арматурных элементов вследствие их непростой конфигурации. Во-вторых, из-за развитости формы такие фибры склонны к комкованию и имеют высокую способность сцепляться между собой с образованием «ежей». Это препятствует их равномерному распределению в бетонной смеси, и, как следствие, приводит к формированию в дисперсно-армированном бетоне областей с повышенным и пониженным содержанием фибры, в результате чего фибробетон состоит из участков с различными физико-механическими характеристиками.

Недостатком стальных фибр, изготовленных, как правило, из низкоуглеродистой стали, является также их низкая коррозионная стойкость, что с учетом малых поперечных сечений стальных арматурных элементов, даже при небольшом коррозионном разрушении фибр в процессе эксплуатации сталефибробетона приводит к существенному снижению его механических свойств. Для повышения коррозионно-защитных свойств поверхности стальной волоконной фибры предлагается, например, проводить ее обработку раствором фосфата цинка [6]. Однако такая обработка позволяет повысить коррозионную стойкость стальной фибры, находящейся в индивидуальном (изолированном) состоянии, а

не в составе фибробетона. Тонкий механически непрочный защитный слой, сформированный обработкой фибры раствором фосфата цинка, разрушается и теряет свои защитные свойства в процессе эксплуатации фибробетона вследствие механических воздействий, приводящих к растяжению и сжатию фибры.

Цель работы – разработка состава композиции для модификации поверхности стальной фибры, используемой в сталефибробетоне, позволяющей усилить анкеровку фибры в бетоне и создать на ней антикоррозионный пассивирующий защитный слой.

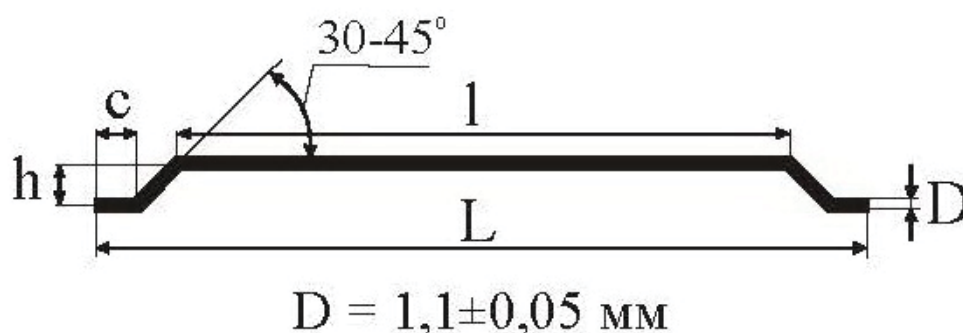
#### МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Поскольку задачей исследований является исключение или минимизация возможности беспрепятственного растяжения фибры под действием внешних нагрузок, применяя заземление стальной нити фибры по всей ее длине в объеме бетона вследствие повышения ее сцепляемости с бетонной матрицей при одновременной защите от коррозионного разрушения, то в качестве основы композиции для модифицирования фибр использовали антикоррозионные составы, разработанные нами ранее [7]. В эти антикоррозионные составы вводили добавки, способствующие повышению сцепляемости поверхности стальной фибры с бетоном. В качестве таких модифицирующих добавок использовали жидкое стекло, мелкодисперсный кварцевый песок и тонкодисперсную порошковую глину, которые

вводили в антикоррозионные композиции в количестве до 20 мас. %.

Исследование величины сцепляемости стальной поверхности, обработанной модифицированной антикоррозионной композицией, с бетоном проводили на образцах из стали Ст3 (ГОСТ 380-71). Стальные образцы в форме прутьев диаметром 4 мм, обрабатывали модифицированными различными добавками антикоррозионными композициями, анкеровали в смесь, приготовленную из портландцемента ПЦ 500 – Д 20 (ГОСТ 31108-03) и песка в соотношении 1:4 при водоцементном соотношении 1:2 на глубину анкеровки в 25–30 мм. Величину прочности сцепления поверхности стали с бетоном определяли статическим выдергиванием анкерowanych в бетон прутьев после достижения бетоном возраста в 28 суток и рассчитывали сцепляемость ( $S$ , МПа) как отношение нагрузки, необходимой для выдергивания анкерowanego прута, к площади поверхности анкеровки.

Дисперсное армирование бетона для исследований влияния обработки фибры на прочность последнего проводили с использованием стандартной стальной фибры, производимой РУП «Белорусский металлургический завод». Фибра выполнена в виде металлической нити с прямолинейным протяженным средним участком и разнесенными от середины сопряженными с ним двумя анкерами (рисунок 1). Такая конструкция позволяет фиксировать элементы фибр за



$$L = 60 \pm 3 \text{ мм}$$

$$h = 3 \pm 2 \text{ мм}$$

$$l = 48 \pm 4 \text{ мм}$$

$$c = 4 \pm 3 \text{ мм}$$

Рисунок 1 – Геометрические параметры стальной фибры

счет анкеровки в бетоне концевых участков.

Поскольку более 80 % длины фибры составляет прямая металлическая нить, основной целью было усилить сцепление с цементным камнем этого прямолинейного участка. Для этого поверхность фибры обрабатывали модифицированной антикоррозионной композицией, усиливающей анкеровку и ингибирующей коррозию. Фибру до закладки в бетонную смесь предварительно обезжиривали, а затем погружали в модифицированную антикоррозионную композицию, извлекали и высушили на воздухе. Образцы сталефибробетона готовили на основе цементного раствора, состоящего из 5,5 кг песка, 1,8 кг цемента марки ПЦ-500 и 0,9 кг воды (водоцементное соотношение  $V/C = 0,5$ ), в который вводили 0,285 кг фибры. Образцы готовили в форме балочек размером 40×40×160 мм, которые после формования хранились 28 суток в камере нормального твердения, после чего их испытывали на растяжение при изгибе в соответствии с ГОСТ 310.4 – 81.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам проведенных исследований было установлено, что наилучшей модифицирующей добавкой к антикоррозионным составам для усиления сцепляемости поверхности стальных фибр с бетоном является тонкодисперсная глина. Антикоррозионные композиции с жидким стеклом и кварцевым песком не позволяют добиться достаточного эффекта увеличения сцепляемости стальной фибры с бетоном.

Глина является наиболее перспективным модифицирующим компонентом антикоррозионной композиции для улучшения адгезивных свойств поверхности стали по отношению к бетону, во-первых, потому что она достаточно химически устойчива и способна образовывать с антикоррозионной композицией коллоидные дисперсные системы. Во-вторых, глина широко распространена, поэтому доступна и имеет низкую стоимость.

Глина представляет собой мелкозернистую осадочную горную породу, пылевидную в сухом состоянии, состоящую преимущественно из оксида кремния (~ 47 мас. %) и оксида алюминия (~ 39 мас. %) с диаметром частиц менее 5 мкм [8]. Поскольку глина является одним из видов сырья при производстве цемента, ее применение

в качестве наполнителя и создание на ее основе модифицированной антикоррозионной композиции в дисперсно-коллоидном состоянии представляется вполне обоснованным.

Экспериментально установлено, что среди антикоррозионных составов [7], наибольшую эффективность для получения модифицирующей композиции показал состав, содержащий 24 г/дм<sup>3</sup> фосфата цинка, и 98 г/дм<sup>3</sup> ортофосфорной кислоты (75 %). В качестве модифицирующей добавки к антикоррозионной композиции использовали глину белую (анапскую), представляющую собой тонкодисперсный порошок светло-серого цвета, содержащий не более 1,5–2 % влаги. Введение глины к антикоррозионному составу выполняли при непрерывном перемешивании раствора, что позволило равномерно распределить частицы глины во всем объеме и перевести их во взвешенное, достаточно устойчивое во времени состояние. Частичная седиментация суспензии глины происходит примерно через 6–8 часов, однако при кратковременном перемешивании или встряхивании композиция вновь приобретает однородность.

На рисунке 2 приведена зависимость сцепляемости ( $S$ , МПа) бетонной смеси с поверхностью стальных образцов, обработанных модифицированной антикоррозионной композицией, от содержания в ней глины, полученная по результатам статического выдергивания анкерowanych в бетон стальных прутьев.

С увеличением содержания добавки – глины – в композиции вначале имеет место возрастание сцепляемости, а потом ее снижение. Добавка мелкодисперсной глины, компоненты которой в большинстве своем по отношению к компонентам антикоррозионной композиции являются инертными веществами, скорее всего, приводит к формированию более прочной и устойчивой пленки с более высокой шероховатостью поверхности. Кроме того, поскольку глина входит в состав портландцемента, из которого изготавливают бетонные смеси, адгезионные силы между компонентами бетона и фосфатными частицами, содержащими аналогичные компоненты, выше, чем без них. В результате получается плавное распределение микрочастиц кремнезема и глинозема между защитным слоем и объемом бетона. Все эти факторы, очевидно, приводят к

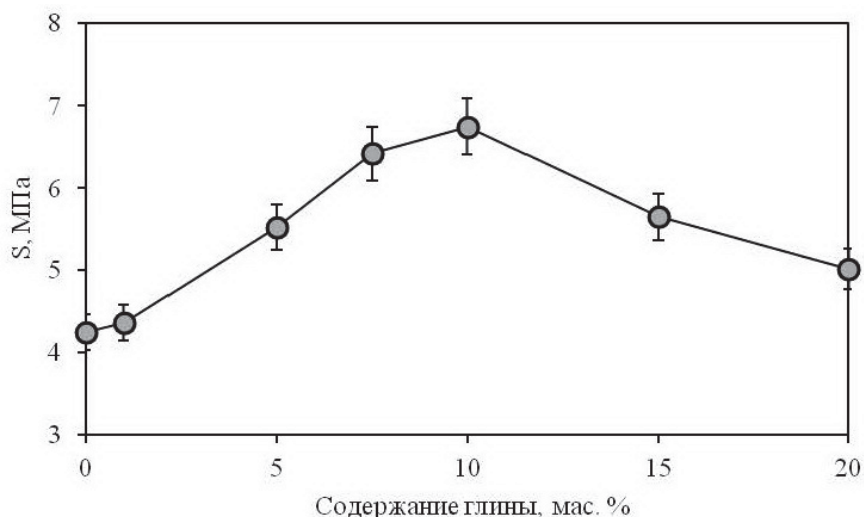


Рисунок 2 – Зависимость сцепляемости бетона со сталью, обработанной модифицированной антикоррозионной композицией, от содержания в ней глины

увеличению сил сцепления бетонной смеси со стальными поверхностями, обработанными модифицированными глиной антикоррозионными композициями. При достаточно высоком содержании глины в композициях, вероятно, количество микрочастиц глины превышает некоторый предел, после которого сцепление частиц защитной пленки на поверхности стали становится меньше, и при больших количествах глины в составе композиций образуется менее прочный слой, что приводит к снижению сцепляемости поверхности стали с бетоном.

Таким образом, установлено, что для обработки стали наиболее эффективно использовать модифицированную добавлением глины до 10 мас. % антикоррозионную композицию, что позволяет увеличить сцепляемость поверхности стали с бетоном в 1,85 раза по сравнению со сцепляемостью необработанной поверхности. Интересно отметить, что обработка поверхности стали антикоррозионной композицией, содержащий 24 г/дм<sup>3</sup> фосфата цинка, и 98 г/дм<sup>3</sup> ортофосфорной кислоты (75 %), но не модифицированной глиной также увеличивает сцепляемость с бетоном, но лишь на 16 %.

В таблице 1 представлены результаты испытаний на растяжение при изгибе образцов бетона без наполнителя и с тремя видами наполнителей: из стальной фибры, не подвергнутой обработке; из стальной фибры, обработанной

антикоррозионной композицией; из стальной фибры, обработанной модифицированной антикоррозионной композицией.

Актуальность проведенных исследований обусловлена тем, что стальная фибра, применяемая для дисперсного армирования бетона, не имеет химической связи с бетоном, обладает низкой сцепляемостью, и не позволяет в достаточной степени образовывать прочную анкеровку. Стальная фибра обладает малым поперечным сечением и при эксплуатации подвергается коррозии и разрушению, что существенно снижает прочность дисперсно-армированных бетонов. Эти недостатки устраняются использованием нового разработанного состава модифицированной антикоррозионной композиции для обработки стальной фибры.

Научной новизной проведенных исследований является возможность зацементации стальной нити фибры в объеме бетона по всей длине за счет связывания ее поверхности с бетонной матрицей и минимизации возможности беспрепятственного растяжения фибры под действием нагрузок с одновременной защитой фибры от коррозии.

Практическое значение результатов исследований заключается в том, что разработанная композиция для обработки стальной фибры для дисперсного армирования бетонов состоит из недорогих исходных компонентов, что позво-

Таблица 1 – Результаты определения предела прочности образцов бетона

№ обр.	Тип фибры	Дозировка фибры, масс. %	Разрушающая нагрузка, Н	Предел прочности, МПа
1	без фибры	нет	2295,20	5,34
2	без фибры	нет	2310,40	5,26
3	без фибры	нет	2314,50	5,24
4	фибра без обработки	0,0285	3198,90	7,24
5	фибра без обработки	0,0285	2681,94	6,07
6	фибра без обработки	0,0285	3085,72	7,00
7	фибра, обработанная антикоррозионной композицией	0,0285	3008,47	6,97
8	фибра, обработанная антикоррозионной композицией	0,0285	2868,79	6,48
9	фибра, обработанная антикоррозионной композицией	0,0285	2845,09	6,36
10	фибра, обработанная модифицированной антикоррозионной композицией	0,0285	4824,11	11,20
11	фибра, обработанная модифицированной антикоррозионной композицией	0,0285	4139,26	9,61
12	фибра, обработанная модифицированной антикоррозионной композицией	0,0285	5551,65	12,00

ляет минимизировать денежные затраты на ее производство. Результаты работы могут быть внедрены в практику обработки стальной фибры для дисперсного армирования бетонов при производстве изделий и сооружений из сталефибробетона в гражданском и промышленном строительстве, дорожном строительстве, мостостроении.

#### ВЫВОДЫ

По результатам проведенных экспериментальных исследовательских работ установлено, что обработка стальной фибры модифициро-

ванной глиной антикоррозионной композицией может быть использована для получения стальных арматурных элементов с усиленными анкерующими свойствами. Обработка поверхности фибры модифицированной глиной антикоррозионной композицией позволяет существенно (более чем на 60 %) повысить предел прочности дисперсно-армированного бетона с одновременной защитой фибры от коррозии, что позволит увеличить долговечности дисперсно-армированных бетонов.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Войлоков, И.А. (2007), Армирование фиброй как средство улучшения коррозионной стойкости бетона. *Инфострой*, 2007, № 3 (33), С. 42-44.
2. Савченко, В. Сталефибробетон – новый конструкционный материал (2013), режим доступа: <http://allby.tv/article/2167/stalefibrobeton-novyyi-konstruktsionnyiy-material> (дата доступа: 20.01.2017).
3. Ахметшин, М.Р., Ахметшин, Р.Р., Ласковский, С.И., Подольский, В.А., Ткаченко, В.А., Штейнерт, В.А. (2006), Металлическое волокно В.А. Шейнерта. *Патент РФ № 2278180*, МПК С 22 С 49/14, опубл. 20.06.2006.
4. Шеметов, Г.В., Аксанов, Р.М., Камалутдинов, И.М., Камалутдинов, М.К. (2011), Арматурный элемент для дисперсного армирования бетона. *Патент РФ № 2433227*, МПК Е 04 С 5/00, опубл. 10.11.2011.
5. Трофимов, В.И., Данилова, О.Г., Лопиков, Р.И., Соколов, Э.В. (2013), Арматурный элемент для дисперсного армирования бетона. *Патент РФ № 2490406*, МПК Е 04 С 5/03, опубл. 20.08.2013.
6. Son, M. (2014), Corrosion protection method of steel fibers. *Patent CN 103787603 A*, C04B 14/48, Suzhou Institute of Technology, China, publ. 14.05.2014.
7. Матвейко, Н.П., Зарапин, В.Г., Бусел, Е.А. (2012), Антикоррозионная композиция для защиты арматуры и закладных деталей железобетона. *Вестник ВГТУ*, 2012, Вып. 23, С. 113-119.
8. Ceramic portal.ru (2013), режим доступа: [http://ceramicportal.ru/articles/keramicheskoye\\_massy.htm](http://ceramicportal.ru/articles/keramicheskoye_massy.htm) (дата доступа: 16.01.2017).

## REFERENCES

1. Voilokov, I.A. (2007), Reinforcement fiber reinforcement as a means of improving the corrosion resistance of concrete [Armirovaniye fibroj kak sredstvo uluchsheniya korrozionnoj stoikosti betona], *Infostroy – Infostroy*, 2007, № 3 (33), P. 42-44.
2. Savchenko, V. *Stalefibrobeton – novyy konstruksionnyy material* [Steel fiber reinforced concrete – a new construction material] (2013) [Electronic resource]. Access: <http://allby.tv/article/2167/stalefibrobeton-novyyi-konstruktsionnyiy-material>. Access Date: 20.01.2017.
3. Ahmetshin, M.R., Ahmetshin, R.R., Laskovskij, S.I., Podolskij, V.A., Tkachenko, V.A., Shteinert, V.A. (2006), *Metallicheskoe volokno V.A. Shteinerta* [Metallic fiber V.A. Sheinart], Patent RF № 2278180, МПК С 22 С 49/14, publ. 20.06.2006.
4. Shemetov, G.V., Aksanov, R.M., Kalamutdinov, I.M., Kalamutdinov, M.K. (2011), *Armaturnyy element dlja dispersnogo armirovaniya betona* [Reinforcing element for dispersed reinforcement of concrete], Patent RF № 2433227, МПК Е 04 С 5/00, publ. 10.11.2011.
5. Trofimov, V.I., Danilova, O.G., Lopakov, R.I., Sokolov, E.V. (2013), *Armaturnyy element dlja dispersnogo armirovaniya betona* [Reinforcing element for dispersed reinforcement of concrete], Patent RF № 2490406, МПК Е 04 С 5/03, publ. 20.08.2013.
6. Son, M. (2014), Corrosion protection method of steel fibers. Patent CN 103787603 A, C04B 14/48, Suzhou Institute of Technology, China, publ. 14.05.2014.
7. Matveiko, N.P., Zarapin, V.G., Busel, E.A. (2012), Anticorrosive composition for protection of reinforcement and embedded parts of reinforced concrete [Antikorrozionnaja kompozicija dlja zaschity armatury i zakladnyh

detalej zhelezobetona], *Vestnik VGTU – Vestnik VSTU*, 2012, Edit. 23, P. 113-119.

8. Ceramic portal.ru (2013) [Electronic resource]. Access: [http://ceramicportal.ru/arti-cles/keramicheskye\\_massy.htm](http://ceramicportal.ru/arti-cles/keramicheskye_massy.htm). Access Date: 16.01.2017.

*Статья поступила в редакцию 21. 02. 2017 г.*

## ЭКОЛОГИЧЕСКИ ОРИЕНТИРОВАННОЕ ПОВЫШЕНИЕ КВАЛИФИКАЦИИ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ УЧРЕЖДЕНИЙ ВЫСШЕГО, СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

## ECOLOGICALLY ORIENTED PROFESSIONAL DEVELOPMENT OF TEACHERS OF HIGHER AND SECONDARY SCHOOLS AND VOCATIONAL TRAINING COLLEGES

**Е.Т. Тимонова\*, А.В. Гречаников,  
И.Ю. Семенчукова, И.А. Тимонов**  
*Витебский государственный технологический университет*

УДК 502.3:62  
**A. Tsimanava\*, A. Hrachanikau,  
I. Semianchukova, I. Tsimanov**  
*Vitebsk State Technological University*

### РЕФЕРАТ

*ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ, ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ ОБУЧЕНИЕ, КУРСЫ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ*

*Основной целью представленной работы является создание новой концепции практико-ориентированного экологического образования преподавателей профессионально-технических учреждений. Данная цель реализуется путем разработки учебно-методических материалов для дистанционных курсов повышения квалификации. При этом решаются задачи формирования у слушателей курсов представления о направлениях решения экологических проблем современности; тенденциях развития образования в целях устойчивого развития; практико-ориентированных технологиях обучения; теоретической базе и практических возможностях создания экологически безопасных производств и продукции.*

*Разработка курсов осуществлялась в рамках международного проекта TEMPUS Eco-BRU «Экологическое образование для Беларуси, России и Украины». Общая концепция курсов определена на базе анализа действующих учебных планов в сфере профессионального образования, анкетирования потенциальных участников целевых групп и студентов, а также рекомендаций партнеров по проекту из стран ЕС. Содержание курсов адаптировано для преподавателей, осуществляющих*

### ABSTRACT

*ECOLOGICAL EDUCATION, PRAKTIKO-FOCUSSED TUTORING, ADVANCED TRAINING COURSES*

*The article analyses problems which lead to the necessity of development of the new concept of the practice-oriented ecological education. It is noted that one of the factors constraining development of tutoring and education in this direction is low level of readiness of the modern teacher for exercise of education in the field of ecological environment. On the basis of the research held within the international project TEMPUS EcoBRU «Ecological Education for Belarus, Russia and Ukraine» and educational and methodical materials of distant advanced training courses for teachers of professional educational institutions are developed. The main objective of the developed courses is integration of knowledge of ecological environment and a subject of vocational training of specialists on the basis of the practice-oriented approach. The developed courses have been tested in target groups of teachers, and also in educational process of «VSTU» and received positive assessment of experts of the project. Introduction of courses promotes inclusion of an ecological component in process of vocational training of specialists, realization of the practice-oriented approach in tutoring, to formation of ecological competence of future specialists.*

\* E-mail: [timonovaet@gmail.com](mailto:timonovaet@gmail.com) (A. Tsimanava)

*подготовку специалистов технической и технологической направленности (машиностроение, легкая промышленность).*

*Разработанные курсы успешно прошли апробацию в целевых группах преподавателей, а также в учебном процессе студентов УО «ВГТУ» и получили положительную оценку экспертов проекта.*

*Внедрение курсов способствует включению экологической составляющей в процесс профессиональной подготовки специалистов, реализации практико-ориентированного подхода в преподавании, формированию экологической компетентности будущих специалистов.*

Хозяйственная деятельность человека приобретает все более глобальный характер. В результате человечество существенно меняет процессы, проходящие в биосфере: сокращаются площади естественных экосистем; изменяется климат Земли; загрязняется Мировой океан; деградируют земли; уменьшается биологическое разнообразие и так далее. Указанные проблемы широко обсуждаются в средствах массовой информации и находят отражение в многочисленных законодательных актах. Тем не менее, существенного улучшения состояния окружающей среды не наблюдается. Причиной такого несоответствия является то, что в обществе не укоренилось сознание необходимости защиты окружающей среды, отсутствуют необходимые компетенции в сфере экологически ориентированного образования, поэтому недостаточно проявляется экологическая ответственность.

Эффективность экологического образования остается недостаточно высокой и не удовлетворяет современным требованиям общества. Одним из факторов, сдерживающих развитие обучения и воспитания в данном направлении, является низкий уровень готовности современного преподавателя к осуществлению образования в области окружающей среды, недостаточное учебно-методическое и материально-техническое обеспечение соответствующей образовательной сферы.

Существуют две основные проблемы. Первая связана с тем, что традиционные образовательные подходы определяют симптомы или

предлагают способы уклонения от экологических проблем, но не дают ответ на вопрос, как предотвратить возникновение проблем. Вторая проблема заключается в том, что это знание носит теоретический характер и не развивает практико-ориентированную компетентность. Практико-ориентированный подход в экологическом образовании реализуется лишь тогда, когда определяются естественнонаучные основы экологических проблем в контексте профессиональной деятельности человека.

Для преодоления существующих проблем в университетах Беларуси, России и Украины с 2014 года осуществляется совместный проект TEMPUS, поддерживаемый университетами-партнерами из стран Европейского Союза. Целями проекта являются:

1. Разработка программ повышения квалификации по экологическому образованию для учителей и преподавателей в контексте многоуровневой системы образования в Беларуси, России и Украине.
  2. Тестирование, внедрение, признание на официальном уровне и последующее использование учебных дистанционных курсов по экологическому образованию преподавателей в контексте многоуровневой системы образования.
  3. Внедрение и модернизация учебных программ с учетом экологически ориентированного содержания и защиты окружающей среды.
- Витебский государственный технологический университет является участником проекта

TEMPUS EcoBRU «Экологическое образование для Беларуси, России и Украины». Совместно с партнерами по проекту из УО «Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины» и УО «Полесский государственный университет» разработаны учебные программы повышения квалификации в области экологического образования преподавателей УВО, УССО, УПТО.

Для определения основных направлений обучения и приоритетов при разработке программ повышения квалификации преподавателей был проведен анализ действующих учебных планов в сфере профессионального образования, а также анкетирование потенциальных участников целевых групп и студентов.

Анализ учебных планов показал, что основной упор в преподавании экологических дисциплин делается на теоретическую подготовку учащихся. Рассмотренные учебные планы содержат крайне малое количество практических занятий. Их количество достигает всего 5–12 % от общего объема часов. Это подтвердило слабую практико-ориентированность профессионального образования в данной области.

Для идентификации «проблемного поля» преподавателям и студентам всех учреждений-партнеров были предложены анкеты, разработанные институтом технологий и образования Университета г. Бремен. Анкеты были разработаны для трех целевых групп респондентов: доценты-преподаватели, студенты-специалисты, студенты педагогических специальностей. К 20.10.2014 было зафиксировано 3385 анкет. В анкетировании участвовало 17 партнерских учреждений из России, Украины и Беларуси.

Анализ анкет выявил пять тематических направлений профессиональных интересов, наиболее часто встречающихся в ответах, по трем группам респондентов (рисунки 1, 2, 3). Как показали исследования, во всех группах респондентов наблюдается высокая заинтересованность в освоении вопросов охраны окружающей среды [1].

При анкетировании было сформулировано также семь положений, каждое из которых соотносилось с определенным комплексом вопросов. Затем эти положения сравнивали с обобщающим с точки зрения тематики и содержания вопросом, хотя он не был заявлен как таковой.

Положения проекта:

- «юрисдикция», то есть ответственность государства за устойчивую экологичную хозяйственную и частную деятельность;
- «экономика», то есть обоснование и одновременно соотношение этой деятельности с требованиями экономических связей;
- «образование», то есть субъективная способность к вынесению суждений по поводу экологически грамотного поведения;
- «мотивация», то есть выдвижение экологических целей как результат сформированной убежденности в ходе профессиональной деятельности;
- «дидактика», то есть обогащение профессионального обучения с целью получения экологической компетенции в профильной квалификации;
- «интерес», то есть личные взгляды и мнения преподавателей, студентов-специалистов и студентов педагогических специальностей;
- «ПЭО», то есть платформа дистанционного обучения, объединяющая профессиональную подготовку и экологическое образование.

На основе обработки анкет вырисовалась довольно цельная картина преобладающей практики преподавания, а наряду с ней и практики обучения. Она характеризуется значительной профессиональной специализацией, сильной зависимостью от учебной программы, преобладанием традиционных методов обучения и заметной удаленностью от тех сторон социальной, экономической и технологической действительности, которые не включены в систему академического образования [1].

Выявленное «проблемное поле» позволило сформулировать общую концепцию курсов и на ее основе разработать конкретные программы курсов повышения квалификации преподавателей. Согласно рекомендациям экспертов в программе ЕкоБРУ предложено выделить три тематических блока: общее экологическое образование (I); специальное профессионально-научное образование (II); конкретная связь с профессиональной деятельностью (III). Их можно охарактеризовать следующим образом:

I. Общее экологическое образование. Здесь речь идет, прежде всего, об экологическом мышлении с точки зрения естествознания.

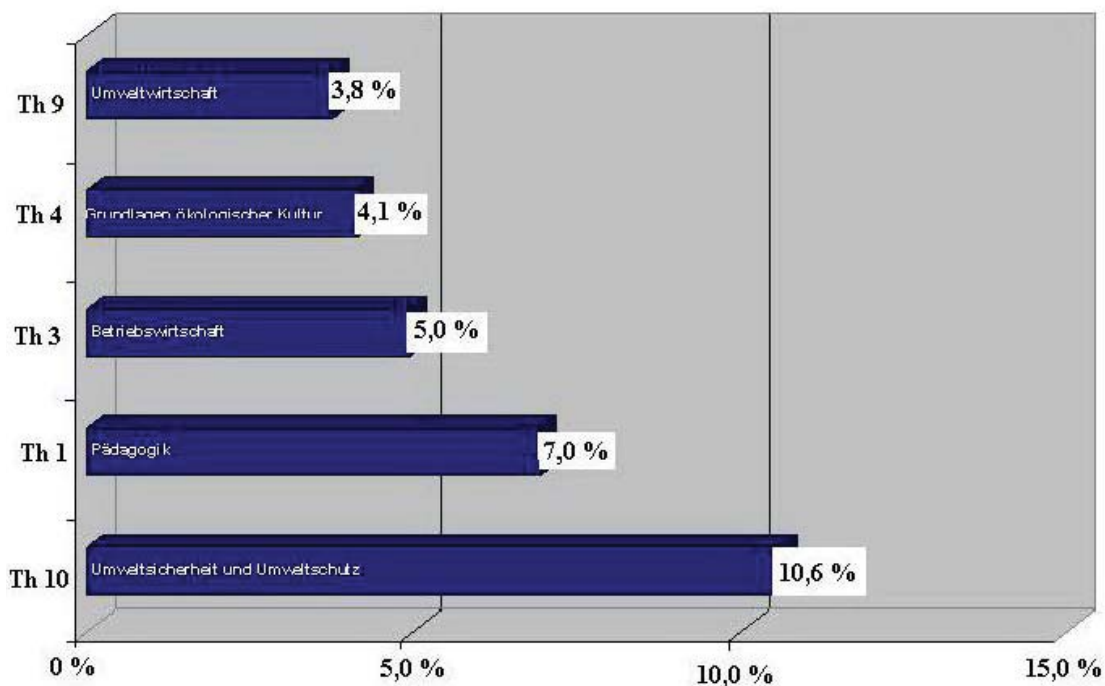


Рисунок 1 – Основные направления профессиональных интересов респондентов: **Th9** – Экономика природопользования; **Th4** – Основы экологической культуры; **Th3** – Экономика и организация производства; **Th1** – Педагогика; **Th10** – Охрана окружающей среды

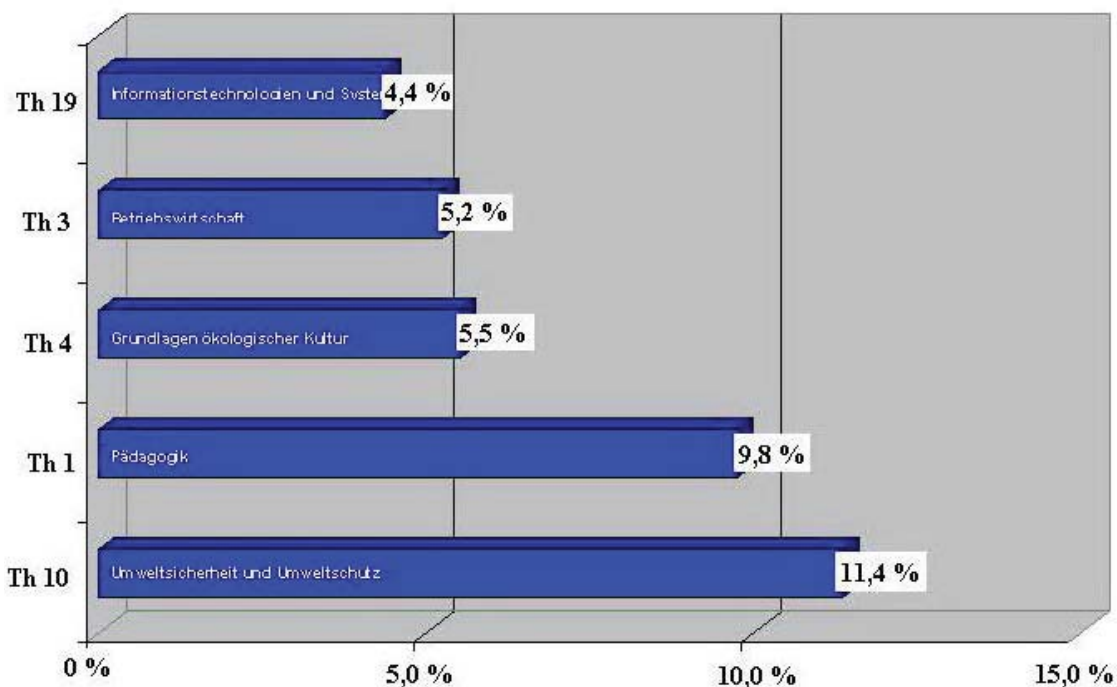


Рисунок 2 – Основные направления профессиональных интересов доцентов/преподавателей: **Th19** – Информационные системы и технологии; **Th3** – Экономика и организация производства; **Th4** – Основы экологической культуры; **Th1** – Педагогика; **Th10** – Охрана окружающей среды

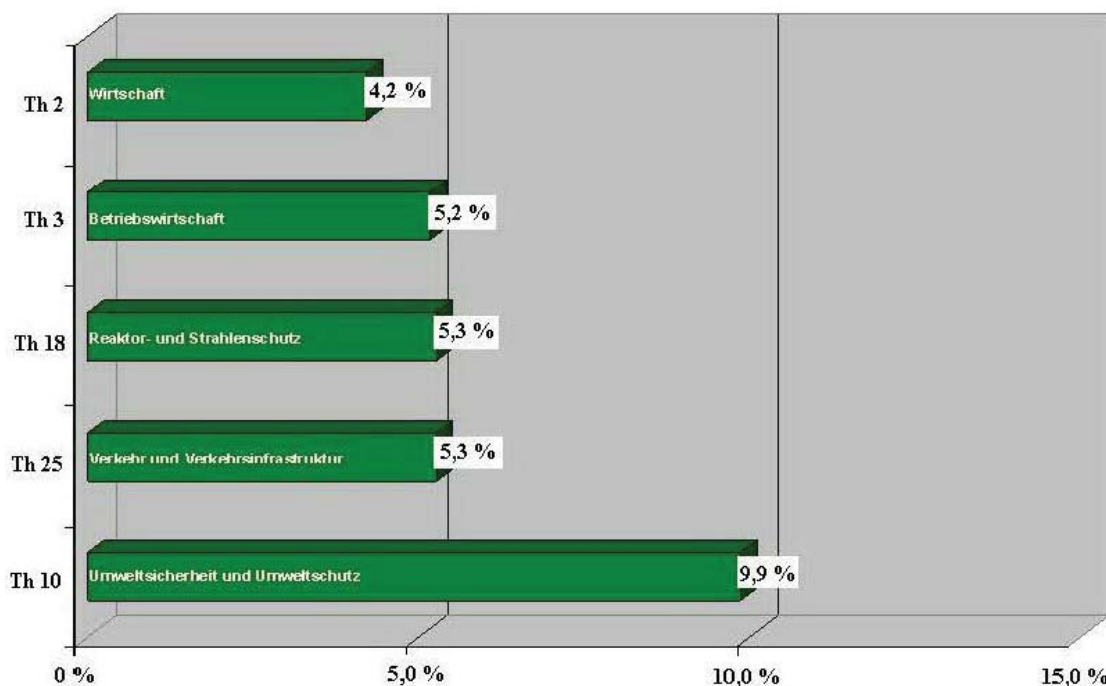


Рисунок 3 – Основные направления профессиональных интересов студентов-специалистов: **Th2** – Экономика, менеджмент; **Th3** – Экономика и организация производства; **Th18** – Радиационная безопасность; **Th25** – Технология; **Th10** – Охрана окружающей среды

Типичной экологической формой мышления является создание и поддержание равновесия внутри экосистем. Изучение их возникновения, строения, функционирования, источников угроз загрязнения. Основная идея здесь – сохранение экосистем и их защита, восстановление экологически безопасных условий и их стабилизация.

II. Специальное профессионально-научное образование. Здесь особую роль играют концепции защиты окружающей среды, в частности, новые нормативно-правовые положения национального или международного уровня. В курсе повышения квалификации должны освещаться возможности реализации предписаний и содержаться указания к их практическому применению в определенной области.

III. Конкретная связь с профессиональной деятельностью. Данный блок посвящен вопросам ресурсосбережения на фоне тесной связи экономики и экологии в ходе ежедневной, обычной профессиональной деятельности. Здесь речь идет о реально осуществимой деятельности, способной изменить существующую практику. В разрабатываемых курсах необходимо устано-

вить экологические аспекты производственной деятельности и продемонстрировать конкретные примеры желаемого или осуществленного изменения общепринятой практики, выявленные на предприятиях.

На основе проведенных исследований и предложенных подходов к созданию курсов ЭкоБРУ под руководством преподавателей УО «ВГТУ» были разработаны учебные программы курсов:

- «Экологическое образование как базовая составляющая биосферосовместимой деятельности работников техносферы»;
- «Совершенствование экологического образования на основе практико-ориентированного подхода».

Разработанные курсы направлены на повышение квалификации преподавателей высших учебных заведений, колледжей, профессионально-технических училищ, осуществляющих подготовку специалистов технической и технологической направленности (машиностроение, легкая промышленность).

Основной целью обучения является интегра-

ция знаний об окружающей среде и предмете профессиональной подготовки специалистов на базе практико-ориентированного подхода [2].

В связи с этим решаются задачи обучения:

- сформировать у слушателей курсов представление о направлениях решения экологических проблем современности;
- ознакомить с тенденциями развития образования в целях устойчивого развития;
- проанализировать современные практико-ориентированные технологии обучения;
- освоить теоретическую базу и практические возможности создания экологически безопасных производств и продукции.

В целях расширения целевой аудитории слушателей и более полного удовлетворения их разноплановых интересов в области включения знаний об окружающей среде в преподаваемые курсы был выбран модульный принцип обучения, согласно которому каждый слушатель может самостоятельно определить глубину изучения отдельных вопросов курса, то есть обучаться по индивидуальной программе.

Курс «Экологическое образование как базовая составляющая биосферосовместимой деятельности работников техносферы» состоит из 3-х модулей.

1. Экологические проблемы и перспективы взаимодействия человека с природой.
2. Экологическое образование – базовая составляющая устойчивого развития.
3. Основные направления экологизации производства и проектирования продукции.

В модуле 1 приведены теоретические сведения, раскрывающие современные проблемы взаимодействия человека с окружающей природной средой; обоснованы возможности биосферосовместимой деятельности людей и проанализированы стратегии мирового развития в целях преодоления экологического кризиса. Особое внимание уделено основным положениям концепции устойчивого развития, обеспечивающим гармонизацию взаимоотношений человека и природы. Фактически данный модуль направлен на реализацию основного подхода в экологическом образовании «Мыслить глобально, действовать локально» в части «Мыслить глобально...».

Модуль 2 посвящен анализу современных

тенденций развития экологического образования. В нем рассмотрены основные подходы в формировании экологической компетенции будущих специалистов технических специальностей, принципы практико-ориентированного обучения, педагогические технологии обучения, отвечающие современным требованиям образования в целях устойчивого развития [3]. В качестве базовой идеи для модуля 2 взяты слова академика Г.А. Ягодина: «Экологическое образование – это не часть образования, а новый смысл и цель современного образовательного процесса – уникального средства сохранения и развития человечества и продолжения человеческой цивилизации».

Тематика рассматриваемых в модуле 2 вопросов приведена на рисунке 4.

Поскольку курс разработан для преподавателей технических и технологических специальностей, особое место занимает модуль 3. Он посвящен вопросам реализации конкретных мер по улучшению ситуации во взаимодействии промышленного производства с окружающей средой (вторая часть принципа «...действовать локально»). В нем подробно рассматриваются:

- основные положения концепции промышленной экологии,
- современные подходы к организации экологически чистого производства,
- практические методы идентификации экологических аспектов деятельности на рабочих местах,
- оценка значимости экологических аспектов деятельности,
- обоснование проведения природоохранных мероприятий,
- требования к проектированию экологически безопасной продукции[4].

Материалы разработанных курсов содержат тексты лекций; учебно-наглядные пособия (схемы, таблицы, презентации, видеоматериалы); ссылки на электронные учебные пособия, нормативно-правовые акты, статьи и др.; перечень используемой литературы.

Важной составляющей разработанных курсов являются практические занятия и самостоятельная работа слушателей. Их тематика разнообразна, а объем достаточно велик. Однако слушатель совместно с руководителем курса в





процессе обсуждения принимает решение – в какой области он будет работать более углубленно, то есть какие практические задания и в каком объеме будет выполнять.

Контроль освоения слушателями заложенной в курсе информации осуществляется в процессе проверки практических заданий, результатов модульного тестирования, анализа электронного портфолио слушателя. Важное значение имеют взаимное обсуждение и оценка самими слушателями курса, самоанализ.

Для успешного освоения курса до каждого участника доводятся вопросы для самостоятельного контроля знаний по каждой теме, тематика тестовых заданий по каждому модулю, требования к содержанию и оформлению электронного портфолио [5].

В целях апробации разработанных курсов некоторые темы были включены в учебный процесс для студентов, изучающих экологические дисциплины. Это позволило отработать механизм взаимодействия в системе дистанционного обучения. Последующий контроль усвоения зна-

ний студентами показал хорошие результаты.

Апробация курсов в целевых группах преподавателей прошла в марте 2016 года. 1 апреля 2016 г. состоялся выпуск двух групп слушателей курсов повышения квалификации. По окончании курсов участники отметили возможности:

- рассмотрения широкого спектра вопросов экологического характера;
- выбора наиболее интересной и нужной информации, соответствующей сфере профессиональной деятельности;
- оценить перспективы развития образования в современных условиях;
- найти новые идеи для включения экологической составляющей в преподаваемые дисциплины;
- постоянной обратной связи с руководителями курсов современными средствами дистанционного обучения;
- самостоятельно определять время и место обучения, исходя из своей повседневной занятости [6].

В сентябре 2016 года прошли мероприя-

тия по распространению результатов проекта, проведенные с участием преподавателей колледжей из Беларуси, России и Украины, а также экспертов из стран-партнеров по ЕС. После качественного анализа материалов, представленных УО «ВГТУ», разработанные курсы получили положительную оценку.

#### ВЫВОДЫ

1. На базе проведенных исследований дидактики экологического образования и актуальных тем защиты окружающей среды разработана общая концепция экологически ориентированных программ повышения квалификации и переподготовки кадров преподавателей УВО, УССО, УПТО.

2. Разработаны программы и учебно-методические материалы для дистанционных курсов повышения квалификации в области экологического образования преподавателей, осуществляющих подготовку специалистов технической и технологической направленности (машиностроение, легкая промышленность).

3. Разработанные курсы расширяют возможности включения экологической составляющей в процесс профессиональной подготовки специалистов и реализации практико-ориентированного подхода в преподавании.

4. Реализация разработанных курсов способствует формированию экологической компетентности будущих специалистов в их профессиональной деятельности.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Исследование состояния и развития экологического образования : первый 188 отчет = Erhebung zu Stand und Entwicklung ökologischer Bildung : erster Bericht.*, Минск, РИ-ПО, 2015, 84 с., ил.
2. Тимонова, Е.Т., Гречаников, А.В., Семенчукова, И.Ю. (2015), Разработка концепции курсов по экологическому образованию в проекте TEMPUS EcoBRU, 48-я республиканская научно-техническая конференция преподавателей и студентов, посвящённой 50-ю университета, *Материалы докладов, Т-2*, Витебск, 2015, С. 61–63.
3. Тимонова, Е.Т., Тимонов, И.А. (2014), Формирование экологических компетенций выпускников технических специальностей, Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии, *Материалы Международной научно-технической конференции БГТУ*, Минск, 2014, С. 441–444.
4. Тимонова, Е.Т., Гречаников, А.В., Тимонов, И.А. (2016), Современные направления экологизации учебных дисциплин для студентов техни-

#### REFERENCES

1. *Issledovanie sostojanija i razvitijaj ekologicheskogo obrazovanija : pervyj 188 otchet* [Erhebung zu Stand und Entwicklung ökologischer Bildung : erster Bericht], Minsk, RIPO, 2015, 84 p., ill.
2. Tsimanava, A., Hrachanikau, A., Semianchukova, I. (2015), Development of the concept of courses by ecological education in the TEMPUS EcoBRU project [Razrabotka koncepcii kursov po jekologicheskomu obrazovaniju v proekte TEMPUS EcoBRU], *The 48th republican scientific and technical conference of teachers and students, devoted 50 university, Materials of reports, V-2*, Vitebsk, 2015, pp. 61–63.
3. Tsimanava, A., Tsimanov, I. (2014), Formation of ecological competences of graduates of technical specialties [Formirovanie jekologicheskikh kompetencij vypusknikov tehnicheskikh special'nostej], Resource- and energy saving technologies and equipment, ecologically safe technologies, *Materials of the BSTU International scientific and technical conference*, Minsk, 2014, pp. 441–444.
4. Tsimanava, A., Hrachanikau, A., Tsimanov, I.

- ческих специальностей, 49-я республиканская научно-техническая конференция преподавателей и студентов, *Материалы докладов, Т-1*, Витебск, 2016, С. 303 – 305.
5. Тимонова, Е.Т., Гречаников, А.В., Семенчукова, И.Ю. (2015), Повышение квалификации преподавателей по вопросам экологизации образования, Тенденции и перспективы создания региональных систем дополнительного образования взрослых, *Сборник материалов Международной научно-практической конференции ВГТУ*, Витебск, 2015, С. 149 – 152.
6. Тимонова, Е.Т., Гречаников, А.В., Семенчукова, И.Ю. (2016), Разработка и апробация курсов повышения квалификации преподавателей в рамках международного проекта TEMPUS «EcoBRU», 49-я республиканская научно-техническая конференция преподавателей и студентов, *Материалы докладов, Т-1*, Витебск, 2016, С. 325 – 327.
- (2016), The modern directions of greening of subject matters for students of technical specialties [Sovremennye napravlenija jekologizacii uchebnyh disciplindlja studentov tehnicheskikh special'nostej], *The 49th republican scientific and technical conference of teachers and students, Materials of reports, V-1*, Vitebsk, 2016, pp. 303–305.
5. Tsimanava, A., Hrachanikau, A., Semianchukova, I. (2015), Professional development of teachers of questions of greening of education, Tendency and prospect of creation of regional systems of additional education of adults [Povyshenie kvalifikacii prepodavatelej po voprosam jekologizacii obrazovanija. Tendencii i perspektivy sozdaniya regional'nyh system dopolnitel'nogo obrazovanija vzroslyh], *Collection of materials of the VSTU International scientific and practical conference*, Vitebsk, 2015, pp. 149–152.
6. Tsimanava, A., Hrachanikau, A., Semianchukova, I. (2016), Development and approbation of advanced training courses of teachers within the international TEMPUS «EcoBRU» project [Razrabotka i aprobacija kursov povyshenija kvalifikacii prepodavatelej v ramkah mezhdunarodnogo proekta TEMPUS «EcoBRU»], *The 49th republican scientific and technical conference of teachers and students, Materials of reports, V-1*, Vitebsk, 2016, pp. 325 – 327.

Статья поступила в редакцию 27.01.2017 г.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ОСАЖДЕНИЯ ОКСАЛАТА КОБАЛЬТА

## OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF COBALT OXALATE DEPRIVATION

**В.К. Шелег<sup>1</sup>, А.С. Ковчур<sup>2\*</sup>, С.М. Денисенко<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Белорусский национальный технический университет

<sup>2</sup> Витебский государственный технологический университет

<sup>3</sup> ООО «ТрейдСервисГрупп»

УДК 621.762

**V. Sheleg<sup>1</sup>, A. Kovchur<sup>2\*</sup>, S. Dzianisenka<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Belarusian National Technical University

<sup>2</sup> Vitebsk State Technological University

<sup>3</sup> LLC «TradeServiceGroup»

### РЕФЕРАТ

*ТЕХНОГЕННЫЙ ПРОДУКТ, ОПТИМИЗАЦИЯ, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ОСАЖДЕНИЕ, ПОРОШОК, КОБАЛЬТ*

*В данной статье производится поиск оптимальных параметров процесса осаждения оксалата кобальта из частично подготовленных кобальтосодержащих материалов гальванических техногенных продуктов. Проведена статистическая обработка полученных данных эксперимента, предложена модель зависимости массы осажденного оксалата кобальта от концентрации и объема раствора щавелевой кислоты и выполнена графическая интерпретация данных. Проведена оптимизация параметров осаждения для получения максимального выхода оксалата кобальта с наибольшей скоростью. Установлено, что наибольшее количество оксалата кобальта, составляющее около 0,54 г, осаждается при использовании 29 мл раствора щавелевой кислоты с концентрацией 35 г/л. Выявлено, что для практически полного осаждения оксалата кобальта необходимо на 0,2 г  $Co^{2+}$  добавлять 1,0 г щавелевой кислоты или в мольном соотношении на 1 моль соли кобальта 2,5 моль щавелевой кислоты.*

### ABSTRACT

*TECHNOGENIC PRODUCTS, OPTIMIZATION, MATHEMATICAL MODEL, DEPOSITION, POWDER, COBALT*

*In this article we search for optimal parameters for the deposition of cobalt oxalate from partially prepared cobalt-containing materials of galvanic technogenic products. The obtained experimental data were processed, a model of the dependence of the cobalt oxalate weight on the concentration and volume of the oxalic acid solution was proposed, and a graphic interpretation of the data was performed. Optimum deposition parameters were optimized to obtain the maximum yield of cobalt oxalate at the highest rate. It was found that the greatest amount of cobalt oxalate, about 0,54 g, is deposited using 29 ml of a solution of oxalic acid with a concentration of 35 g/l. It was found that for practically complete precipitation of cobalt oxalate, it is necessary to add 1,0 g of oxalic acid to 0,2 g of  $Co^{2+}$  or, in a molar ratio of 1 mole of cobalt salt, 2,5 moles of oxalic acid.*

В настоящее время комплексный и интегрированный характер промышленного производства, включающий в себя гальванические технологические процессы, предъявляет особые требования к современному экологическому

мониторингу. Последний состоит из мониторинга окружающей среды (мониторинг воздуха, шума, качества воды, почвы), менеджмента энергоресурсов, водопотребления отходов и стоков. Поэтому концепции экологической безопасно-

\* E-mail: askovch@tut.by (A. Kovchur)

сти базируется сегодня на квалифицированном, хорошо обученном персонале, современных технологиях переработки отходов или техногенных продуктов с наивысшими стандартами безопасности одинаковыми для всех стран. Современные концепции экологической безопасности позволяют по новому оценить существующие экологические проблемы и пути их решения, в том числе и кобальтосодержащие техногенные продукты. В то же время многие техногенные продукты промышленности, представляющие большой практический интерес, остаются недостаточно востребованными. Большинство отходов промышленного производства отходами не являются, поскольку успешно могут заменить природные ресурсы, а во многих случаях по своим качественным показателям являются уникальным сырьём [1, 2].

Соединения кобальта могут попадать в человеческий организм при частом контакте с химическими веществами, применяемыми в стекольной, цементной и металлургической промышленности. В этом случае кобальтосодержащие вещества проникают в организм через органы дыхания. Наиболее токсичными для организма человека являются металлический кобальт, хлорид и карбонат кобальта. Избыток кобальта в организме проявляется в виде кровотечений, отёка лёгких, нарушений работы щитовидной железы, повышения кровяного давления, ухудшения работы нервной системы и сердечной мышцы [3].

Мировое производство кобальта по оценкам Института развития кобальта (Cobalt Development Institute – CDI) в 2015 году, составило около 98 000 тонн, а объем возвращаемого из техногенных продуктов около 10 000 тонн [4]. При этом по данным Лондонской биржи цветных металлов (London Metal Exchange - LME) стоимость 1 кг около 40 долларов США [5].

Химический состав порошка кобальта марки ПК-1у полученного электролизом, регламентируется стандартом ГОСТ 9721-79. Данная марка содержит не менее 99,35 % кобальта (*Co*) и не более 0,2 % железа (*Fe*), а также 0,4 % никеля (*Ni*).

Способность сохранять магнитные свойства после однократного намагничивания свойственна лишь немногим металлам, в том числе и кобальту. Кобальт плохо поддается износу, доста-

точно пластичен.

Поэтому с помощью кобальтового порошка можно:

- получать материалы с заданными свойствами;
- применять отходы металла для его производства;
- не подвергать механической обработке изделия, полученные из него;
- совмещать основное производство необходимых материалов и готовых изделий.

Кобальтовый порошок нашел широкое применение в промышленности. Основные направления, в которых используется порошок кобальта:

- производство инструментальных сталей и сплавов, а также твердых сплавов;
- изготовление постоянных магнитов;
- нанесение износостойких покрытий;
- изготовление лакокрасочной продукции.

Отсутствие сырьевой базы при проводимой модернизации промышленного комплекса нашей страны вызывает необходимость проведения на перспективу исследований в области переработки и утилизации кобальтосодержащих соединений из техногенных продуктов. Поэтому получение порошка кобальта из отходов гальванического производства является актуальной научно-производственной задачей.

В настоящее время для электролитического осаждения кобальта наибольшее распространение получили сульфатные электролиты. Их достоинством является высокая устойчивость: анионы серноокислых солей не восстанавливаются на катоде и не окисляются на аноде. Сульфатные электролиты менее токсичны и агрессивны, чем хлоридные, и обладают высокой электропроводностью. Они могут быть весьма концентрированными, так как сульфаты хорошо растворяются в воде, а осадки из этих электролитов содержат меньше водорода, чем осадки, полученные, например, из хлоридных электролитов при тех же условиях. Исследования и анализ по извлечению кобальта из таких техногенных продуктов проводились ранее [6]. Однако если исходные соединения кобальта содержатся в любой другой растворимой соли, то последовательность его получения будет идентичной. В случае присутствия щелочных растворов кобальта их необ-

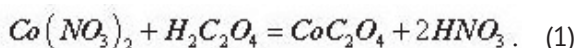
ходимо нейтрализовать азотной кислотой и перевести кобальт в солеобразующее состояние.

Целью работы является определения оптимальных параметров осаждения кобальта в виде оксалата с минимальными затратами на реагент, щавелевую кислоту.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для определения оптимальных параметров осаждения кобальта в виде оксалата используется раствор соли  $Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ , содержащий 20 г/л  $Co^{2+}$ , объемом 10 мл. В качестве реагента использовали щавелевую кислоту  $H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$  квалификации «ХЧ». При этом концентрация щавелевой кислоты принимала значения 20, 25, 30, 35 г/л, а объемы приливаемого раствора щавелевой кислоты равнялись 20, 25, 30, 35 мл.

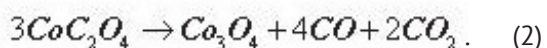
Добавление раствора щавелевой кислоты различной концентрации проводили таким образом, чтобы кислоты было не менее стехиометрически рассчитанного количества, исходя из уравнения реакции:



Эксперимент проводили при комнатной температуре, постоянно перемешивая раствор. Через 10 минут раствор фильтровали с помощью фильтра «синяя лента» в течение 180 секунд. Осадок высушивали при комнатной температуре в течение суток, затем отделяли от фильтра и взвешивали на аналитических весах марки Adventurer с точностью до 0,001 г.

С целью получения порошка кобальта высушенный осадок оксалата кобальта помещали в пробирку, снабженную клапаном Бунзена, и термически разлагали при температуре приблизительно 300 °С.

Реакция разложения оксалата кобальта:



Клапан Бунзена представляет собой короткую резиновую трубку, посередине которой сделан продольный разрез. Верхний конец трубки закрыт стеклянной палочкой. Благодаря такому устройству газы выходят из колбы, а воздух в колбу не попадает, то есть он препятствует проникновению кислорода воздуха в реакционную

среду, что позволяет получать кобальт, а не его оксид [7].

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Выходным параметром при поиске оптимума процесса осаждения оксалата кобальта из растворов нитрата кобальта является масса получаемого оксалата кобальта. Варьируемыми параметрами являются концентрация раствора и объем добавляемой щавелевой кислоты. Для каждой концентрации, а также объема раствора реагента в указанных интервалах проводили по пять измерений и осуществляли статистическую обработку результатов согласно [8] для определения средних арифметических значений, а также ошибок измерения, рассчитав стандартные отклонения ( $S$ ) и интервальные значения ( $\pm \Delta x$ ) при доверительной вероятности  $P = 0,95$ .

Средние арифметические значения результатов проведенных исследований представлены в таблице 1.

Была предложена модель зависимости массы осажденного оксалата кобальта от объема и концентрации раствора щавелевой кислоты. Для предложенной модели по полученным экспериментальным численным данным с использованием программы STATISTICA for Windows найдены коэффициенты модели, которая имеет следующий вид:

$$Y = -0,3946 + 0,0301 \cdot x_1 + 0,0298 \cdot x_2 - 0,003 \cdot x_1^2 + 0,0004 \cdot x_1 x_2 - 0,003 \cdot x_2^2, \quad (3)$$

где  $x_1$  – концентрация щавелевой кислоты, г/л;  $x_2$  – объем щавелевой кислоты, мл.

Графическая интерпретация результатов исследования представлена на рисунке 1.

В результате проведенных исследований и оптимизации процесса осаждения оксалата кобальта из растворов нитрата кобальта на основе анализа графика линий равного уровня видно, что наибольшее количество оксалата кобальта, составляющее около 0,54 г, осаждается при использовании 29 мл раствора щавелевой кислоты с концентрацией 35 г/л. Для практически полного осаждения кобальта, с учетом молярной массы веществ, необходимо на 0,2 г  $Co^{2+}$  добавлять 1,0 г щавелевой кислоты или в мольном

Таблица 1 – Масса оксалата кобальта (г) в зависимости от концентрации и объема раствора щавелевой кислоты

Концентрация раствора щавелевой кислоты, г/л	Объем раствора, мл			
	20	25	30	35
20	0,403	0,490	0,506	0,514
25	0,489	0,521	0,528	0,531
30	0,515	0,531	0,546	0,553
35	0,546	0,547	0,548	0,553

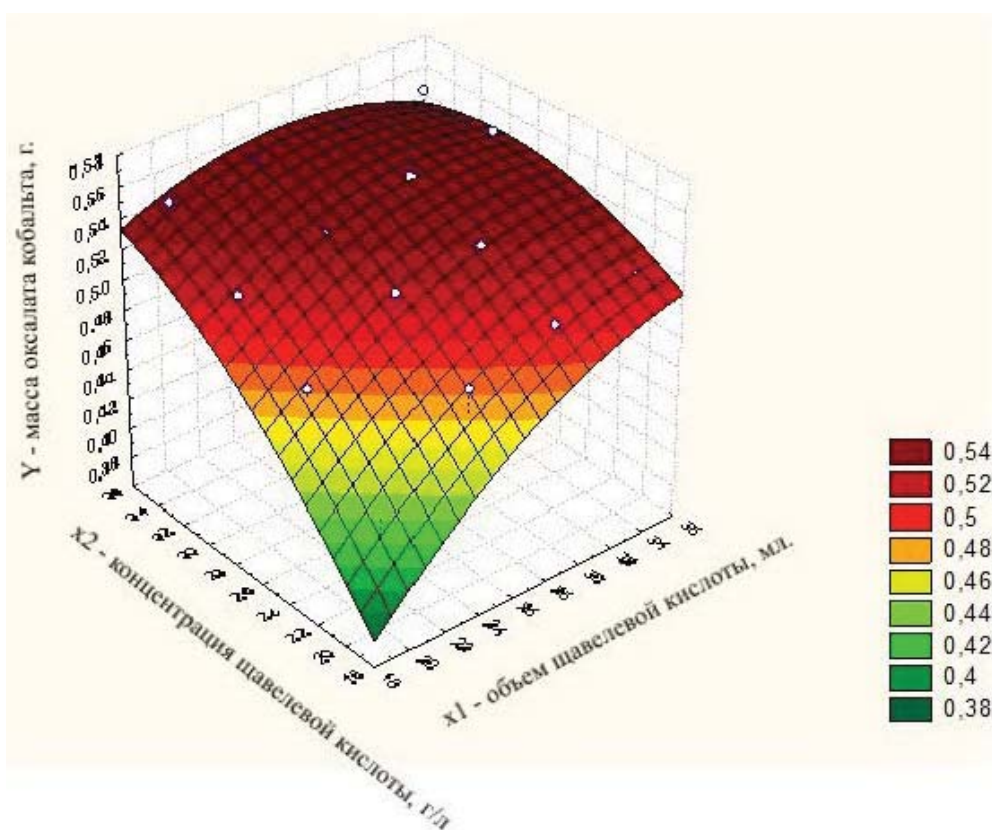


Рисунок 1 – Зависимость массы осажденного оксалата кобальта от концентрации и объема раствора щавелевой кислоты

соотношении на 1 моль соли кобальта 2,5 моль щавелевой кислоты. Таким образом, на каждый 1 г получаемого  $Co^{2+}$  следует добавлять до 5 г щавелевой кислоты.

#### ВЫВОД

Разработана математическая модель зависимости массы осажденного оксалата кобальта от концентрации и объема щавелевой кислоты при осаждении из растворов нитрата кобальта.

Установлены оптимальные параметры для получения максимального выхода продукта

реакции – оксалата кобальта: концентрация раствора щавелевой кислоты 35 г/л, объем щавелевой кислоты 29 мл.

Полученные данные могут быть использованы для химических расчетов при утилизации кобальтовых соединений гипохлоритным или реагентным методами, а выделенный в дальнейшем порошок кобальта может послужить сырьем для производства инструментальных, электротехнических и других материалов.

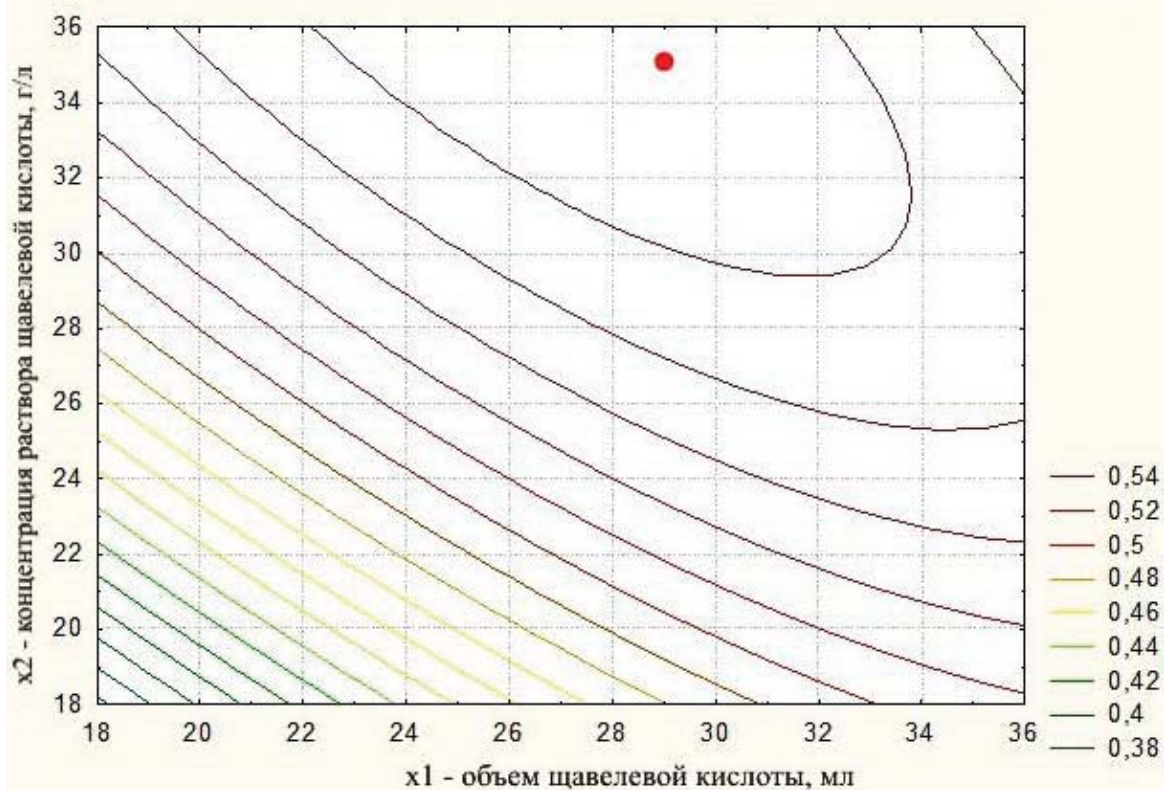


Рисунок 2 – График линий равного уровня массы осажденного оксалата кобальта

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бусел, А.В. (1994), Использование крупно-тоннажных бытовых и промышленных отходов, *Строительные материалы*, 1994, № 9, С. 7–9.
2. Дворкин, Л.И., Дворкин, О. Л. (2007), *Строительные материалы из отходов промышленности*, Ростов-на-Дону, Феникс, 2007, 368 с.
3. Портал аналитической химии, режим доступа: <http://www.chemical-analysis.ru/novosti-saita/kobalt-vred-i-polza.html> (дата доступа 08.01.2017)
4. Про кобальт: Институт Развития кобальта, режим доступа: <http://www.thecdi.com> (дата до-

### REFERENCES

1. Busel, A.V. (1994), Use of large-capacity household and industrial wastes [Ispol'zovanie krupnotonnazhnyix byitovyix i promyshlennyix otchodov], *Construction materials*, 1994, № 9, pp. 7–9.
2. Dvorkin, L.I., Dvorkin, O.L. (2007), *Stroitel'nyie materialyi iz otchodov promyshlennosti: uchebno-spravochnoe posobie* [Construction materials from waste of the industry: educational handbook], Rostov-na-Dony, Phoenix, 368 p.
3. Portal analiticheskoi himii [Analytical Chemistry portal], available at: <http://www.chemical-analysis.ru/novosti-saita/kobalt-vred-i-polza.html> (accessed 08 January 2017).



ступа 08.01.2017)

5. Лондонская биржа цветных металлов, режим доступа: <http://www.lme.com> (дата доступа 08.01.2017)
6. Пятов, В.В, Ковчур А.С. (2013), Извлечение кобальта из отходов гальванического производства, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2013, Вып. 24, С. 112–116.
7. Пивоваров, Д.А., Голубчикова, Ю.Ю., Ильин, А.П. (2012), Получение порошков металлов и их оксидов термическим разложением оксалатов Cu, Ni, Co, *Известия Томского политехнического университета*, 2012, Т. 321, № 3, С. 11–16.
8. Васильев, В.П. (2004), *Аналитическая химия: в 2 ч.*, Москва, Дрофа, ч. 1, 366 с.
4. About Cobalt: Cobalt Development institute, available at: <http://www.thecdi.com> (accessed 08 January 2017).
5. London Metal Exchange, available at: <http://www.lme.com> (accessed 08 January 2017)
6. Pytov, V.V, Kovchur, A.S. (2013), Extraction of cobalt from waste galvanic production [Izvlечение kobalta iz othodov galvanicheskogo proizvodstva], *Vestnik VGTU – Vestnik of the State Technological University*, 2013, № 24, pp. 112–116.
7. Pivovarov, D.A., Golubchikova, Yu.Yu., Iliin A.P., (2012), Preparation of powders of metals and their oxides by thermal decomposition of oxalates Cu, Ni, Co [Poluchenie poroshkov metalov i ich oksidov termicheskim razlogheniem oksalatov Cu, Ni, Co], *Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta – Proceedings of Tomsk Polytechnic University*, 2012, T. 321, № 3, pp. 11–16.
8. Vasyliiev, V.P. (2004), *Analiticheskaya himiya: v 2 ch*, [Analytical chemistry: in 2 p], Drofa Publ., 366 p.

Статья поступила в редакцию 21. 02. 2017 г.

## ФОРМИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМА КОНТРОЛЛИНГА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

### FORMATION OF CONTROLLING SCHEME AT ENTERPRISES IN THE REPUBLIC OF BELARUS

**О.А. Балабанович\***

*Белорусский государственный экономический университет*

УДК 338.45:61

**O. Balabanovich\***

*Belarusian State Economic University*

#### РЕФЕРАТ

*КОНТРОЛЛИНГ, КОНЦЕПЦИЯ КОНТРОЛЛИНГА, МЕХАНИЗМ КОНТРОЛЛИНГА, ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ*

*Предмет исследования – совокупность организационных и методических вопросов формирования контроллинга на предприятиях в Республике Беларусь.*

*Тема исследования – формирование механизма контроллинга на предприятиях в Республике Беларусь.*

*Цель работы: с учетом анализа мирового опыта разработать теоретико-методические основы формирования контроллинга и его применения на предприятиях в Республике Беларусь.*

*Методы исследования: сравнительный анализ, синтез полученных результатов, метод экспертных оценок, монографический, экономико-математическое моделирование и графические методы.*

*Результаты работы: сформулирована и адаптирована к отечественным условиям концепция контроллинга, новизна которой состоит в обосновании высокой контекстной подвижности данной категории, понимании контроллинга как функции и системы; разработаны методические рекомендации по формированию системы контроллинга на предприятиях, отличающиеся от существующих возможностью выбора про-*

#### ABSTRACT

*CONTROLLING, CONTROLLING CONCEPT, CONTROLLING SCHEME, MANAGERIAL DECISIONS SUPPORT*

*The development of methodical theoretical basis for controlling is analyzed in this article and its implementation at the enterprises in the Republic of Belarus as well. Also the background for establishment and development of controlling was defined, its role in the management system; controlling concept was formed according to the business environment of enterprises in the Republic of Belarus; methodical recommendations for creation of controlling system at the enterprises according to environment of Belarusian economic model were developed. The study subject is a complex of organizational and methodical questions about formation of controlling scheme at the enterprises in the Republic of Belarus. The author comes to conclusion that the necessity for formation and further development of methodical and theoretical basis for controlling in the real economy of the Republic of Belarus allows provision and support to make reasonable managerial decisions.*

\* E-mail: [balabanovichoa@tut.by](mailto:balabanovichoa@tut.by) (O. Balabanovich)

*цессно-функционального или системного подхода в зависимости от особенностей предприятия, его потребностей и возможностей, что обеспечивает эффективное решение межфункциональных проблем и создает условия для достижения сформулированных целей предприятия; разработана методика оценки эффективности управленческих решений, принимаемых в режиме контроллинга, научная новизна предлагаемого методического аппарата состоит в расчете индикатора рыночной деятельности как интегральной характеристики рентабельности инвестиций в маркетинг и коэффициента развития предприятия. Область возможного практического применения: предприятия и организации Республики Беларусь.*

*Выводы – контроллинг на отечественных предприятиях обеспечит руководство достоверными данными о состоянии и результатах выполнения текущих и стратегических планов, повысит уровень обоснованности управленческих решений и является залогом успешной предпринимательской деятельности, средством формирования ориентиров в интегрированной экономической среде, создавая условия для повышения эффективности деятельности и экономического роста в долгосрочной перспективе.*

Development of economic relations in the Republic of Belarus determines the necessity for new approaches to complete managerial tasks. In such case it is especially significant to use controlling as a basis for development and managerial decision-making at modern enterprises.

For creation of competitive advantages Belarusian enterprises need not only high-quality production but also a high level of management that may be achieved on the basis of modern controlling in the management of enterprises and organizations in the Republic of Belarus.

Enough experience has been gained in the use of controlling by foreign enterprises by now but it cannot be implemented in Belarusian environment without corresponding adaptation to modern issues of economic management at enterprises.

Foreign experience of formation and

development of controlling, will build-methodical bases of analysis and practical implementation are reflected in the works: J. Weber, A. Dahle, G. Kleiner, H.-U. Küpper, E. Meyer, R. Mann, T. Reichmann, H. Folmyt, D. Hann, P. Horvat et al. Controlling the subject of several studies by Russian scientists such as Y. Aniskin, N. Danilochkina, V. Ivashkevich, A. Karminsky, Y. Layta, M. Pavlenko, A. Primak, K. Russel, S. Falco, S. Yusupova and others. Controlling problems, primarily operative, investigated following domestic scientists: V. Antashev, P. Lebedev, G. Uvarova et al.

In this regard there is a necessity in formation and development of institutional and methodical basis for controlling, as well as the development of certain recommendations for practical implementation of controlling with regard to specific character of Belarusian economic environment.

Controlling concept is considered to be a complex of assertions about its functional content, institutional execution and instrumental endowment in the context of enterprise aims that are relevant to controlling and controlling aims subsequent to enterprise aims.

There is no due correlation and harmonization of all elements of the system for enterprise management as study demonstrates in most of the cases. It's determined, first of all, by the fact that in prevailing conditions there is a significant inconsistency in realization of planning and accounting functions, as well as the other management functions.

In planning practice, as well as in the accounting, there is no clear group of expenses depending on their elasticity to product output, stages of operating cycle, types and functions of activities. As a result, a task for determination of responsibility limits gets complicated which leads to significant derestriction of costing process and does not lead to effective financial management. These problems may be solved in the context of controlling that facilitates full correlation in realization of abovementioned functions of management and their harmonization.

Methods of the research: comparative analysis, synthesis of the results, the method of expert evaluations, methods of collecting primary and secondary information, monographic, economic-mathematical modeling and graphical methods.

As a result of conducted study various approaches were found to interpret the category of controlling. Among examined definitions of controlling nature it is impossible to use any as absolute one which fully complies with the requirements for development of market economy in the environment of the Republic of Belarus.

Firstly, controlling is often interpreted only as control. Definition "control" means correlation of actual outcomes and planes, but category "controlling" supposes a system of monitoring and regulation of enterprise activities in present and future. In this regard, controlling allows evaluating the degree of aims coherence, optimality of plans, and realism of forecasts.

Secondly, controlling is not identical to managerial accounting. Managerial accounting is a part of accounting which is connected with

accounting of managerial parameters. Toolbox of controlling includes methods for determination of strategic and operational plans, as well as the analysis of information acquired. Controlling concept aim is not to avoid deviations but to foresee possible results of enterprise activities intentionally and timely, as well as its possibilities and competitive strengths. Instruments of controlling oriented towards final result that allow management and leading employees being informed to the highest extent. They can effectively evaluate future environment and control resources more persistently, always be ready for action and perceptive to innovations.

It is represented that, in contrast with managerial accounting, the main designation of controlling is provision of high commercial value of the enterprise over long term, not only the maximization of its current profit because success is measured by the growth of business value and profit is the means for achievement of this aim. In this regard controlling provides possibility to keep balance between realizations of profit in short term and development of enterprise potentials as a source for further benefits. In formation of development strategy for an enterprise it is important to consider, above all, the state of market and possibilities for changing it in future, but not only the dynamics of costs. Costs management is not regarded as high-priority task of management: costs are managed at operational level, and aims for business value increase – at strategical level.

Thirdly, unlike internal audit which assists management in determination and evaluation of deviations from regulatory parameters, controlling is the basis for modifications and provision of managerial decisions implementation.

Therefore, controlling is considered to be the most important element of enterprise management system which is, literally, a symbiosis of process and system approach in management and is a coordinated action system for provision of informational, methodical, organizational and analytical support of enterprise management (figure 1).

Mentioned definition of controlling, in contrast with those used in theory and practice, defines its functional and structural nature, shows its content-driven feature as a part of management.

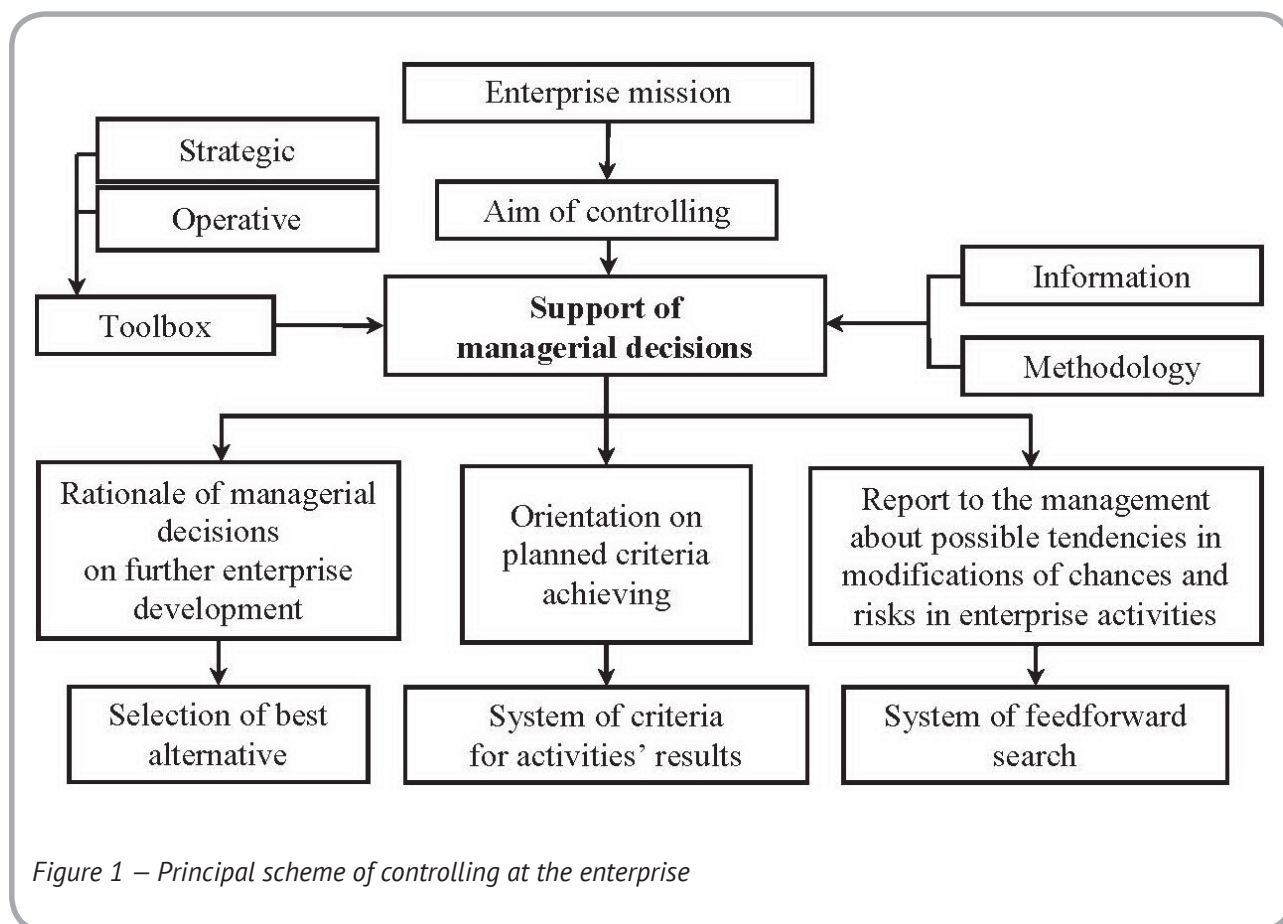


Figure 1 – Principal scheme of controlling at the enterprise

Controlling functions at the enterprise were formulated: analytic, organizational, methodical, informational, monitoring, coordinating, consulting.

The aim of controlling is rationale of managerial decisions for further development of an enterprise, orientation on achieving planned criteria, report to the management about possible tendencies in modifications of chances and risks at enterprise. This is necessary to provide long-term value increase of the enterprise, not only to get short-term maximal profit in the running period. In this regard, controlling is aimed at provision of balance between acceptable current profit and development of current potentials as a source for further benefits.

Controlling, as a mechanism for achieving quality aims of an enterprise and reflecting them in quantity parameters, allows defining deviations of actual values from planned or forecasted, analyzing reasons and make decisions that minimize such deviations. In practice, controlling cannot provide success of the enterprise and dispense managers from implementation of

management functions they are obliged to do. Controlling must take into account performance information, as well as financial information which allow making reasonable managerial decisions to achieve best results.

In this regard, formulated controlling concept at enterprise is based on the necessity of complex approach to organization of enterprise effective performance, analytical and informational preparation and managerial decisions-making, as well as evaluation of possible enterprise development in the future by defending and improving its positions and increasing confidence in the business world.

Results of the study demonstrated that tools of controlling used at the early stage of development were majorly targeted at optimization of enterprise costs. In addition to that, as its functions and analyzed time period broaden, and organizational structures get complicated, more profound tools are used in practice. Therefore the study of controlling tools classification is aimed at implementation of resource (finance, personnel),

processes (production, marketing and sales, logistics, innovations, investments), efficiency (costs, results, risks) controlling.

Analysis demonstrated that overwhelming majority of Belarusian enterprises do not use modern controlling systems. In this regard a pilot controlling model was implemented in activities of the enterprises of the Republic of Belarus that represent real economy – industry, commerce, agro-industrial sector. Evaluation of controlling system implementation at studied enterprises allows making a conclusion about improvement of the accounting structure thanks to which they reached profitability level which provides sufficient economic growth and development. Moreover, not all of them have their own current assets, sufficient for effective business activities, timely settlement of advance commitments. In this regard, additional offers were formulated, tools for controlling adaptation were stated, and scheme for its functioning in the real environment of work of studies and other enterprises was proposed.

The author developed methodical recommendations for controlling system formation at enterprise that include: determination of mission and strategical development targets for the enterprise; analysis of context factors; forming of team from users of controlling services from one side and from those rendering such services from the other in order to develop requirements to it; definition of nature and target of controlling in accordance with management tasks; analysis of needs in information, necessary for making of reasonable managerial decisions; development of activities control parameters (for enterprise as a whole and departments), methods for deviations analysis; development of procedures for regulating and evaluation of enterprise activities efficiency. Special attention was paid to the control of compliance of actual values with planned ones and analysis of deviations which allows defining the degree of achievement for formulated aims. In this regard, the selection of parameters that most completely demonstrate results of the enterprise activities are of primary importance. It was found that in controlling scheme it is reasonable to use those parameters that are actual and dynamic and have semantic connection to major integral indicator – profitability of proprietary capital that

characterizes the results of enterprise activities. Such approach is the one that was used as a basis in the process of evaluation of managerial decisions made in the controlling mode that is distinguished by self-sufficiency and universality and providing synchronization of retrospective and perspective analysis of enterprise development parameters analysis.

For forecasting and planning purposes the data that reflects enterprises development in the parameters of customer satisfaction, market shares, etc. becomes more and more important. In this regard, market activities parameters system was offered the implementation of which can define the degree of influence of managerial decisions on enterprise activities results. It was rationalized that in the course of forming of development strategy for the enterprise it is necessary to take into account the development of the market first of all, not only costs.

To evaluate efficiency of managerial decisions made on the basis of controlling matrix of enterprise production efficiency was suggested. Graphically it is located in two dimensional system of coordinates (*Y-axis* - ROE meanings and regulatory profitability values of property capital ( $K_p$ ), and *X-axis* – indicator of market activities of the enterprise ( $I_{m.a.}$ )). Implementation of matrix allows receiving integral performance indicator of business activities, defining major tendencies in their modification and evaluating them reasonably (figure 2).

As a result of investigation and analysis of 300 enterprises and organizations' activities in the Republic of Belarus the initial data was found for calculation and probation of market activities of an enterprise with the help of method for evaluation of managerial decisions' efficiency in the controlling mode.

Indicator of market activity (ref. formula) is a product of values of marketing return on investment and development index (parameter of market power characterizes marketing of products and evaluates external market conditions and market attractiveness within the means of calculation of market share and market capacity). Hence it is possible to evaluate market demand potential. "Competitive rating" parameter defines competitiveness of the enterprise (efficiency of

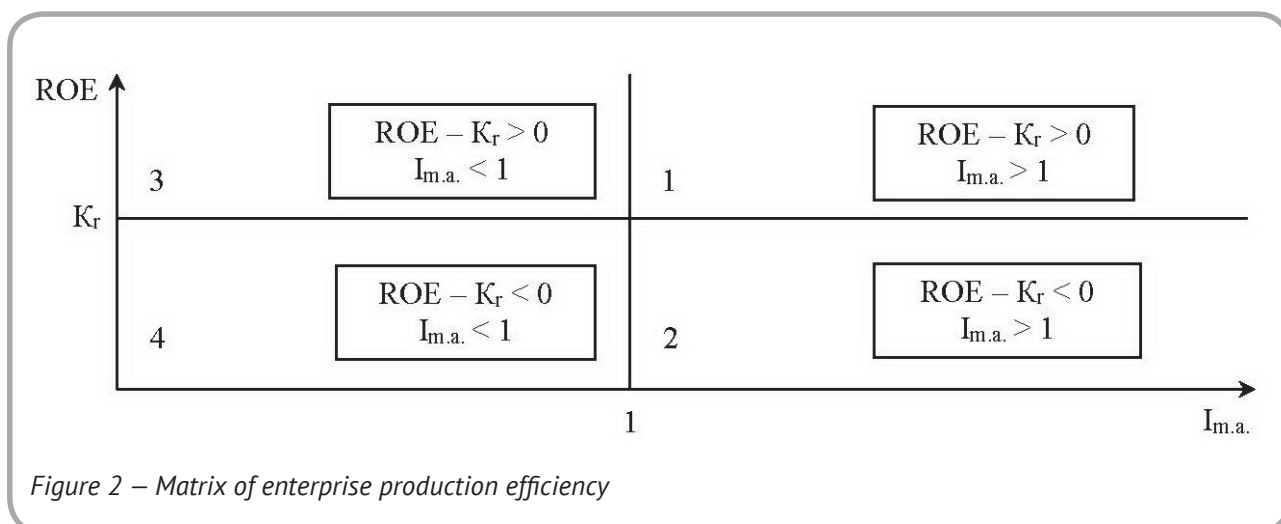


Figure 2 – Matrix of enterprise production efficiency

the enterprise in reference to offered competitive price, production quality and service). “Clients” parameter defines efficiency of cooperation with them. This includes the analysis of behavior of the new, retained and unsatisfied clients whereby the evaluation of their satisfaction, loyalty, awareness is carried out. Complex coefficient of annual growth defines mean coefficients of growth and calculated in accordance with formula

$$I_{m.a.} = 0,45 \frac{P_m}{C_m} \cdot 0,55(0,3Sh_m \cdot 0,45CI \cdot 0,1CAGR \cdot 0,15C_r) = 0,45ROMI \cdot 0,55C_{development} , \quad (1)$$

where  $I_{m.a.}$  – indicator of market activity of the analyzed enterprise;  $P_m$  – sales profit of marketing implementation, **rub.**;  $C_m$  – costs on marketing, **rub.**;  $Sh_m$  – market share;  $CI$  – clients – indicator of prospective purchasing behavior, and, consequently, revenues;  $CAGR$  – Cumulative Aggregate Gross Revenue;  $C_r$  – competitive rating which is defined basing of calculation and rating of parameters basing on evaluation of competitors’ activities measured as per important criteria of consumer choice;  $ROMI$  – Return On Marketing Investment, %;  $C_{development}$  – coefficient of development.

The model is linear. Values are received by method of expert evaluations. Calculations on real data showed the range of change of the indicator of market activities from 0,1 to 7,8.

Suggested method allows formalizing structural and organizational aspect of marketing

service as a subsystem of economic entity; harmonizing activities of this subdivision with other, personify the responsibility of executors and regulate their activities; making the technology of analysis more rational; establishing the list of control procedures at all stages of business which leads to significant improvement of quality of development and managerial decisions-making.

Implementation of suggested method for evaluation of market activities at certain enterprises demonstrated its convenience, objectivity and relevance.

Controlling scheme at the enterprise includes the following actions:

a) the development of aims and tasks according to the results of the analysis of external (analysis of branch and market, definition of enterprise position at the market, analysis of marketing strategy, competitors, etc.) and internal (personnel, potency, quality analysis, financial and physical resources, business processes of the enterprises, etc.) factors which allows formalizing intermediate aims with the help of parameters system and define indicators of enterprise activities;

б) the development of methodical and instrumental base of controlling including tools and objects of the analysis which allows planning of events implementation necessary for achieving of stated aims;

в) the definition of activities efficiency criteria and evaluation of performance of enterprise business operations, examination of scenarios and selection of development ways for

the enterprise that provide balance of market demands and actual possibilities of the enterprise;

r) the evaluation of sensitivity to managerial influence based on controlled parameter of enterprise activities and performance of analysis of deviations obtained considering interrelation of controlled parameters.

Within management control system a control signal is generated both on the basis of the information on the enterprise activity status and on the basis of prognosis of its further development. It provides higher quality of management as data circulation is not restricted by the old data and takes its changes into account in the future.

It is shown that the system works in the common information space of data processing. This data is analyzed in the future taking into account target values of the main parameters and is compared to showing deviations. It allows the enterprise to react quickly on target values and correct them and also give certain recommendations. As a result the basis of adequate management decisions is created. The use of the management control system offered by us provides dynamic and timely trending of enterprise development, choosing of more acceptable methods and means for achieving of high economic results, helps to increase activity effectiveness of enterprises on the basis of their stable financial and economic situation.

Results of the author's investigation showed that the introduction of the management control system allows increasing speed of managers' reaction on changes in internal and external environment, the increase of enterprise management flexibility and decrease risks of occurring of any mistakes connected with management decisions. It transfers the focus from control of the current status of enterprise economy to preventive analysis and prognosis of the future that provides effective enterprise functioning in the long term.

Basing on the conducted scientific systematization the system of target parameters was developed and also the connection among them was defined. In the result method for evaluation of their sensitivity to managerial influence was suggested that supplements controlling toolbox and allows improving the quality of its analytical function significantly.

This is quite essential in the environment of real economy when efficient activity of the enterprise to a large extent depends on how accurate management evaluates perspectives for development and adjust activities with due regard to their possibilities. Such approach provides integration of parameters that perform complex evaluation of economic state of the enterprise.

In this regard, the results of the study demonstrated that the implementation of suggested scheme allows increasing the efficiency of manager adaptation to modifications of external and internal environment. Control of the enterprise becomes more flexible, risks taken when managerial decisions are made get lower, as well as shift of accent from the control of current economic environment of the enterprise to preventive analysis and forecasts which provides effective performance of the enterprise in the long term.

#### DEGREE OF APPLICATION

The main results of the research put into practice the management of domestic enterprises and organizations, SSI «Institute of Economics of NAS of Belarus», and are also used in educational process of the educational establishment «Belarusian State Economic University».

#### SCIENTIFIC NEWNESS OF THE FINDINGS

The most significant scientific result of research is development: formulated and adapted to the concept of controlling domestic conditions, the novelty of which is to justify the high mobility of the content of this category in understanding and controlling the functions of the system, developed guidelines for the formation of a controlling system in enterprises other than the existing choice of process-functional or systemic approach depending on the characteristics of the company, its needs and capabilities, providing an effective solution to cross-functional issues and create conditions for the implementation of identified goals of the company, the controlling mechanism in enterprises, scientific innovation which is in its high adaptability to the existing resource potential businesses and variability of possible models controlling, method of estimating the effectiveness of management decisions made in the mode of controlling, scientific novelty of the proposed methodological apparatus consists in



calculating the indicator of market activity as an integral characteristic of the ROI of marketing and business development factor.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Балабанович, О.А. (2015), *Контроллинг: Учебно-методическое пособие*, Минск, 88 с.
2. Балабанович, О.А. (2014), Рыночный потенциал предприятия в режиме контроллинга. *Веснік Беларускага дзяржаўнага эканамічнага універсітэта*, 2014, № 1, С. 97–118.

#### REFERENCES

1. Balabanovich, O.A. (2015), *Kontrolling: Uchebno-metodicheskoe posobie* [Controlling: Educational and methodical grant], Minsk, 88 p.
2. Balabanovich, O.A. (2014), Market capacity of the enterprise in the controlling mode [Rynochnyj potencial predpriyatija v rezhime kontrollinga], *Vesnik Belaruskaga dzjarzhaunaga jekanamichnaga universiteta – Gazette of Belarusian State Economic University*, 2014, № 1, pp. 97–118.

Статья поступила в редакцию 10. 03. 2016 г.

## РОЛЬ УСЛУГ В ГЛОБАЛЬНЫХ ЦЕПОЧКАХ СОЗДАНИЯ СТОИМОСТИ

### THE ROLE OF SERVICES IN GLOBAL VALUE CHAINS

**Н.М. Глухова\***

*Белорусский государственный экономический университет*

УДК 339.91

**N. Gluhova\***

*Belarus State Economic University*

#### РЕФЕРАТ

*ГЛОБАЛЬНЫЕ ЦЕПОЧКИ СОЗДАНИЯ СТОИМОСТИ, ДОБАВЛЕННАЯ СТОИМОСТЬ, МЕЖДУНАРОДНАЯ ТОРГОВЛЯ УСЛУГАМИ, ДОБАВЛЕННАЯ СТОИМОСТЬ УСЛУГ В ЭКСПОРТЕ, ДОБАВЛЕННАЯ СТОИМОСТЬ НАЦИОНАЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ, ТРАНСНАЦИОНАЛЬНЫЕ КОРПОРАЦИИ*

*На основе изучения данных по международной торговле услугами баз данных ВТО/ОЭСР TiVA автором дана оценка роли услуг в международной торговле. Данная методология позволила выявить новые тенденции развития международной торговли. Одна из них – рост промежуточного потребления услуг во всех секторах мировой экономики. Проведенное исследование показало, что доля услуг в мировом экспорте составляет 40 % добавленной стоимости в экспорте, для развитых стран – 46 %, для развивающихся стран – 33 %. Полученные результаты показывают, что в период с 1995 по 2011 год, как развитые, так и развивающиеся страны значительно увеличили свое участие в глобальных цепочках создания стоимости. Причем большая доля мировой торговли (80 %) осуществляется в рамках глобальных цепочек создания стоимости, контролируемых ТНК. Результаты исследования могут помочь в выявлении структурных изменений в мировой торговле, в оценке выгод от торговли, получаемых отдельными странами.*

#### ABSTRACT

*VALUE CHAIN, TRADE IN SERVICES, DOMESTIC VALUE ADDED CONTENT OF GROSS EXPORT, TRANSNATIONAL CORPORATIONS*

*For the past decades international production, trade and investments have been increasingly organized within global value chains (GVCs), where different stages of production process are allocated across different countries. Comprehension of global value chains is important for understanding trade and globalization processes in the world and for defining policies that will help countries increase their benefits from international trade. This paper analyses the role of services in international trade through the lens of global value chains (GVCs). Services account for more than 70 % of world GDP but only for around 20 % of world trade in balance of payments terms. In value added terms, accounting for services embodied in exported goods, services account for 40 % of world trade.*

#### ВВЕДЕНИЕ

Концепция цепочек создания стоимости была разработана и изначально применялась в области международного бизнеса для разработки стратегий компаний и стран в глобальной эконо-

мике (М. Портер, Г. Джерефи). К началу XXI века, в результате того, что компании стали распределять и координировать отдельные стадии производства по всему миру, произошла трансформация концепции цепочек создания стоимости в

\* E-mail: [unanat@mail.ru](mailto:unanat@mail.ru) (N. Gluhova)

концепцию глобальных цепочек создания стоимости (Humphrey, Sturgeon, Arnold, Rodriguez).

В широко применяющейся статистике платежного баланса экспорт не раскладывается на составляющие, а определяется по последней стране, что приводит к несоответствиям между валовым экспортом и фактически созданной добавленной стоимостью. На страну конечного производителя приходится наибольшая величина добавленной стоимости, а объем промежуточной торговли стран оказывается недооцененным. Данная проблема решается в том случае, если экспорт страны рассчитывается как сумма добавленной стоимости, произведенной внутри страны.

ОЭСР совместно с ВТО разработали новые базы данных торговых потоков в терминах показателей добавленной стоимости на основе глобальных цепочек добавленной стоимости. Модель межстрановых межотраслевых балансов (ICIO) связывает воедино балансы 58 стран и охватывает 95 % мирового производства.

В рамках данной статьи проводится оценка роли и доли услуг в международной торговле на основе методологии ОЭСР – ВТО.

#### ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МИРОВОЙ ТОРГОВЛИ УСЛУГАМИ

Мировая торговля услугами является одним из наиболее быстро растущих секторов мирового хозяйства. В 2014 г. объем мирового экспорта услуг достиг 4872 млрд долл. США, что образует пятую часть всей международной торговли, тогда как в 1995 г. мировой экспорт услуг составлял 1179 млрд долл. За период с 1995 г. по 2014 г. мировой экспорт услуг увеличился более чем в 4 раза. Международная торговля услугами имеет тенденцию расширяться более быстрыми темпами, чем торговля товарами.

Начиная с 1970-х г., в мире наблюдалось ускоренное развитие системы международного разделения труда, о чем свидетельствует быстрый рост объемов международной торговли на протяжении последних 40 лет (рисунок 1). До конца 1990-х г. рост торговли происходил постепенно. Далее последовал сильный рост с 1995 г. по 2008 г. В период 2002 – 2008 гг. рост торговли сопровождался ростом цен на сырьевые товары. Объем торговли в 2015 г. почти в 2 раза превысил мировой объем торговли 2005 г.

После финансового кризиса в 2008 г., торговля резко упала в 2009 г., рост торговли с тех пор был необычайно слаб. Динамика роста американской экономики имеет схожую тенденцию. За последние 40 лет доля услуг в ВВП США выросла с 60 до 77 %, а доля услуг в международной торговле – с нуля до 27 % [1].

Увеличение доли услуг в мировом экспорте – сравнительно новая тенденция, наблюдаемая в процессе глобализации. Этому явлению способствовали различные факторы и закономерности современного этапа мирового развития, в том числе переход мировой экономики на постиндустриальный тип развития, научно-технический прогресс, расширение сферы применения Интернета, либерализация внешней торговли товарами и услугами, рост благосостояния граждан во многих странах мира и др.

Увеличивающийся спрос на услуги в развитых странах привел к расширению торговли услугами, в первую очередь в этой группе стран. Среди крупнейших экспортеров и импортеров услуг лидирующие показатели занимают США и ряд других развитых стран (таблица 1). Однако в последние годы в число крупных торговцев услугами вышли также КНР, Индия, Гонконг, Сингапур и Республика Корея. По объему экспорта услуг лидируют США, Великобритания, Китай, Германия, Франция. По объему импорта ведущие позиции занимают США, Китай, Германия, Франция, Великобритания. По данным ВТО в 2015 г. мировой экспорт услуг в стоимостном выражении снизился на 6 %, а объем торговли товарами – на 13 %. Наиболее сильное падение в торговле услугами наблюдалось в странах Евросоюза – Франции (снижение на 13 %), Германии и Нидерландах (8 %) [3].

Торговые потоки в сфере услуг сосредоточены в небольшом количестве стран. На топ-10 экспортеров приходится 51 % мирового экспорта [2]. Степень монополизации мировой торговли услугами гораздо выше, чем международной торговли товарами. Концентрация в торговле услугами еще более заметна среди развивающихся стран и стран с переходной экономикой. На 10 стран приходится около 70 % от общего объема торговли услугами [2]. Эти страны имеют большую долю в торговле туристическими услугами (Китай, Турция), транспортными услу-

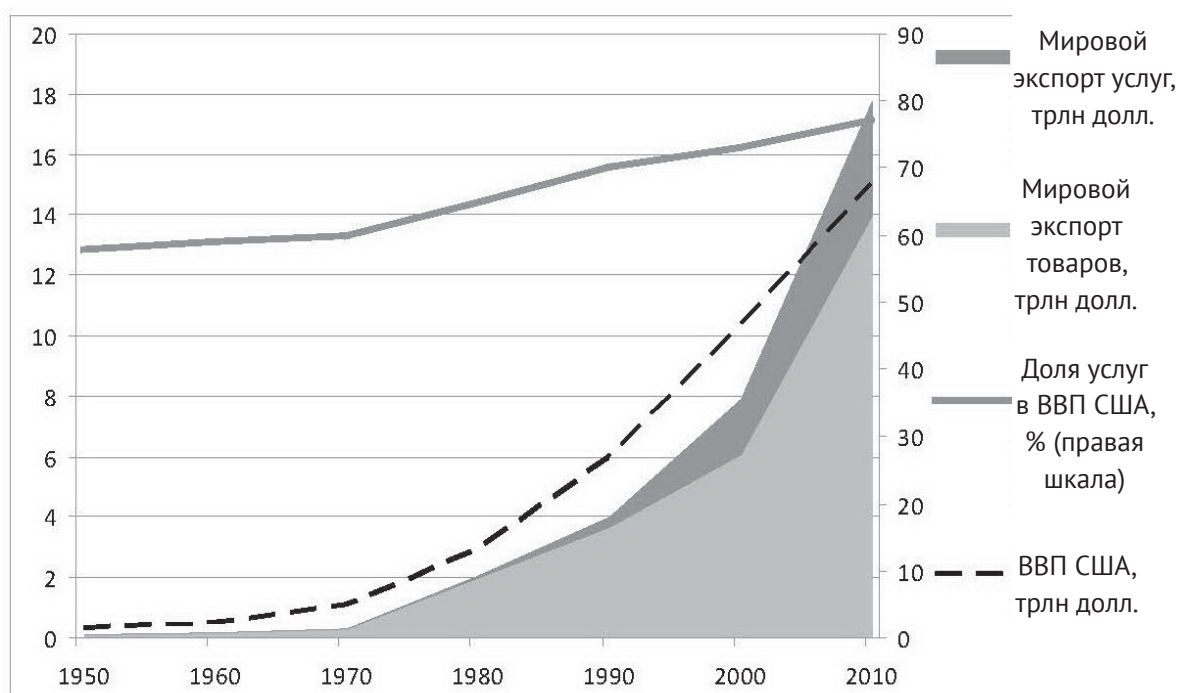


Рисунок 1 – Динамика объемов мирового экспорта товаров и услуг, в сопоставлении с долей услуг в ВВП США

Источник: [1].

Таблица 1 – Ведущие экспортеры и импортеры в международной торговле услугами, 2015 г., в млрд долл. и процентах

Место	Экспортеры	Объем	Доля	Среднее годовое изменение	Импортеры	Объем	Доля	Среднее годовое изменение
1	США	690	14,5	0	США	469	10,2	3
2	Великобритания	345	7,3	-5	Китай	466	10,1	3
3	Китай	285	6,0	2	Германия	289	6,3	-12
4	Германия	247	5,2	-9	Франция	228	4,9	-9
5	Франция	240	5,0	-13	Великобритания	208	4,5	-1
6	Нидерланды	178	3,7	-9	Япония	174	3,8	-9
7	Япония	158	3,3	0	Голландия	157	3,4	-9
8	Индия	155	3,3	0	Ирландия	152	3,3	4
9	Сингапур	139	2,9	-7	Сингапур	143	3,1	-8
10	Ирландия	128	2,7	-5	Индия	122	2,7	-4

Источник: на основе данных [3].

гами (Сингапур), строительными услугами (Китай, Республика Корея, Россия), финансовыми и бизнес-услугами (Гонконг), компьютерными и

информационными услугами (Индия).

В 2009 году произошло наибольшее за последние 20 лет падение в объемах международ-

ной торговли в результате глобального финансового кризиса. Объем торговли товарами снизился на 22 %, а объем торговли услугами – на 9 % [2]. Это свидетельствует о большей устойчивости услуг к глобальным макроэкономическим потрясениям. В 2010 г. торговля услугами возобновила докризисный уровень и продолжала расширяться в среднем с 2010 по 2014 годы на 4 %, в 2014 г. – на 7 % несмотря на стабильно вялый мировой экономический рост.

С 1995 по 2014 год среди услуг наиболее динамично развивался мировой экспорт компьютерных и информационных услуг – в среднем в год он рос на 18 %. В 2014 г. мировой экспорт компьютерных и информационных услуг достиг, по оценкам, 302 млрд долл. США. Доля Северной Америки в мировом экспорте компьютерных и информационных услуг снизилась. Европа остается крупнейшим экспортером компьютерных и информационных услуг, экспортируя 58 % компьютерных услуг в 2014 году. Страны с развивающейся экономикой, в частности Азия, становятся все более важными экспортерами компьютерных и информационных услуг. Доля региона в мировом экспорте выросла с примерно 8 % процентов в 1995 г. до 29 % в 2014 г., благодаря росту экспорта Индии и Китая [4]. Индия по объему экспорта телекоммуникационных, компьютерных и информационных услуг (12,8 % мирового экспорта) опережает США (8,2 % мирового экспорта) [3, с.123].

Вторым наиболее динамичным сектором на мировом рынке услуг являются финансовые услуги. Их рост составил 11 % [4]. Международная торговля финансовыми услугами возросла значительно в последние 20 лет по мере того, как финансовые рынки становились более открытыми и глобализованными. Высокие темпы роста экспорта финансовых услуг как в развитых, так и в развивающихся странах объясняются развитием финансовой глобализации, которая к концу первого десятилетия XXI века достигла высокого уровня. По оценкам экспертов McKinsey Global Institute, финансовая глубина экономики (соотношение традиционных финансовых активов и мирового ВВП) увеличилась с 261 % в 1990 г. до 356 % в 2010 г. [5, с. 8]. Фактически долговая экономика стала преобладающей моделью ведения хозяйства, и все страны мира к моменту финан-

сового кризиса оказались заемщиками. Финансовая глобализация обеспечивает перераспределение финансовых ресурсов между странами и создает условия для формирования и функционирования дефицитных и долговых экономик по внешним обязательствам.

Участие развивающихся экономик в мировой торговле услугами продолжает расти, достигнув в 2015 г. 32 % мирового экспорта или 1521 млрд долл. Рост происходит в основном за счет стран Азии (Китай, Индия, Республика Корея, Гонконг (Китай) и Таиланд), на долю которых приходится 22,4 % мирового экспорта услуг в 2015 г. В период с 2008 по 2013 год, наиболее динамично растущими в развивающихся странах были компьютерные и информационные услуги, ежегодный средний рост экспорта этих услуг составил 13,0 % [4]. В торговле услугами развивающихся стран быстро росли страховые услуги, туристические, финансовые услуги.

Увеличение импорта услуг в большинстве развивающихся стран и стран с переходной экономикой опережает рост экспорта, что приводит к ухудшению их торговых балансов в сфере услуг. Тем не менее дефицит в их балансе услуг компенсируется значительным профицитом их товарных балансов.

Роль торговли услугами резко возросла в американской экономике и внешнеэкономических связях за последние 10–15 лет. Экспорт, по данным Бюро экономического анализа США, в 2014 г. достиг 710,57 млрд долл., по сравнению с 271,343 млрд долл. в 1999 г. [6]. В первом десятилетии XXI в. доходы от экспорта американских услуг ежегодно возрастали на 18 %, то есть в 2 раза быстрее, чем в 80-е г. Тенденция к дальнейшему расширению доходов от экспорта услуг, хотя и не столь быстрыми темпами, прослеживается и в последние годы.

Торговый баланс США хронически сводится с отрицательным сальдо. Баланс торговли услугами сводится с положительным, имеющим тенденцию возрастать, сальдо. Поэтому международная торговля услугами выступает как весомый фактор, корректирующий платежный баланс США.

Наибольшую долю доходов в сфере торговли услугами приносят услуги, связанные с деловыми и туристическими поездками иностранных

граждан в США. Второй ведущей статьёй американского экспорта услуг является торговля научно-техническими знаниями, включающая в себя продажу патентов, лицензий, товарных знаков, промышленных образцов и др. Данная тенденция объясняется, прежде всего, тем, что США занимают лидирующие позиции по расходам на НИОКР: в 2012 г. они затратили на эти цели 436 млрд долл., то есть 31,1 % мировых расходов на НИОКР [7]. Таким образом, в системе международного разделения труда наблюдается специализация США на торговле знаниями услугами – продажа прав интеллектуальной собственности, видеопродукция, бизнес-услуги и финансовые услуги.

Современная мировая экономика находится в состоянии трансформации в стадию экономического развития, в которой двигателем прогресса выступают, прежде всего, информационные процессы и научные исследования. Отражением этого процесса является быстрый рост торговли в мировой экономике знаниями услугами.

#### ТОРГОВЛЯ УСЛУГАМИ В РАМКАХ ГЛОБАЛЬНЫХ ЦЕПОЧЕК СОЗДАНИЯ СТОИМОСТИ

Глобализация производства как этап международного разделения труда путем переноса отдельных технологических операций на предприятия в разных странах мира, привела к тому, что фактически товары стали производиться в рамках глобальных цепочек создания стоимости (ГЦСС).

Концепция ГЦСС дает возможность по-новому взглянуть на мировую экономику. В. Кондратьев определяет новый характер взаимозависимости экономик: «Хотя многие эксперты и политики до сих пор полагают, что товары и услуги производятся внутри страны и конкурируют с зарубежными товарами, на самом деле все возрастающая доля товаров и услуг носит глобальный характер, а страны конкурируют между собой за место и определенную роль в цепочках добавленной стоимости» [8].

В период с 1995 по 2011 г. как развитые, так и развивающиеся страны значительно увеличили свое участие в глобальных цепочках создания стоимости. Этому способствовало снижение транспортных, торговых и коммуникационных издержек, прежде всего, за счет технологий контейнерных перевозок, реактивных двига-

телей и Интернета. Прогресс информационных технологий позволил эффективно координировать и контролировать все стадии производства, географически удаленные друг от друга.

Данные за последние 20 лет показывают, что, по мере того, как страны расширяют свое участие в ГЦСС, их экономический рост также имеет тенденцию к увеличению. Статистический анализ Конференции ООН по торговле и развитию (ЮНКТАД) показал значимую положительную связь между участием стран в ГЦСС и темпом экономического роста на душу населения как для развитых, так и для развивающихся стран. В 30 развивающихся странах с высокими темпами роста участия в глобальных цепочках создания стоимости за 20-летний период с 1990 по 2010 г. наблюдался средний темп роста ВВП на душу населения 3,3 %, по сравнению с 0,7 % для 30 стран с наименьшим участием в ГЦСС [9].

Услуги составляют 70 % мирового ВВП, но только около 20 % мировой торговли согласно статистике торговых балансов. Одним из основных объяснений этого несоответствия является то, что многие услуги торгуются косвенно, в товарах. Статистика платежного баланса измеряет валовую стоимость прямых услуг трансграничной торговли, но не стоимость дополнительных услуг, включенную в торгуемые товары.

В производстве товаров через глобальные цепочки создания стоимости (ГЦСС) значительную долю добавленной стоимости товаров, экспортируемых на мировом рынке, занимают промежуточные услуги – это услуги, потребленные в процессе производства и продажи товаров. Это транспортные расходы, логистика, информационные и коммуникационные, финансовые услуги, дистрибуция и бизнес-услуги, права интеллектуальной собственности. Следовательно, в стоимости экспортируемых товаров скрывается большой объем промежуточных услуг, а значит, реальный объем мировой торговли услугами гораздо больше, чем 20 %. Добавленная стоимость услуг в экспорте состоит из экспорта прямых услуг, а также экспорта косвенных услуг, то есть включенного в стоимость экспортируемых товаров.

Международные таблицы «затраты – выпуск», такие как проект ОЭСР и ВТО Trade in Value Added (TiVA), позволяют измерять торговые по-

токи между странами по добавленной стоимости. Благодаря выделению добавленной стоимости услуг в экспорте других товаров, можно более точно определить долю услуг в мировом экспорте, которая, по расчетам, составляет 40 % добавленной стоимости в экспорте. Доля услуг в экспорте значительно выше для стран с развитой экономикой (46 %), чем для развивающихся стран (33 %) [3].

Какую роль играют услуги в создании добавленной стоимости экспорта различных стран? Для анализа возьмем развитые страны и развивающиеся страны, являющиеся ведущими торговцами услуг, а также другие страны, в структуре добавленной стоимости экспорта которых услуги занимают высокую долю (таблица 2). Для сравнения приведем данные по Саудовской Аравии, специализирующейся на сырьевом экспорте. Можно видеть, что в США и Японии добавленная стоимость в экспорте товаров в наибольшей степени, по сравнению с другими странами, имеет национальное происхождение. Особенно это касается сферы услуг – в США доля иностранных услуг в добавленной стоимости экспорта составляет 6,1 %, в Японии – 5,7 %. В других странах эта доля в два и более раза выше.

Доля отечественного сырья в добавленной стоимости экспорта наиболее низкая в Сингапуре – 0,2 % (при высокой доле 9 % иностранного сырья), в Японии – 0,5 %, в Германии – 1 %. Наиболее высокая доля как импортного, так и иностранного сырья в добавленной стоимости у развивающихся стран – Китая (8,1 % и 6,1 % соответственно) и у Индии (9,3 % и 9,6 %).

По вкладу национальной промышленности в добавленную стоимость экспорта выделяются страны с высоким вкладом (свыше 30 %) – Япония, Германия, Китай, средним (свыше 20 %) – США, Франция, Испания, и низким (менее 20 %) – Великобритания, Нидерланды, Индия, Сингапур.

Услуги составляют более 50 % добавленной стоимости национального происхождения в экспорте в восьми странах – Хорватия, Франция, Греция, Гонконг, Нидерланды, Швейцария, Великобритания и США. Можно охарактеризовать экспорт этих стран как услугоемкий. В противоположность этому доля услуг в экспорте является самой низкой для экспортеров сырьевых товаров, таких как Саудовская Аравия, чья структура

экспорта ориентирована на природные ресурсы.

Малые открытые экономики, такие как Южная Корея, Финляндия или Швейцария, получают больше промежуточных товаров из зарубежных источников и цепочек создания стоимости по сравнению с крупными странами, такими как США или Япония, где вследствие размеров экономики и рынка значительная часть цепочек создания стоимости носит внутренний характер, что подтверждается более низкой долей импортной добавленной стоимости в их экспорте.

ГЦСС обычно координируются ТНК, которые осуществляют торговлю промежуточной и готовой продукцией в рамках своих филиалов. На долю транснациональных корпораций приходится значительная доля международной торговли услугами путем внутрифирменной передачи информации, технологии, финансов. По оценке ЮНКТАД, глобальные цепочки создания стоимости, координируемые многонациональными предприятиями, составляют 80 % мировой торговли [11]. Подавляющая часть лицензионной торговли США с зарубежными странами монополизирована крупными промышленными компаниями, которые вкладывают в исследовательские работы огромные средства.

Направления движения прямых иностранных инвестиций (ПИИ) в мировой экономике определяются в значительной степени инвестиционными решениями ТНК. Более двух третей мирового объема прямых иностранных инвестиций (67 %) в период между 2010 и 2012 г. направлялись в сферу услуг. Особенно усилилась эта тенденция в период после мирового финансового кризиса. Этому может служить объяснение, что доходы от вложения в сферу услуг менее чувствительны к изменениям мировой конъюнктуры, чем продажа сырья или товаров.

Распределение экономических выгод от торговли между отдельными странами в рамках ГЦСС зависит от того, насколько большим оказывается вклад местных фирм в создание добавленной стоимости в рамках ГЦСС. Вклад страны в добавленную стоимость экспорта может быть относительно небольшим в случае высокой доли импорта в экспорте и ограниченности участия лишь в производствах продукции с низкой стоимостью.

Важным аспектом ГЦСС является то, что каж-

Таблица 2 – Доля отечественных и зарубежных отраслевых вкладов в валовой экспорт, отдельные страны, 2011, в процентах

Страны	Происхождение добавленной стоимости в экспорте						Всего
	Национального происхождения			Иностранного происхождения			
	Сырье	Промышленность	Услуги	Сырье	Промышленность	Услуги	
Бельгия	0,9	15,7	49,0	7,5	6,8	20,1	100,0
Китай	8,1	30,7	29,1	6,1	11,3	14,7	100,0
Хорватия	3,5	16,1	60,2	5,3	4,8	10,0	100,0
Франция	2,6	20,3	52,0	4,4	8,5	12,1	100,0
Германия	1,0	32,8	40,8	4,1	7,8	13,6	100,0
Греция	3,7	14,6	56,8	8,6	4,6	11,8	100,0
Гонконг	0,0	2,1	77,5	2,6	4,7	13,2	100,0
Индия	9,3	17,6	49,2	9,6	4,4	10,0	100,0
Ирландия	1,1	20,6	34,8	3,2	6,4	33,9	100,0
Япония	0,8	38,4	46,1	4,9	4,1	5,7	100,0
Нидерланды	7,7	15,9	56,5	3,6	3,0	13,4	100,0
Саудовская Аравия	81,4	8,2	7,2	0,6	0,7	2,0	100,0
Швейцария	0,6	24,9	52,8	2,4	7,0	12,3	100,0
Великобритания	5,3	18,7	53,1	4,2	6,9	11,8	100,0
США	5,8	28,7	50,5	4,1	4,8	6,1	100,0
Все страны	13,2	23,4	39,2	5,1	7,3	11,7	100,0

Источник: на основе данных [10].

дая страна или фирма, вовлеченная в них, стремится достичь того, что можно определить как экономическую модернизацию или восхождение по лестнице добавленной стоимости. Это означает, что они стремятся перейти к тем видам деятельности в ГЦСС, которые характеризуются более высокой добавленной стоимостью, с тем, чтобы увеличить выгоды от участия в цепочках стоимости. Это предполагает развитие высокотехнологичных видов деятельности, а также деятельности, основанной на знаниях, в том числе предоставление знаниеемких услуг, таких как дизайн, инновации, научные исследования и разработки, маркетинг и брендинг. Исследования показывают, что наибольшую выгоду от участия в ГЦСС получают компании, находящиеся на предпроизводственной и/или послепроизводственной стадиях процесса добавления стоимости [12]. Это такие виды услуг, как проектирование, исследования и разработки, инновации

и стандартизация, а также логистика, маркетинг и формирование бренда. Производство и сборка, представляющие непосредственно производственную стадию, добавляют самую низкую стоимость и дают компаниям минимальный доход. Можно заключить, что сегменты услуг с высокой добавленной стоимостью приобретают все большее значение в мировой торговле, но они, как правило, являются очень наукоемкими отраслями, а также используют высококвалифицированный труд. Следовательно, те страны, которые обладают большим запасом человеческого капитала и осуществляют инвестиции в наукоемкие отрасли, получают наибольшие выгоды от участия в ГЦСС.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, анализ торговли услугами в рамках ГЦСС на основе базы данных TiVA дает возможность проследить основные тенденции развития международного разделения труда,



выявить структурные изменения в мировой торговле, оценить выгоды от торговли, получаемые отдельными странами.

В период с 1995 по 2011 г., как развитые, так и развивающиеся страны значительно увеличили свое участие в глобальных цепочках создания стоимости. В производстве товаров через ГЦСС значительную долю добавленной стоимости товаров, экспортируемых на мировом рынке, занимают промежуточные услуги – это услуги, потребленные в процессе производства и продажи товаров. Доля услуг в мировом экспорте по расчетам составляет 40 % добавленной стоимости в экспорте, для стран с развитой экономикой – 46 %, для развивающихся стран – 33 %. По темпам прироста наиболее динамично развивался экспорт компьютерных и информационных услуг, а также финансовых услуг.

Для стран с малой открытой экономикой, особенно актуальной на данном этапе мирового развития, выступает проблема их включения в

глобальные цепочки добавленной стоимости, так как большая доля мировой торговли (80 %) осуществляется в ГЦСС, контролируемых ТНК. Выгоды от участия в ГЦСС зависят от того, насколько большим оказывается вклад местных фирм в создание добавленной стоимости экспорта. Вклад национальных производителей в добавленную стоимость может быть относительно небольшим в случае высокой доли импорта в экспорте и ограниченности участия стран лишь в производствах продукции с низкой стоимостью. Понимание данного вывода целесообразно использовать в разработке экономической политики страны. Сегменты услуг с высокой добавленной стоимостью приобретают все большее значение в мировой торговле, так как они дают компаниям высокий доход. Развитие таких отраслей услуг требует высоких вложений в научные исследования и разработки, а также наличие высококвалифицированных специалистов.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Быков, А.А., Седун, А.М., (2015), Перспективы пост- и неоиндустриального развития в условиях возможной трансформации системы международного разделения труда, *Белорусский экономический журнал*, 2015, № 2, с. 4-23.
2. World Economic Situation and Prospects 2014, UN, New York, 2014, pp. 33-51.
3. World Trade Statistical Review 2016, available at: [https://www.wto.org/english/res\\_e/statis\\_e/wts2016\\_e/wts2016\\_](https://www.wto.org/english/res_e/statis_e/wts2016_e/wts2016_) (accessed 6 October 2016).
4. International Trade Statistic 2015, available at: [https://www.wto.org/english/res\\_e/statis\\_e/its2015\\_e/its2015](https://www.wto.org/english/res_e/statis_e/its2015_e/its2015) (accessed 12 September 2016).
5. Хейфец, Б.А., (2012), *Глобальный долговой кризис и риски долговой политики России*, Москва, Институт экономики РАН, 2012, 56 с.

#### REFERENCES

1. Bykov, A.A., Sedun, A.M. Perspektivy post-i neoindustrial'nogo razvitija v uslovijah vozmozhnoj transformacii sistemy mezhdunarodnogo razdelenija truda [Prospects for post- and neo-industrial development in the conditions of a possible transformation of the system of international division of labor], *Belorusskij jekonomicheskij zhurnal – Belarusian Economic Journal*, 2015, № 2, pp. 4-23.
2. World Economic Situation and Prospects 2014, UN, New York, 2014, pp. 33-51.
3. World Trade Statistical Review 2016, available at: [https://www.wto.org/english/res\\_e/statis\\_e/wts2016\\_e/wts2016\\_](https://www.wto.org/english/res_e/statis_e/wts2016_e/wts2016_) (accessed 6 October 2016).
4. International Trade Statistic 2015, available at: [https://www.wto.org/english/res\\_e/statis\\_e/its2015\\_e/its2015](https://www.wto.org/english/res_e/statis_e/its2015_e/its2015) (accessed 12 September 2016).

6. U.S. Trade in Services, by Type of Service, available at: [http://www.bea.gov/iTable/index\\_ita.cfm](http://www.bea.gov/iTable/index_ita.cfm) (accessed 2 October 2016).
7. Зименков, Р.И. (2013), США на мировом рынке услуг в начале XXI века, *Российский внешнеэкономический вестник*, 2013, № 8, с. 12-34.
8. Кондратьев, В.Б. (2011), Сфера услуг в постиндустриальной экономике, *Креативная экономика*, 2011, № 7 (55), с. 128-135.
9. World Investment Report 2013: Global Value Chains: Investment and Trade for Development, UNCTAD, 2013, p. 151.
10. International Trade Statistic (2015), available at: [https://www.wto.org/english/res\\_e/statis\\_e/its2015\\_e/its15\\_trade\\_value\\_e.htm](https://www.wto.org/english/res_e/statis_e/its2015_e/its15_trade_value_e.htm) (accessed 12 November 2016).
11. Доклад о мировых инвестициях 2013: Глобальные производственные системы: инвестиции и торговля в интересах развития, UNCTAD [Электронный ресурс], Режим доступа: [http://inform.rusbalkan.com/wp-content/uploads/2014/02/WorldInvest2013\\_Rus.pdf](http://inform.rusbalkan.com/wp-content/uploads/2014/02/WorldInvest2013_Rus.pdf). Дата доступа: 9.11.2016.
12. Interconnected Economies: Benefiting from Global Value Chains, OECD, available at: [www.oecd.org/sti/ind/interconnected-economies-GVCs-synthesis.pdf](http://www.oecd.org/sti/ind/interconnected-economies-GVCs-synthesis.pdf) (accessed 29 September 2016).
5. Hejfec, B.A., (2012), *Global'nyj dolgovoj krizis i riski dolgovoj politiki Rossii* [The global debt crisis and the risks of the debt policy of Russia], Moskva, Institut jekonomiki RAN [Economics Institute of RAS], 2012, 56 p.
6. U.S. Trade in Services, by Type of Service, available at: [http://www.bea.gov/iTable/index\\_ita.cfm](http://www.bea.gov/iTable/index_ita.cfm) (accessed 2 October 2016).
7. Zimenkov, R.I., (2013), The United States on the world market at the beginning of the XXI century [SShA na mirovom rynke uslug v nachale XXI veka], *Rossijskij vneshnejekonomicheskij vestnik – Russian Foreign Gazette*, 2013, № 8, pp. 12-34.
8. Kondrat'ev, V.B., (2011), Services in the post-industrial economy [Sfera uslug v postindustrial'noj jekonomike], *Kreativnaja jekonomika – Creative economy*, 2011, № 7 (55), pp. 128-135.
9. World Investment Report 2013: Global Value Chains: Investment and Trade for Development, UNCTAD, 2013, p. 151.
10. International Trade Statistic (2015), available at: [https://www.wto.org/english/res\\_e/statis\\_e/its2015\\_e/its15\\_trade\\_value\\_e.htm](https://www.wto.org/english/res_e/statis_e/its2015_e/its15_trade_value_e.htm) (accessed 12 November 2016).
11. Doklad o mirovyh investicijah 2013, Global'nye proizvodstvennye sistemy, investicii i trgovlja v interesah razvitija, UNCTAD [World Investment Report 2013], available at: [http://inform.rusbalkan.com/wp-content/uploads/2014/02/WorldInvest2013\\_Rus.pdf](http://inform.rusbalkan.com/wp-content/uploads/2014/02/WorldInvest2013_Rus.pdf) (accessed 12 September 2016).
12. Interconnected Economies: Benefiting from Global Value Chains, OECD, available at: [www.oecd.org/sti/ind/interconnected-economies-GVCs-synthesis.pdf](http://www.oecd.org/sti/ind/interconnected-economies-GVCs-synthesis.pdf) (accessed 29 September 2016).

Статья поступила в редакцию 12. 12. 2016 г.

## ПРОБЛЕМЫ КАДРОВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ СФЕРЫ ПРОИЗВОДСТВА: ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ АСПЕКТЫ

### HUMAN RESOURCING PROBLEMS IN THE INNOVATIVE DEVELOPMENT IN PRODUCTION BRANCH: ORGANIZATIONAL-ECONOMIC AND EDUCATIONAL ASPECTS

**Н. Л. Прокофьева\***

*Витебский государственный технологический университет*

УДК 378+330

**N. Prakofyeva\***

*Vitebsk State Technological University*

#### РЕФЕРАТ

*ИННОВАЦИОННАЯ ЭКОНОМИКА, БИЗНЕС, ПЕРСОНАЛ, ДОСТОЙНЫЙ ТРУД*

*Уменьшение трудовых ресурсов и занятых в экономике Республики Беларусь сопровождается дисбалансом спроса и предложения на рынке рабочей силы. Острая потребность в квалифицированных кадрах сложилась в сфере малого и среднего бизнеса. В крупном бизнесе государственного сектора экономики одновременно существует излишняя численность и потребность в квалифицированной рабочей силе. В статье на основе статистической информации, социологических опросов исследуются с позиции главных стратегических целей концепции достойного труда возможности малого, среднего и крупного бизнеса привлекать и удерживать квалифицированную рабочую силу для инновационного развития сферы производства. Обосновывается необходимость особых условий кредитования инвестиционных программ малого бизнеса, чтобы повысить его привлекательность для квалифицированных кадров. Для сферы крупного и среднего бизнеса обосновывается необходимость укрепления социального диалога с целью создания условий для мотивации занятых работников к повышению квалификации и разработки программ взаимодействия с вузами и колледжами по адаптации их выпускников для конкретных организаций.*

#### ABSTRACT

*INNOVATION ECONOMY, BUSINESS, PERSONNEL, DECENT WORK*

*The reduction of labor resources and the employed in the economy of the Republic of Belarus is accompanied by the imbalance of demand and supply in the labor market. An acute need for qualified personnel has developed in the sphere of small and medium-sized businesses. In the large-sized business of the public sector there is an excessive number of and at the same time the need for skilled labor. In the article the opportunities of small, medium and large-sized business to attract and retain a qualified workforce for the innovative development of the production sphere are investigated from the perspective of the main strategic objectives of decent work on the basis of statistical information and sociological surveys. The necessity of special conditions for crediting of small-sized business investment programs to increase its attractiveness for qualified personnel is justified. The need to strengthen social dialogue in order to create the conditions for motivating employees to improve their skills, and the development of the cooperation programs with universities and colleges on adaptation of their graduates for specific organizations are substantiated for the sphere of large and medium-sized business.*

\* E-mail: [prokofevanina@mail.ru](mailto:prokofevanina@mail.ru) (N. Prakofyeva)

Согласно современной позиции Международной организации труда основным средством снижения уровня бедности является труд. Концепция достойного труда трансформировалась в целостную философию социально-экономического бытия, характеризую труд как продуктивный, свободный, безопасный, справедливо оплачиваемый, который способствует развитию человека. Программа достойного труда в качестве доминанты в деятельности МОТ охватывает четыре ключевые задачи – содействие занятости, расширение социальной защиты, содействие социальному диалогу и соблюдение прав в сфере труда [1,15]. Стратегические задачи устойчивого развития экономики страны на основе инновационных преобразований изменяют структуру спроса на трудовые ресурсы из-за необходимости принятия решений субъектами хозяйственного оборота по оптимизации численности занятых и их структуры по квалификационному признаку. В этом случае проблема занятости, продуктивности труда и его справедливой оплаты дополняется несбалансированностью рынка труда и требует организационно-экономических преобразований в подготовке и переподготовке кадров.

#### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В Республике Беларусь проблемы снижения численности населения, соответственно, снижения трудовых ресурсов и занятых в экономике сопровождаются дисбалансом спроса и предложения на рынке рабочей силы как по территориальному, так и по профессионально-квалификационному признаку. Наблюдается сильная

дифференциация в размере оплаты труда работников как в региональном и отраслевом аспектах, так и по видам бизнеса, что не позволяет обеспечивать им достойный трудовой доход для повышения качества трудовой жизни. Это противоречит одной из основополагающих целей концепции достойного труда: расширению возможностей занятости и получения дохода.

Структура денежных доходов населения Республики Беларусь (таблица 1) свидетельствует о высокой доле социальной поддержки государства – трансферты населению (22,8 % в структуре денежных доходов населения) превышают совокупную долю доходов от предпринимательской и иной деятельности, приносящей доход, и доходов от собственности: всего 13–16 %. Более 60 % денежных доходов населения определяет оплата труда.

Программа социально-экономического развития Республики Беларусь в обеспечении занятости ставит следующие задачи: повышение эффективности использования трудового потенциала, повышение гибкости рынка труда за счет повышения квалификации работников, создание высокотехнологичных рабочих мест, создание условий мотивации к высокоэффективному труду. Особые надежды правительство возлагает на развитие сектора малого и среднего бизнеса в экономике для расширения возможностей занятости в Республике Беларусь. Но сравнение структуры и динамики средней численности работников в разрезе видов бизнеса свидетельствует о том, что положительную динамику по темпам роста средней численности работников

Таблица 1 – Денежные доходы населения в процентах к итогу

Показатели	2009 г.	2010 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.
<b>Всего</b>	100	100	100	100	100	100
<b>В том числе</b>						
Оплата труда	64,3	63,1	63,9	64,1	62,5	61,7
Доходы от предпринимательской и иной деятельности, приносящей доход	11,4	12,7	10,5	10,3	8,5	8,2
Трансферты населению	20,2	20,4	20,7	21,0	21,1	22,8
Доходы от собственности	2,8	2,5	3,8	3,8	4,4	4,4
Прочие доходы	1,3	1,3	1,1	0,8	3,5	2,9

Источник: на основе данных [5, 108].

малые и микроорганизации имеют только до 2013 года (таблица 2).

Это связано с тем, что начиная с 2009 года, были приняты нормативные документы на уровне государства и правительства, которые способствовали формированию благоприятного бизнес-климата для развития предпринимательства, включающие существенное упрощение процедуры регистрации бизнеса, снижение налоговой нагрузки, стимулирование развития предпринимательских структур [4] и, прежде всего, в сельской местности. Кризисные явления в экономике, сопровождающиеся снижением совокупного платежеспособного спроса на товары и услуги, изменили ситуацию на рынке труда и, начиная с 2014 года, при общем снижении численности работников, занятых в экономике, положительную динамику демонстрирует только крупный бизнес.

По информации исследовательского центра РАБОТА. TUT. BY [6] за 2016 год приросли вакансии абсолютно во всех профессиональных областях. Наибольший прирост вакансий наблюдается в автомобильном бизнесе (+ 70,3 % по отношению к 2015 году), в производстве (+ 58,6 %), на транспорте и в логистике (+ 54,8 %), по рабочему персоналу –

на 61,1 %. Острая потребность в трудовых ресурсах и неудовлетворенный спрос на нее возникают в результате как структурной перестройки экономики, так и разрыва требований нанимателей и наемных работников.

Львиная доля неудовлетворенного спроса относится к сфере производства, поэтому остановимся на ней подробнее.

Нанимателей не устраивает качество подготовки специалистов, работников – несопоставимость требований к квалификации с выгодами работы в этих организациях как по уровню оплаты труда (таблица 3), так и по перспективам профессионального роста.

В исследуемом периоде времени уровень оплаты труда в малых и микроорганизациях ниже на 29–31 %, в средних – на 5–19 % по сравнению с крупным бизнесом. Разрыв в производительности труда еще более значительный: в малом и микро бизнесе она ниже на 60 %, в среднем – на 20–50 % от уровня крупного бизнеса (таблица 4). Сравнение заработной платы по видам бизнеса однозначно свидетельствует, что уровень оплаты труда в малом, микро и даже среднем бизнесе не способствует привлечению квалифицированной рабочей силы.

Таблица 2 – Структура и динамика средней численности работников, занятых в экономике Республики Беларусь по видам бизнеса

Показатель	2011 г.			2012 г.		2013 г.		2014 г.		2015 г.	
	в % к итогу	в % к итогу	в % к предыдущему году	в % к итогу	в % к предыдущему году	в % к итогу	в % к предыдущему году	в % к итогу	в % к предыдущему году	в % к итогу	в % к предыдущему году
Средняя численность работников. Всего, в том числе:	100	100	98,3	100	99,3	100	99,4	100	99,4	100	98,8
- крупные	73,9	73,8	98,1	73,0	98,2	73,6	100,3	74,7	100,3	74,7	100,3
- МСП, в том числе:	26,1	26,2	98,9	27,0	102,3	26,4	97,0	25,3	97,0	25,3	94,6
малые	9,5	9,8	101,1	10,1	102,1	10,3	101,9	9,9	101,9	9,9	94,2
микро-	7,5	7,7	102,0	8,3	108,7	7,7	90,4	7,1	90,4	7,1	91,9
средние	9,1	8,7	94,1	8,6	97,0	8,4	97,9	8,3	97,9	8,3	97,7

Источник: рассчитано на основе [2, 5].

Таблица 3 – Относительные показатели сравнения оплаты труда в обрабатывающей промышленности Республики Беларусь

Показатели	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.
	в % к средней по виду деятельности	в % к средней по виду деятельности	в % к средней по виду деятельности	в % к средней по виду деятельности	в % к средней по виду деятельности
Среднемесячная заработная плата работника по обрабатывающей промышленности, в том числе по субъектам бизнеса	100	100	100	100	100
крупные	117,5	118,1	114,7	109,4	104,8
малые	90,5	90,5	90,1	89,5	88,8
микро-	69,2	65,5	66,1	69,4	70,4
средние	99,2	101,4	102,3	100,8	99,8

Источник: рассчитано на основе [2, 5].

Таблица 4 – Уровни производительности труда в обрабатывающей промышленности Республики Беларусь

Показатели	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.
	в % к средней по виду деятельности	в % к средней по виду деятельности	в % к средней по виду деятельности	в % к средней по виду деятельности	в % к средней по виду деятельности
Производительность труда в обрабатывающей промышленности, в том числе по субъектам бизнеса	100	100	100	100	100
крупные	108,5	107,8	109,5	109,8	109,3
малые	92,0	77,3	71,9	71,4	71,5
микро-	51,6	58,1	54,0	56,8	53,3
средние	66,2	109,3	90,0	82,6	84,4

Источник: рассчитано на основе [2, 5].

Низкий уровень производительности труда является следствием недостаточной оснащённости рабочих мест. Вероятность того, что малый и микробизнес будет соответствовать программным целям создания высокоэффективных рабочих мест, близка к нулю. Собственных средств для осуществления инвестиционных программ развития бизнеса у этой сферы экономики недостаточно, так как в 2015 году на долю 7,1 % занятых в микробизнесе приходился 1 % общей прибыли от реализации продукции, работ услуг, на долю 9,9 % занятых в малом бизнесе – 9,5 % (таблицы 3 и 5).

Кредитные ресурсы при государственной политике дорогих денег и ставке рефинансирования Национального банка Республики Беларусь даже сниженной в 2017 году до 16 % для малого и микробизнеса слишком обременительны.

В 2013 году принято постановление [3], в соответствии с которым из средств республиканского бюджета могут компенсироваться проценты за пользование банковским кредитом организациям, осуществляющим модернизацию производства. Основное условие – в результате проведения модернизации производства они должны обеспечить достижение определенного

Таблица 5 – Структура прибыли от реализации продукции, работ, услуг организаций обрабатывающей промышленности

Показатели	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.
Прибыль от реализации продукции, работ, услуг, %.	100	100	100	100	100
Всего, в том числе:					
крупные	81,4	75,4	78,5	83,1	81,3
малые	11,0	7,5	9,6	8,0	9,5
микро-	1,8	3,3	3,3	1,6	1,0
средние	5,8	13,8	8,6	7,3	8,2

Источник: рассчитано на основе [2, 5].

уровня производительности труда (например, минимальный уровень по видам обрабатывающей промышленности – «обработка древесины и производство изделий из дерева» – 16,6 тыс. долларов добавленной стоимости на 1 работника в год). Претендовать на участие в процессах льготного кредитования инвестиционных процессов, в соответствии с этим постановлением, смогут организации крупного и среднего бизнеса. Малый и микробизнес не сможет обеспечить создание высокотехнологичных рабочих мест и условий мотивации к высокоэффективному труду, а, следовательно, он останется непривлекательным для квалифицированной рабочей силы.

Создание высокотехнологичных рабочих мест в результате инновационного преобразования процессов производства и реализации работ, услуг и продукции в сфере крупного и среднего бизнеса предъявляет дополнительные требования к квалификации работников, менеджеров среднего звена и управленцев высшего уровня. На уровне правительства и бизнес-сообщества Республики Беларусь обсуждаются следующие варианты обеспечения сферы производства квалифицированным персоналом: а) приглашать квалифицированных специалистов из Европы, где сложился высокий уровень безработицы; б) повысить качество базовой подготовки кадров в учебных заведениях и в организациях, предлагающих дополнительное образование; в) организовывать подготовку кадров и повышение их квалификации на предприятиях. Парадокс заключается в том, что во многих крупных государственных организациях существует избыточная численность работников. Кадровая диагностика [7] выявила избыточную численность

работающих в организациях страны почти 6 %. Оптимизация и реструктуризация трудового потенциала позволила бы значительно повысить эффективность деятельности этих организаций. Чтобы не усиливать социальную нагрузку, высвобожденным работникам необходимо предложить адекватную альтернативу: трудоустроиться в сфере частного сектора экономики, повысить квалификацию или пройти переподготовку, открыть свой бизнес. Последняя альтернатива в рамках этой статьи не рассматривается.

Из проведенного исследования вытекает, что сфера малого и микробизнеса не будет привлекательной для работников, высвобожденных с предприятий крупного бизнеса. Кроме того, чем выше дифференциация в оплате труда, тем выше вероятность текучести квалифицированных кадров в результате конкуренции за трудовые ресурсы. По результатам социологического опроса, (HeadHunter Беларусь, проект РАБОТА. TUT. BY [6]), 40 % из числа имеющих работу, регулярно просматривают сайты вакансий. В этих условиях актуальной становится задача, сформулированная Сэмом Уолтоном [8], что сотрудники важнее клиентов, следовательно, все принципы маркетинга по поиску, привлечению и удержанию клиентов жизненно необходимо применять к своим сотрудникам и улучшать их работу. С позиций концепции достойного труда – это укрепление социального диалога, с позиций отношений «бизнес – государство» – социальная ответственность. Чтобы ослабить сложившиеся тенденции по приобретению квалифицированных специалистов организаций-конкурентов через предложение более высокого уровня оплаты труда (за требуемую квалификацию ор-

ганизации готовы платить), необходимо участвовать в создании рынка квалифицированной рабочей силы. Для этого необходимо осуществить переход от упреков к качеству базового образования всех уровней к конструктивному диалогу между государством, нанимателями и учебными заведениями.

#### ПОДХОДЫ К ДОСТИЖЕНИЮ СБАЛАНСИРОВАННОСТИ СПРОСА И ПРЕДЛОЖЕНИЯ НА РЫНКЕ ТРУДА

Вопросам согласования рынка образовательных услуг и рынка труда уделяется внимание как в развитых, так и в развивающихся странах, которые в силу структурной перестройки экономики столкнулись с их дисбалансом. Наиболее распространенными мерами регулирования оказались организационные, в виде создания национальных советов, комиссий, центров по вопросам профессиональных умений, планирования подготовки кадров, содействия трудоустройству и адаптации к рынку труда выпускников всех форм обучения [9, с. 99–100]. В состав комиссий по вопросам профессиональных умений входят представители бизнеса, профсоюзов, системы образования и правительства. В Российской Федерации обосновывается необходимость создания центров с целью обеспечения совместимости компетенций уровня образования, определяемого федеральными государственными образовательными стандартами и вузами, и компетенций, предъявляемых к рабочей силе рынком труда [10, с. 43–49]. Частичное решение проблемы дисбаланса между рынком труда и рынком образовательных услуг возможно путем прямых связей между вузами и работодателями. Под потребности конкретных заказчиков должны быть определены показатели оценки компетенций специалистов, методики обучения, критерии отбора образовательных программ и их реализация [10, 11]. Организационные меры в разных странах могут дополняться: а) административно-принудительными в виде, например, специальных законов и предписаний для всех предприятий с численностью работников, превышающей 500 человек, ежегодно обучать 15 % рабочей силы [9, с. 104]; б) экономическими: финансирование работы в частных фирмах выпускников путем предоставления в течение полугодия владельцам предприятий субсидий в виде опла-

ты 50 % издержек на вновь созданные рабочие места [12]. Трудоустройство молодежи – одна из наиболее значимых проблем в Республике Беларусь. Это единственная категория рынка труда, в которой на 1 вакансию претендуют 44 соискателя [6], но ни организационных, ни тем более экономических мер содействия адаптации и занятости не предусмотрено. Обсуждаемые для внедрения меры по усилению ответственности субъектов хозяйственного оборота за отказ от заявленной потребности в дипломированных специалистах и увеличение сроков отработки обязательного распределения снизят мотивацию потенциальных работников к получению образования, и приобретению дополнительных компетенций, так как, по мнению всех авторов, это в интересах только финансово неэффективных организаций, которые на условиях конкуренции не могут привлечь квалифицированные кадры и обеспечить достойный уровень оплаты труда [9, 11, 13]. Изменение профессиональных компетенций в результате инновационного преобразования субъектов хозяйственного оборота может компенсироваться с помощью государственных программ содействия занятости и программ дополнительного последипломного образования. И те, и другие дорогостоящи и не всегда эффективны. Неэффективность первых – в низкой мотивации официально зарегистрированных безработных к труду [13, с. 181]; вторых – по заключению специалистов, работающих в организациях, предлагающих дополнительное образование [14], результативность программы может оказаться близкой к нулю, если заказчик не смог конкретизировать цель повышения квалификации, а слушатели не заинтересованы в дополнительных знаниях. В организациях должно культивироваться стремление к росту профессионализма, а эффективное использование высокой квалификации обеспечивает значительный прирост прибыли. Последнее утверждение основывается на многолетних исследованиях экономистов США [15] предпринимательских структур, вкладывающих финансовые ресурсы в повышение квалификации персонала и экономящих на таких вложениях. Десятилетний период исследований и одних, и вторых позволил сделать вывод, что лучших финансовых результатов в долгосрочной перспективе до-



стигают те предпринимательские структуры, которые стремятся к повышению квалификации собственного персонала, а не к постоянному его обновлению за счет привлечения специалистов соответствующего уровня со стороны.

Решению проблемы привлечения квалифицированных кадров в малом и микробизнесе (ни экономически, ни организационно они самостоятельно не смогут их привлечь и удерживать) могут содействовать инжиниринговые и консалтинговые организации, которые на договорной основе обеспечат кадровое сопровождение их деятельности.

На основе вышеизложенного, совершенствование организационного аспекта согласования подготовки кадров по объему и структуре для экономики инновационного развития может осуществляться в три этапа:

1. В соответствии со стратегией структурной перестройки экономики страны на основе прогнозирования определяется перечень специальностей и ориентировочных цифр государственного заказа на подготовку квалифицированных кадров. Информация должна быть публичной, что позволит сформировать стремление к росту профессионализма.

2. Состав компетенций и требования к квалификации специалистов согласовываются с инновационно активными организациями круп-

ного и среднего бизнеса и высшими учебными заведениями.

3. Возможная корректировка цифр государственного заказа в зависимости от уровня и темпов преобразования экономики.

#### ВЫВОДЫ

Инновационное развитие экономики Республики Беларусь требует создания высокотехнологичных рабочих мест и подготовки работников соответствующей квалификации. Оптимизация численности работников и изменение требований к их профессиональным компетенциям существенно изменит ситуацию на рынке труда и может привести к снижению доходов и качества жизни, что противоречит целям Концепции достойного труда и социально-экономического развития Республики Беларусь. Для достижения сбалансированности спроса и предложения на рынке труда целесообразно воспользоваться опытом других стран в применении организационных и экономических мер для стимулирования инвестиций в формирование рынка труда, соответствующего требованиям инновационной экономики. Активный диалог и организационное взаимодействие между государством, нанимателями и учебными заведениями позволят обеспечить высокую эффективность как государственных, так и частных инвестиций.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Достойный труд – ключевой ресурс инновационного развития, *Доклады и тезисы докладов круглого стола, посвященного 90-летию Международной организации труда, проведенного в рамках Ломоносовских чтений на Второй международной научной конференции «Инновационное развитие экономики России: ресурсное обеспечение» (22–24 апреля 2009 г.)*, Москва, ТЕИС, 2009, 824 с.
2. Малое и среднее предпринимательство в Республике Беларусь: статистический ежегодник (2016), *Национальный статистический комитет Республики Беларусь*, Минск, 2016, 366 с.

#### REFERENCES

1. Kolosovoj, R.P. (2009), *Decent work - the key resource of innovative development. Reports and theses of the round table reports, dedicated to the 90th anniversary of the International Labour Organization, held in the framework of Lomonosov Readings at the Second International Scientific Conference «Innovative development of Russian economy: resource provision» (April, 22–24, 2009)* [Dostojnyj trud – kljuchevoj resurs innovacionnogo razvitija], Moscow, TEIS, 2009, 824 p.
2. Maloe i srednee predprinimatel'stvo v Respublike Belarus': statisticheskij ezhegodnik (2016), *Nacional'nyj statisticheskij komitet Respubliki Belarus'* [Small and medium-size business in the

3. *О мерах по стимулированию реализации инвестиционных проектов с высокой добавленной стоимостью.* Указ Президента Республики Беларусь № 301 от 8 июля 2013 г. Нац. Реестр правовых актов Республики Беларусь 9 июля 2013 г.
4. *О создании дополнительных условий для инвестиционной деятельности в Республике Беларусь.* Декрет Президента Республики Беларусь от 6 августа 2009 года № 10.
5. Республика Беларусь: статистический ежегодник (2016), *Национальный статистический комитет Республики Беларусь*, Минск, 2016, 518 с.
6. *Рынок труда Беларуси. Итоги 2016* (2016), режим доступа: <https://jobs.tut.by/article/19797> (дата доступа: 01.03.2017)
7. Лобович, А. (2017), *Оптимизация должна быть социально ответственной*, режим доступа: <http://www.belta.by/society/view/optimizatsija-dolzha-byt-sotsialno-otvetstvennoj-lobovich-232545-2017/> (дата доступа: 01.03.2017)
8. Уолтон, С. (2011), *Сделано в Америке. Как я создал Wal – Mart*, Альпина Паблишер, 224 с.
9. Ванкевич, Е.В., Коробова, Е.Н., Шарстнев, В.Л., Войтеховская, И.А. (2010), *Рынок образовательных услуг и рынок труда Республики Беларусь: направления согласования*, Витебск, УО «ВГТУ», 2010, 206 с.
10. Горбатко, Е.С. (2013), *Методика формирования компетенций в интегрированной системе высшего образования, ФЭС: Финансы. Экономика. Стратегия*, 2013, № 70, С. 43–49.
11. Завгородняя, В.В., Хамалинский, И.В. (2014), *Основные направления развития взаимодействия рынка труда и рынка образовательных услуг, Региональная экономика: теория и практика*, 2014, № 37, режим доступа: Republic of Belarus: Statistical Yearbook], Minsk, 2016, 366 p.]
3. *O merah po stimulirovaniju realizacii investicionnyh proektov s vysokoj dobavlennoj stoimost'ju*, [The measures to encourage the implementation of high value-added investment projects], (2013), The Decree of the President of the Republic of Belarus № 301, July 8, 2013, Nat. Register of Legal Acts of the Republic of Belarus, July 9, 2013.
4. *O sozdanii dopolnitel'nyh uslovij dlja investicionnoj dejatel'nosti v Respublike Belarus'* [On creation of additional conditions for investment activity in the Republic of Belarus], (2009), The Decree of the President of the Republic of Belarus, № 10, August 6, 2009.
5. Respublika Belarus': statisticheskiy ezhegodnik (2016), Minsk, Nacional'nyj statisticheskiy komitet Respubliki Belarus' [The Republic of Belarus: Statistical Yearbook], Minsk, 2016, 518 p.
6. *Rynok truda Belarusi. Itogi 2016* [Labor market of Belarus. Results of 2016], (2016), available at: <https://jobs.tut.by/article/19797> (accessed 01.03.2017)
7. Lobovich, A. (2017), *Optimizacija dolzhna byt' social'no otvetstvennoj* [Optimization has to be socially responsible], (2017), available at: <http://www.belta.by/society/view/optimizatsija-dolzha-byt-sotsialno-otvetstvennoj-lobovich-232545-2017/> (accessed 01.03.2017)
8. Uolton, S. (2011), *Sdelano v Amerike. Kak ja sozdal Wal – Mart*, [Made in America. How I created Wal – Mart], Alpina Publisher, 224 p.
9. Vankevich, E.V., Korobova, E. N., Sharstnev, V.L., Vojtehovskaja, I.A. (2010), *Rynok obrazovatel'nyh uslug i rynek truda Respubliki Belarus': napravlenija soglasovanija* [Education market and labor market of Republic of Belarus: directions of consistency], Vitebsk, VSTU, 206 p.
10. Gorbatko, E.S. (2013), The technique of

- <http://cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-napravleniya-razvitiya-vzaimodeystviya-rynka-truda-i-rynka-obrazovatelnyh-uslug#ixzz4ZbmnMX5k> (дата доступа: 01.03.2017)
12. Алашеев, С.Ю., Кутейницына, Т.Г., Посталюк, Н.Ю. (2013), *Обзор мировых практик организации взаимодействия рынка труда и системы профессионального образования*, режим доступа: <http://userdocs.ru/geografiya/37942/index.html> (дата доступа: 01.03.2017)
  13. Ванкевич, Е.В., Коробова, Е.Н. (2015), Оценка эффективности активных программ содействия занятости в регионе, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2015, № 28, С.174–185.
  14. Колесников, С. (2016), *Кнут или пряник?* режим доступа: <http://delo.by/personnel/~shownews/knut-ili-prjanik> (дата доступа: 20.10.2016)
  15. Westover, J.H. (2013), The Impact of Comparative State-Directed Development on Working Conditions and Employee Satisfaction, *Journal of Management and Organization*, 2013, № 19, Issue 2, pp. 451–463.
  11. Zavgorodnjaja, V.V., Hamalinskij, I.V. (2014), *Osnovnye napravlenija razvitija vzaimodejstvija rynka truda i rynka obrazovatel'nyh uslug* [Main development directions of interaction between labor and education markets], *Regional'naja jekonomika: teorija i praktika*, 2014, № 37, available at: <http://cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-napravleniya-razvitiya-vzaimodeystviya-rynka-truda-i-rynka-obrazovatelnyh-uslug#ixzz4ZbmnMX5k> (accessed 01.03.2017)
  12. Alasheev, S.Ju., Kutejnicyna, T.G., Postaljuk, N.Ju. (2013), *Obzor mirovyh praktik organizacii vzaimodejstvija rynka truda i sistemy professional'nogo obrazovanija* [World practice review of organization of interaction between labor market and professional education system], available at: <http://userdocs.ru/geografiya/37942/index.html> (accessed 01.03.2017)
  13. Vankevich, E.V., Korobova, E.N. (2015), Efficiency appraisal of active programs for employment assistance in the region [Ocenka jeffektivnosti aktivnyh programm sodestvija zanjatosti v regione], *Vestnik of Vitebsk state technological University – the VSTU Bulletin*, 2015, № 28, pp. 174–185.
  14. Kolesnikov, S. (2016), *Knut ili prjanik* [Knut or carrots?] available at: <http://delo.by/personnel/~shownews/knut-ili-prjanik> (accessed 20.10.2016)
  15. Westover, J.H. (2013), The Impact of Comparative State-Directed Development on Working Conditions and Employee Satisfaction, *Journal of Management and Organization*, 2013, Vol. 19, Issue 2, pp. 451-463.

Статья поступила в редакцию 05. 12. 2016 г.

## ОЦЕНКА И АНАЛИЗ СИСТЕМЫ МОТИВАЦИИ И СТИМУЛИРОВАНИЯ ТРУДА ПЕРСОНАЛА КОММЕРЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

### ASSESSMENT AND ANALYSIS OF THE SYSTEM OF PERSONNEL MOTIVATION AND STIMULATION IN THE COMMERCIAL ORGANIZATION

Л.В. Прудникова<sup>1\*</sup>, О.И. Юркевич<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Витебский государственный технологический университет

<sup>2</sup> Филиал «Витебские тепловые сети» РУП «Витебскэнерго»

УДК 658.310.9

L. Prudnikava<sup>1\*</sup>, O. Yurkevich<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Vitebsk State Technological University

<sup>2</sup> «Vitebsk Heat Supply Networks» Affiliate of RUE «Vitebskenergo»

#### РЕФЕРАТ

**ФАКТОРЫ МОТИВАЦИИ, УРОВЕНЬ МОТИВАЦИИ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ МОТИВАЦИИ, РЕЗУЛЬТАТИВНОСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ, ОЦЕНКА МАТЕРИАЛЬНОЙ МОТИВАЦИИ, ВЫПЛАТЫ СТИМУЛИРУЮЩЕГО ХАРАКТЕРА, ФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ ЕМКОСТИ СТИМУЛИРУЮЩИХ ВЫПЛАТ, СИСТЕМА ГРЕЙДОВ**

*В работе обоснована необходимость оценки и анализа системы мотивации и стимулирования труда персонала коммерческой организации. Предложена авторская классификация систем оплаты труда согласно уровня мотивационной составляющей и классификация выплат стимулирующего характера в зависимости от мотивационной направленности. На основе комплексного подхода разработана методика оценки и анализа системы мотивации и стимулирования труда персонала коммерческой организации, включающая факторы, частные и обобщающие показатели. В результате апробации методики в ООО «Модерн-Экспо» и филиале «Витебские тепловые сети» РУП «Витебскэнерго» дана оценка эффективности системы мотивации и стимулирования труда персонала, выявлена необходимость и определены направления ее совершенствования в исследуемых организациях.*

#### ABSTRACT

**FACTORS, LEVEL MOTIVATION, EFFICACY OF MOTIVATION, THE PERFORMANCE OF ORGANIZATION, EVALUATION OF MATERIAL MOTIVATION, PAYMENTS OF STIMULATING CHARACTER, FACTOR ANALYSIS OF CAPACITY STIMULATING PAYMENTS, GRADING SYSTEM**

*The work proves the necessity of evaluation and analysis of the motivation system and stimulation of the commercial organization's personnel's work. The authors offered the classification of remuneration systems according to the level of the motivational component and classification of incentive payments depending on motivational orientation. Based on integrated approach the technique of motivation system analysis and assessment and stimulation of the personnel's work in the commercial organization is developed including factors, individual and collective indicators. The methodology being tested at JSC «Modern-Expo» and «Vitebsk heat networks» affiliate of RUE «Vitebskenergo» the effectiveness of the system of motivation and stimulation of staff's work is evaluated, the need and determined the directions of its improvement in the studied organizations is identified.*

\* E-mail: prudnikova70@yandex.ru (L. Prudnikava)

## АКТУЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ

Достижение целей организации невозможно без обеспечения эффективных действий персонала. Для этого нужно не только обеспечить функциональную загрузку работников и создать им необходимые условия, но и вызвать у них желание энергично совершать именно те действия, которые приближают организацию к достижению поставленных целей. В связи с этим руководство должно выполнять весьма важную функцию – создание условий для мотивации работников и осуществление ее на практике. Особенностью современного управления персоналом является возрастающая роль личности работника, соответственно меняется соотношение мотивов и потребностей, на которые может опереться система мотивирования. Для мотивации сотрудников сегодня используют как финансовые, так и нефинансовые методы вознаграждения. Между тем определенности в соотношении отдельных аспектов мотивации сотрудников и наиболее эффективных методов управления ими ни теория менеджмента, ни практика управления персоналом не дает. Необходимо отметить, что в большинстве научных трудов, посвященных мотивации, основное внимание уделено исследованиям проблем структуры и динамики трудовой мотивации. Между тем исследований, посвященных практической разработке ориентированных моделей трудовой мотивации персонала коммерческих организаций в условиях «новой экономики», явно недостаточно. Таким образом, особую значимость приобретает разработка рекомендаций по оценке и совершенствованию системы мотивации и стимулирования труда персонала организации.

## ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель статьи состоит в разработке методики оценки и анализа системы мотивации и стимулирования труда персонала коммерческой организации.

Для реализации поставленной цели в ходе исследования решены следующие задачи:

- развитие теоретико-методологических основ системы мотивации и стимулирования труда персонала;
- изучение отечественного и зарубежного опыта оценки и анализа системы мотивации и стимулирования труда персонала;

- определение уровня мотивации персонала на основе оценки значимости выделенных мотивационных факторов и оценки степени удовлетворенности ими;

- определение числового значения результативности деятельности организации на основе использования многокритериального метода измерения результативности;

- определение эффективности мотивации и ее группировка;

- разработка факторной модели емкости стимулирующих выплат;

- оценка наличия и тесноты связи между размером стимулирующих выплат и уровнем зарплатоёмкости;

- разработка алгоритма выбора направления совершенствования системы мотивации персонала.

## СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Впервые слово «мотивация» употребил Артур Шопенгауэр в статье «Четыре принципа достаточной причины»: мотивация – это причинность, видимая изнутри. В настоящее время существуют два подхода к определению мотивации. Первый из них рассматривает мотивацию как структурное образование, как совокупность факторов или мотивов (В. И. Ковалев, В. Д. Шадриков, Г. Г. Зайцев, Э. А. Уткин). В рамках второго подхода мотивация рассматривается как динамичное образование, как процесс, поддерживающий психическую активность человека на определенном уровне (Е. П. Ильин, В. Н. Куницына, М. Х. Мескон, В. К. Вилюнас). Также выделяется два подхода к изучению теорий мотивации. Содержательные теории мотивации базируются на удовлетворении потребностей и побуждении человека к действиям (иерархия потребностей Маслоу, теория Ф. Герцберга, теория МакКлелланда). Согласно процессуальному подходу, поведение личности определяется не только ее потребностями, но и восприятием ситуации, ожиданиями, связанными с ней, оценкой своих возможностей, последствий выбранного типа поведения (теория Врума, теория Адамса, модель Портера-Лоулера). В результате человек принимает решение об активных действиях или бездействии. Несмотря на то, что данные теории расходятся по ряду вопросов, они не являются взаимоисключающими и во многом дополняют друг друга. Развитие теорий

мотивации имело явно эволюционный, а не революционный характер. Данные теории мотивации в той или иной мере используются в решении ежедневно возникающих задач побуждения людей к эффективному труду [4, 6, 8, 9].

Исследовав основные содержательные и процессуальные мотивационные теории, их состав, достоинства и недостатки, предлагается представить модель мотивации персонала организации в виде двухуровневой системы (рисунок 1).

Первый уровень мотивации – удовлетворение базовых потребностей (потребность в работе, стабильности, минимально необходимых условиях труда). Только после достижения данного уровня можно говорить о мотивации к более эффективному труду. Второй уровень – непосредственная мотивация к более эффективному труду, достигаемая с помощью материальных и нематериальных факторов мотивации. Значимость применяемых факторов мотивации стимулирует работника к действию, в результате которого ожидается получение дополнительных бонусов. В случае удовлетворённости полученным вознаграждением и затратами на его достижение работник мотивируется на повышение эффективности своей деятельности.

Материальные стимулы – это наиболее важное средство воздействия на мотивацию работников, обладающее значительным потенциалом в ее повышении. В материальном стимулировании основное значение имеет заработная плата.

Сравнительная характеристика систем оплаты труда с точки зрения влияющих мотивационных факторов представлена в таблице 1. Авторская классификация систем оплаты труда, с точки зрения мотивационной составляющей, представлена на рисунке 2.

При этом, рассматривая состав и структуру фонда заработной платы, необходимо отметить, что размер мотивационного влияния на персонал не пропорционален доле элементов в фонде заработной платы (рисунок 3).

Наибольшее мотивационное влияние несут в себе выплаты стимулирующего характера, поскольку призваны повышать результаты деятельности работника, его профессиональный уровень, инициативу и лояльность к организации. Так как выплаты стимулирующего характера обладают наибольшим мотивационным потенциалом, представим их авторскую классификацию в зависимости от мотивационной направленности (рисунок 4).

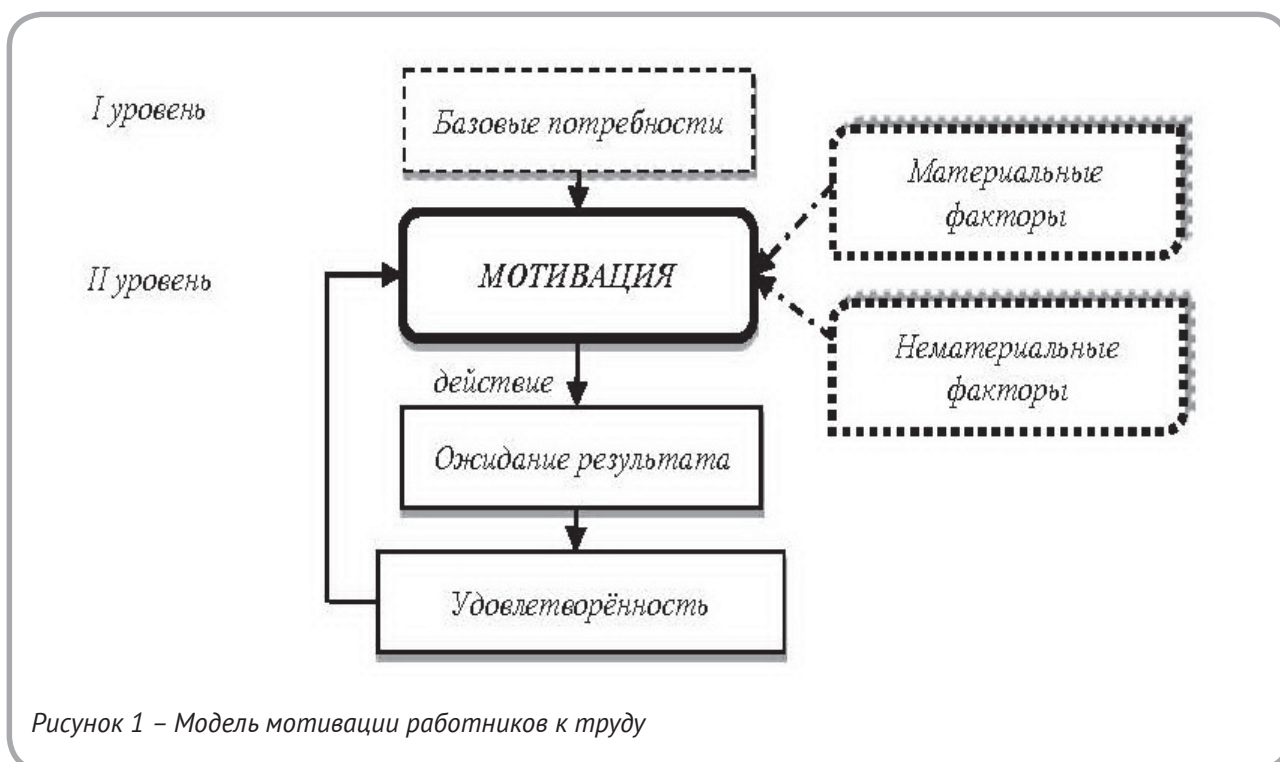


Рисунок 1 – Модель мотивации работников к труду

Источник: составлено авторами.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика форм и систем оплаты труда

Формы и системы оплаты труда	Зависимость от результативности работника	Зависимость от финансовых результатов организации	Зависимость от уровня профессиональных знаний работника
Система компетенций			
Повременная форма		■	
Бестарифная система			
Бонусная система			
Система <b>QPR</b>			
Сдельная форма		■	
Система <b>KPI</b>			
Система грейдов	■	■	

Примечания: □ - фактор оказывает влияние на формы и системы оплаты труда; ■ - фактор может оказывать влияние в зависимости от условий применения форм и систем оплаты труда.

Источник: составлено авторами.



Рисунок 2 – Классификация систем оплаты труда согласно мотивационной составляющей

Источник: составлено авторами.

В целях исследования факторов мотивации работников рядом авторов предлагаются различные методики определения уровня мотивации для сотрудников с позиции оценки значимости факторов (таблица 2).

Несмотря на значительное количество исследований в области оценки и анализа уровня мотивации, предлагаемые различными автора-

ми методики носят описательный характер и направлены на определение значимых мотивационных факторов и психотипов работников. При этом оценка уровня мотивации не связывается ни с результативностью труда, ни с количественным выражением мотивационных факторов (например, оплатой труда). К модели, позволяющей получить количественную оценку



Рисунок 3 – Доля и мотивационное влияние элементов фонда заработной платы

Источник: составлено авторами.

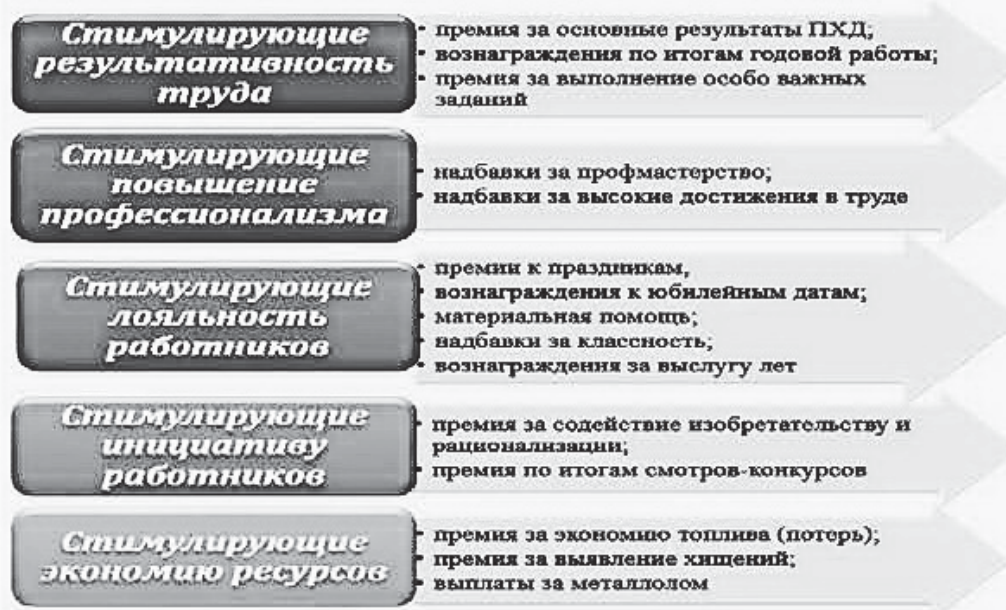


Рисунок 4 – Классификация стимулирующих выплат в зависимости от мотивационной направленности

Источник: составлено авторами.

уровня мотивации, можно отнести факториально-критериальную квалиметрическую модель. Данная модель позволяет оценить результирующую направленность личности или группы через выявление уровня удовлетворенности соответствующих потребностей и определение их

удельной значимости, что позволяет объединить качественные и количественные процессы, а также исследуется личностно-ориентированный уровень профессиональной мотивации работников и оценивается уровень коммуникационного взаимодействия [1, с. 179].



Таблица 2 – Сравнительная характеристика методик оценки уровня мотивации

Методика	Результат	Преимущества	Недостатки
Тест «Мотивационный профиль» Ш. Ричи и П. Мартина	определение значимых и мало значимых факторов для работников	возможность определения средних значений для всего персонала	трудоёмкость обработки результатов
Тест Motupe В. Герчикова	определение психотипа сотрудника	позволяет разделить персонал на мотивационные группы	невозможность отнести человека к одному определенному типу
Миннесотский многопрофильный личностный опросник (ММРП)	позволяет разделить сотрудников на три мотивационные группы	позволяет учесть особенности сотрудника и особенности его мотивации	продолжительность и трудоёмкость проведения исследования
Метод эннеграммы	наглядное представление мотивации работника в соответствии с выделенными факторами и определение его энниатипа	позволяет определить наиболее значимые факторы мотивации и разбить работников на энниатипы	невозможность точно отнести конкретного работника к одному энниатипу

Источник: составлено авторами на основе: [1, 6, 9].

Большинство авторов (Г.В. Савицкая, Л.Л. Ермолович, В.И. Стражев и другие) оценку и анализ фонда заработной платы как одного из мотивационных факторов предлагают осуществлять по схеме анализа, включая: анализ состава и структуры фонда заработной платы, факторный анализ фонда заработной платы, оценку соотношения темпов роста средней заработной платы и производительности труда, оценку эффективности использования средств на оплату труда. В рамках этапа оценки эффективности использования средств на оплату труда предлагается рассчитывать показатели объёма выпущенной продукции, выручки, прибыли и чистой прибыли на один рубль заработной платы. Соответственно, ни одним из рассмотренных авторов не предлагается оценивать уровень мотивации и стимулирования труда персонала на основе оценки и анализа стимулирующих выплат, что свидетельствует о необходимости совершенствования существующей методики анализа.

#### МЕТОДИКА ОЦЕНКИ И АНАЛИЗА СИСТЕМЫ МОТИВАЦИИ И СТИМУЛИРОВАНИЯ ТРУДА

Среди многообразных инструментов формирования действенного механизма трудовой мотивации принципиальное значение имеет использование экономического анализа эф-

фективности системы мотивации. Однако оценка мотивации труда работников является более сложной, чем оценка качественных и количественных результатов трудовой деятельности. В науке и практике не существует точных и обоснованных методов и методик оценки и анализа системы мотивации труда персонала, результат большинства из них носит описательный характер.

Для оценки и анализа системы мотивации и стимулирования труда персонала была разработана методика, включающая в себя три этапа (рисунок 5).

Первый этап методики предполагает оценку эффективности мотивации как произведения оценочного уровня мотивации работников и итогового показателя результативности деятельности. Источником информации для оценки уровня мотивации работников являются результаты анкетирования работников. Анкета содержит вопросы, охватывающие оценку как лично-ориентированного уровня профессиональной мотивации, так и уровня коммуникативного взаимодействия, и включает такие факторы, как уровень успеха работника в организации, возможность повышения квалификации, уровень технической оснащённости, отно-

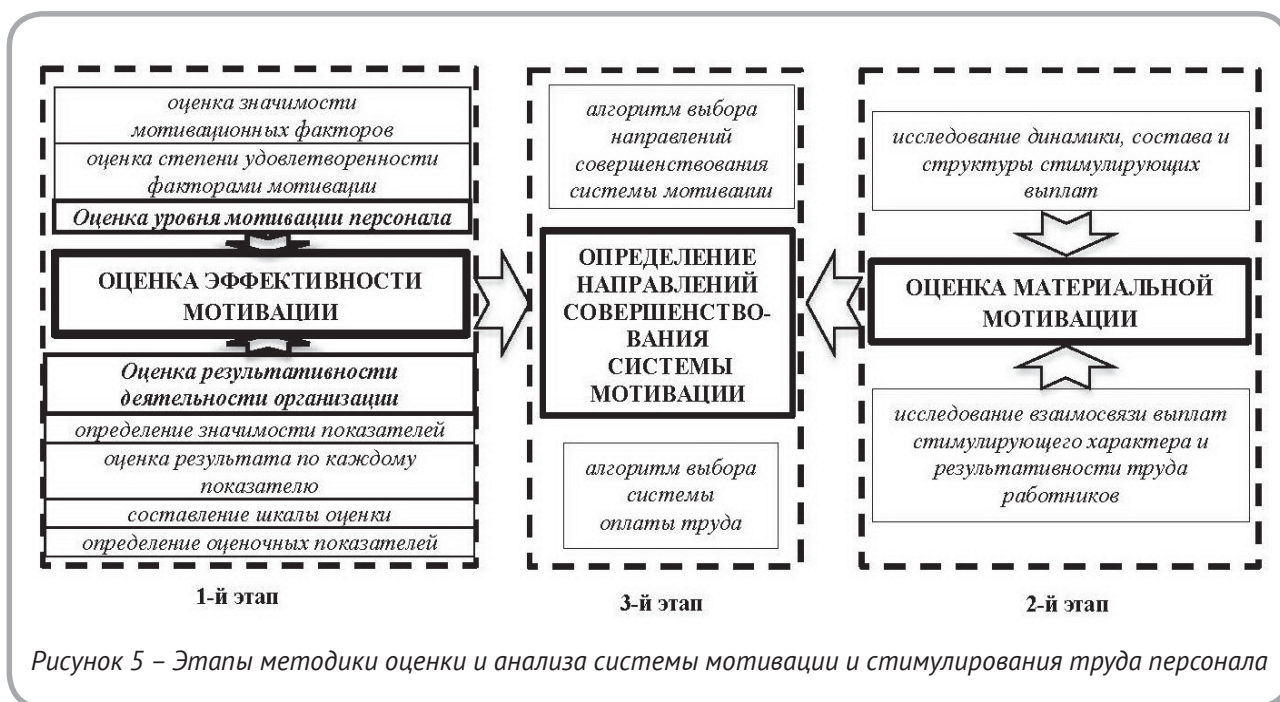


Рисунок 5 – Этапы методики оценки и анализа системы мотивации и стимулирования труда персонала

Источник: составлено авторами.

шения с руководителем, отношения с коллегами; уровень организации труда, санитарно-гигиенические условия, возможность должностного продвижения, уровень ответственности, режим работы, размер заработка. Один раздел анкеты направлен на оценку значимости мотивационных факторов, второй – на выявление степени удовлетворённости ими. Обработка анкет проводится на основе метода факториально-критериальной квалиметрической модели. Уровень мотивации работников по факторам определяется как произведение степени удовлетворённости фактором и уровня его значимости. Сумма пофакторной удовлетворенности дает общую оценку мотивации работников (максимально возможная оценка 1).

Получить числовую оценку результативности позволяет матричный метод измерения результативности, позволяющий интегрировать количественные и качественные результаты. Матрица результативности включает в себя оценочные показатели, шкалу оценки, саму оценку, значимость каждого показателя оценки и результаты – по каждому из показателей в отдельности и итоговый показатель. Оценочные показатели должны соответствовать целям и задачам организации, поддаваться влиянию со стороны объекта анализа и всесторонне характеризо-

вать объект. Оценка результата по каждому из показателей осуществляется путем соотнесения фактического результата со шкалой оценки. Значимость каждого из показателей в матричном методе измерения результативности определяется в процентах от общего результата. Результативность по каждому из оценочных показателей рассчитывается как произведение оценки на значимость. Итоговая результативность объекта определяется как сумма результативностей по каждому из показателей. Матричный метод позволяет получить комплексную обобщающую оценку результативности труда работников, оценить нацеленность работников на достижение поставленных задач и повышение эффективности деятельности.

Предлагается выделить четыре уровня эффективности системы мотивации: высокий уровень эффективности (8–10); достаточный уровень эффективности (6–8), требующий незначительных корректировок; уровень эффективности ниже среднего (4–6), свидетельствующий о необходимости пересмотра системы мотивации; низкий уровень эффективности (менее 4), свидетельствующий о необходимости коренного изменения данной системы. Таким образом, полученные результаты оценки позволяют сделать выводы об эффективности функционирования

системы мотивации и стимулирования труда в организации и необходимости корректировки данной системы.

Второй этап методики предполагает оценку материальной мотивации. Она начинается с исследования динамики, состава и структуры стимулирующих выплат, согласно предложенной классификации в зависимости от мотивационной направленности: выплаты, стимулирующие результативность труда, повышение профессионализма, лояльность персонала, инициативу работников, экономию ресурсов. Затем осуществляется исследование взаимосвязи выплат стимулирующего характера и результативности труда работников, которое предлагается проводить, используя показатель ёмкости стимулирующих выплат, рассчитываемый по формуле

$$E_{ст} = \frac{CT_{рт} + CT_{пш} + CT_{лр} + CT_{ир} + CT_{эр}}{V_{вп}} =$$

$$= E_{ст_{рт}} + E_{ст_{пш}} + E_{ст_{лр}} + E_{ст_{ир}} + E_{ст_{эр}}, \quad (1)$$

где  $V_{вп}$  – объём выпущенной продукции;  $CT_{рт}$  – выплаты, стимулирующие результативность труда;  $CT_{пш}$  – выплаты, стимулирующие повышение профессионализма;  $CT_{лр}$  – выплаты, стимулирующие лояльность работников;  $CT_{ир}$  – выплаты, стимулирующие инициативу работников;  $CT_{эр}$  – выплаты, стимулирующие экономию ресурсов.

При этом показатель ёмкости стимулирующих выплат целесообразно представить как сумму ёмкостей выплат стимулирующего характера в зависимости от их мотивационной направленности.

Для определения влияния изменения стимулирующих выплат по их видам на динамику ёмкости стимулирующих выплат проводится факторный анализ. Для определения зависимости между размером стимулирующих выплат и уровнем зарплатоёмкости следует провести корреляционно-регрессионный анализ, который позволит судить о наличии и характере данной взаимосвязи.

Проведённый анализ материальной мотивации позволит судить о мотивационной направленности стимулирующих выплат, эффективности применяемой в организации системы

материальной мотивации и необходимости её корректировки.

Третий этап методики оценки и анализа системы мотивации и стимулирования труда персонала предполагает определение направлений совершенствования системы мотивации. Оценить необходимость корректировки и выбрать направление совершенствования системы мотивации и стимулирования труда персонала предлагается на основе алгоритма, представленного на рисунке 6 а, а для выбора системы оплаты труда в случае необходимости её пересмотра следует использовать алгоритм, представленный на рисунке 6 б.

Наиболее универсальной системой оплаты труда, позволяющей учесть значительное количество факторов, определить размер оплаты труда в зависимости от значимости должности, количества выполняемых функций, результативности труда работников, является система грейдов, основанная на балльно-факторном методе и матрично-математических моделях [11].

Основные отличия предлагаемой системы от классической системы грейдов представлены в таблице 3.

Данная система позволяет дать оценку всех типов рабочих мест, учесть уровень образованности и компетентности сотрудника, характер и специфику его работы, достижение основных показателей результативности. Кроме того, данная система позволит работникам влиять на постоянную часть заработной платы, влияя на факторы работы и, тем самым, повышая свою заработную плату в пределах грейда либо повышая грейд своей должности, что значительно усилит мотивацию сотрудников.

Разработанная методика оценки и анализа системы мотивации и стимулирования труда персонала позволит не только всесторонне оценить уровень мотивации работников, определить значимые факторы мотивации и удовлетворённость работников ими, выявить взаимосвязь мотивации работников и результативности их труда и дать общую оценку эффективности применяемой системы мотивации, но и выделить основные направления совершенствования данной системы. При необходимости корректировки системы оплаты труда методика позволяет определить наиболее целесообразную, с учётом

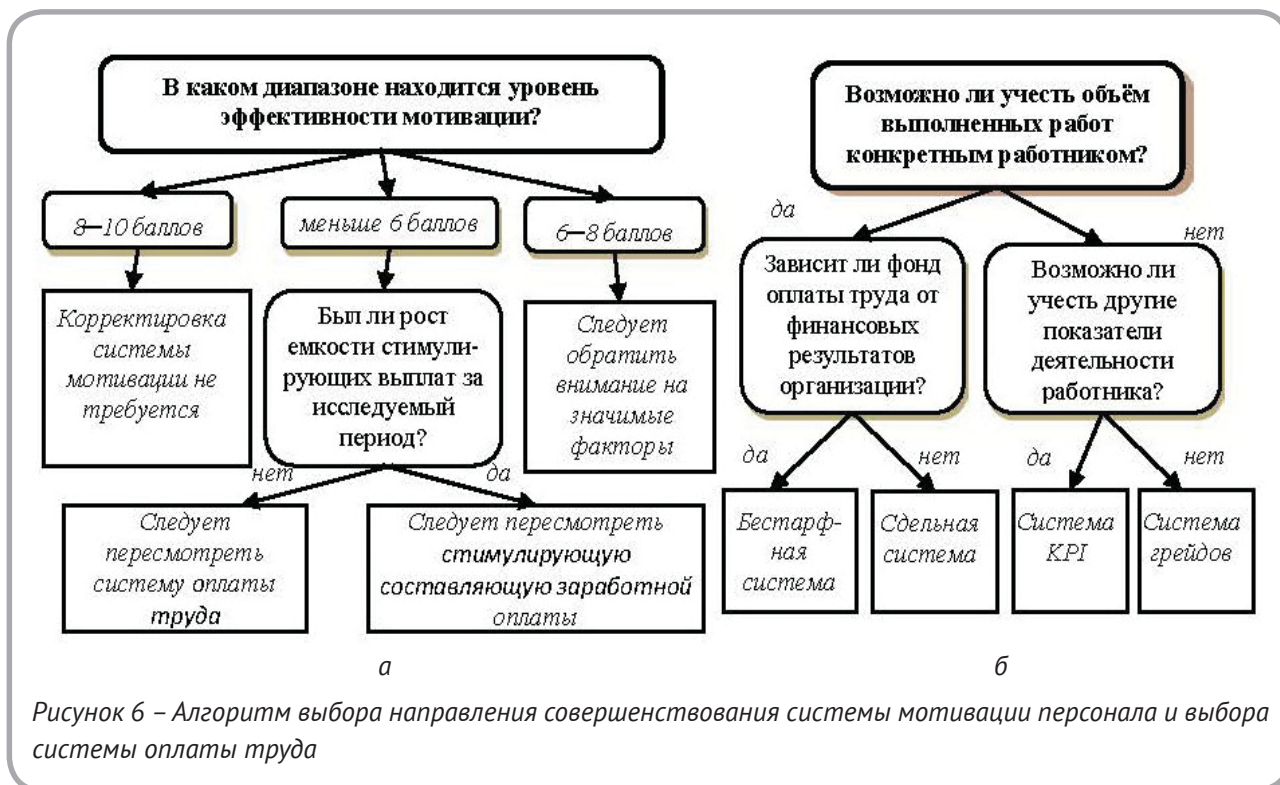


Рисунок 6 – Алгоритм выбора направления совершенствования системы мотивации персонала и выбора системы оплаты труда

Источник: составлено авторами.

Таблица 3 – Отличия предлагаемой системы от классической системы грейдов

Показатель	Классическая система	Предлагаемая система
Ключевые факторы	5–10 факторов, общих для всего предприятия	70 % факторов, общих для всего предприятия, 30 % факторов, характеризующих специфику подразделения
Оценка должностей	сторонняя экспертная группа	внутри предприятия методом «Оценка 360 °»
Расчёт базового оклада	исходя из среднерыночной оплаты труда аналогичных специальностей	исходя из финансового положения организации, но не ниже законодательно установленного минимального уровня заработной платы
Расчёт заработной платы	базовый оклад, либо базовый оклад+премия	базовый оклад корректируется на коэффициент результативности работника

Источник: составлено авторами.

особенностей исследуемой организации, систему и механизм её внедрения.

**РЕЗУЛЬТАТЫ АПРОБАЦИИ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ И АНАЛИЗА СИСТЕМЫ МОТИВАЦИИ И СТИМУЛИРОВАНИЯ ТРУДА ПЕРСОНАЛА**

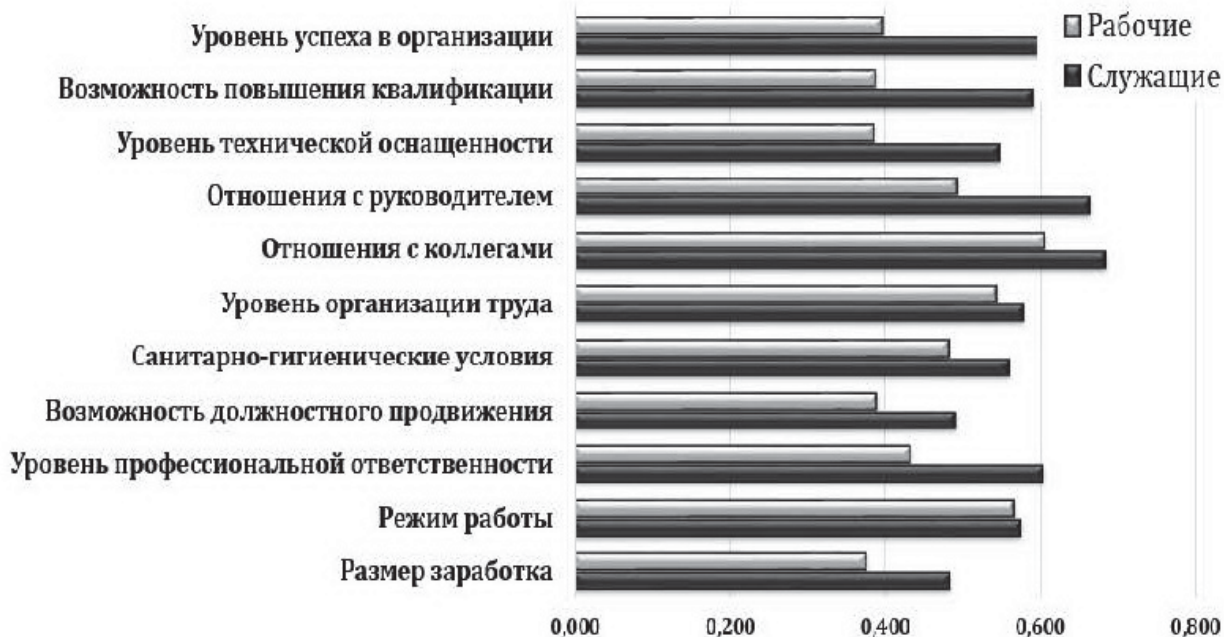
Апробация методики оценки и анализа системы мотивации и стимулирования труда персонала проводилась по данным филиала «Витебские тепловые сети» РУП «Витебскэнерго» за 2010–

2015 гг. и ООО «Модерн-Экспо» за 2014–2015 гг. (таблица 4). Результаты выполненного исследования позволили сформулировать ряд важных аналитических выводов.

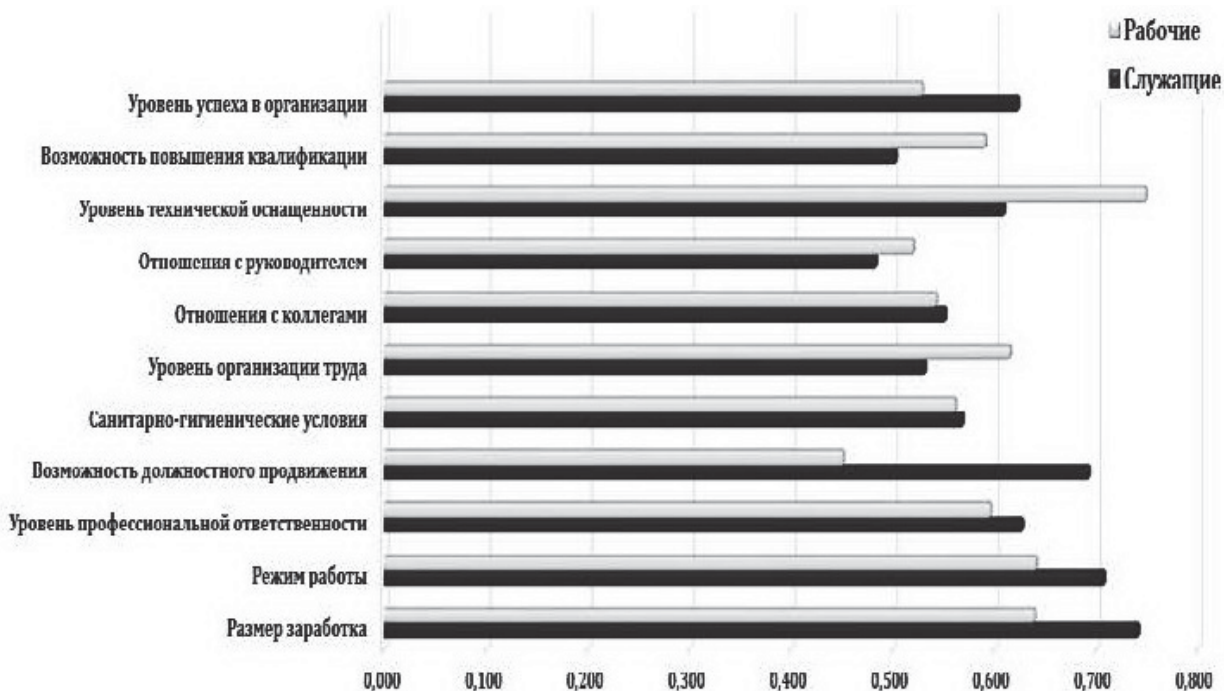
Оценка уровня мотивации персонала филиала «Витебские тепловые сети» РУП «Витебскэнерго» позволила выявить значимость мотивационных факторов для работников и степень их удовлетворённости. Общий показатель уров-

Таблица 4 – Результаты апробации методики оценки и анализа системы мотивации и стимулирования труда

Этапы методики	Филиал «Витебские тепловые сети» РУП «Витебскэнерго»	ООО «Модерн-Экспо»
Оценка уровня мотивации персонала	<p>Наиболее высокий уровень мотивации:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– у служащих наблюдается по факторам: отношения с коллегами и руководителем, уровень успеха в организации, возможность повышения квалификации по специальности, уровень профессиональной ответственности;</li> <li>– у рабочих наблюдается по факторам: отношения с коллегами, режим работы, уровень организации труда, отношения с руководителем. Невысокий уровень мотивации как у рабочих, так и служащих наблюдается по размеру заработка, несмотря на то, что он является самым весомым фактором для них. Суммарная оценка мотивации служащих составила 0,64, рабочих – 0,51. Общий показатель уровня мотивации работников филиала составил 0,55. Это свидетельствует о том, что выбранная на предприятии система мотивации недостаточно учитывает потребности персонала, что может оказать влияние на результативность его труда</li> </ul>	<p>Наиболее высокий уровень мотивации:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– у служащих наблюдается по факторам: размер заработка, возможность должностного продвижения, уровень успеха в организации;</li> <li>– у рабочих наблюдается по факторам: уровень технической оснащённости, размер заработка и уровень организации труда.</li> </ul> <p>Суммарная оценка мотивации служащих составила 0,766, рабочих – 0,745. Общий показатель мотивации работников составил 0,753, что свидетельствует о достаточно высоком уровне мотивации персонала</p>
Оценка результативности деятельности организации	Общее значение результативности деятельности служащих составило 6,11, общее значение результативности деятельности рабочих – 5,91 (при нормативном значении 5,0). Значение результативности деятельности персонала близко к нормативному, то есть были выполнены все нормы, однако перевыполнения практически не было	Общее значение результативности работы персонала составило 7,25 (при нормативном значении 5,0), что свидетельствует о высокой результативности деятельности работников организации
Оценка эффективности мотивации	Значение показателя эффективности мотивации для служащих составил 3,91, для рабочих – 3,01. Это свидетельствует о невысоком уровне эффективности мотивации персонала и необходимости дальнейшего анализа системы мотивации	Значение показателя эффективности мотивации составило 5,46, что свидетельствует о достаточном уровне эффективности мотивации персонала
Оценка материальной мотивации	Средняя заработная плата в 2015 г. составила 9516 тыс. руб. Стимулирующие выплаты составляют чуть более 42 % фонда заработной платы. За последний год наибольший рост составили выплаты, стимулирующие экономию ресурсов (на 411,85 %), выплаты, стимулирующие повышение профессионализма, увеличились на 16,50 %, стимулирующие результативность труда – на 15,96 %, лояльность работников – на 15,61 %, размер выплат, стимулирующих инициативу работников, снизился на 62,08 %, несмотря на то, что в предыдущие годы данный вид выплат опережал по темпам роста другие. Основную часть выплат стимулирующего характера в филиале составляют выплаты, стимулирующие результативность труда (более 42 %) и выплаты, стимулирующие лояльность работников (более 37 %). Выплаты, стимулирующие повышение профессионализма, составляют более 19 %. Наименьшую долю составили выплаты, стимулирующие инициативу работников – 0,34 %. Наиболее значительное влияние на рост ёмкости стимулирующих выплат оказывали в исследуемом периоде ёмкость выплат, стимулирующих результативность труда (на 1,126 руб./Гкал) и ёмкость выплат, стимулирующих лояльность работников (на 1,158 руб./Гкал)	Средняя заработная плата в 2015 г. составила 15810 тыс. руб. Выплаты стимулирующего характера составляют чуть более 20 % фонда заработной платы. На протяжении исследуемого периода доля выплат стимулирующего характера постепенно увеличивалась. Наибольший рост произошёл по выплатам, стимулирующим лояльность работников (на 126 %), выплаты, стимулирующие повышение профессионализма, практически не изменились, выплаты, стимулирующие результативность труда, возросли на 49 %. Основную часть выплат стимулирующего характера составляют выплаты, стимулирующие результативность персонала (более 70 %), второе место занимают выплаты, стимулирующие лояльность работников (более 27 %), третье место занимают выплаты, стимулирующие повышение профессионализма (более 0,9 %)



а



б

Рисунок 7 – Уровень мотивации персонала филиала «Витебские тепловые сети» (а) и ООО «Модерн-Экспо» (б) по факторам

Источник: составлено авторами.

## Матрица результативности труда служащих

	Фонд потребности	Уровень издержек	Уровень заработной платы	Непревышение лимитов	Выполнение показателя по инвестициям	Сбор средств от потребителей	
Единица измерения	%	%	%	%	%	%	
<b>ФАКТ</b>	98,10	98,70	95,10	95,30	102,10	114,70	
10	95	92,5	110	92,5	105	118	
9	96	94	108	94	104	115	
8	97	95,5	106	95,5	103	112	
7	98	97	104	97	102	108	
6	99	98,5	102	98,5	101	104	
5	100	100	100	100	100	100	
4	101	101,5	98	101,5	99	96	
3	102	103	96	103	98	92	
2	103	104,5	94	104,5	97	88	
1	104	106	92	106	96	84	
0	105	107,5	90	107,5	95	80	
Оценка	7	6	3	8	7	9	
Значимость	19	12	27	19	17	6	
<b>Итого</b>	<b>133</b>	<b>72</b>	<b>81</b>	<b>152</b>	<b>119</b>	<b>54</b>	<b>6,11</b>

## Матрица результативности труда рабочих

	Удельный расход условного топлива на отпуск тепла	Выработка теплоэнергии	Удельный расход условного топлива на отпуск электроэнергии	Себестоимость энергии	Удельный расход условного топлива на собственные нужды	Выработка электроэнергии	
Единица измерения	%	%	%	%	%	%	
<b>ФАКТ</b>	99,10	97,30	99,00	95,40	92,40	106,20	
10	95	112,5	95	92,5	80	125	
9	96	110	96	94	84	120	
8	97	107,5	97	95,5	88	115	
7	98	105	98	97	92	110	
6	99	102,5	99	98,5	96	105	
5	100	100	100	100	100	100	
4	101	97,5	101	101,5	104	95	
3	102	95	102	103	108	90	
2	103	92,5	103	104,5	112	85	
1	104	90	104	106	116	80	
0	105	87,5	105	107,5	120	75	
Оценка	6	4	6	7	8	6	
Значимость	14	24	13	13	13	23	
<b>Итого</b>	<b>84</b>	<b>96</b>	<b>78</b>	<b>91</b>	<b>104</b>	<b>138</b>	<b>5,91</b>

Рисунок 8 – Матрица результативности работы персонала филиала «Витебские тепловые сети»

Источник: составлено авторами.

ня мотивации работников филиала составил 0,55 (рисунок 7). Это свидетельствует о том, что используемая на предприятии система мотивации и стимулирования труда недостаточно учитывает потребности персонала, что в дальнейшем может оказать негативное влияние на результативность его труда.

Оценка результативности деятельности организации на основе матричного метода показала

незначительное превышение нормативного значения. При этом значение результативности деятельности служащих выше значения результативности деятельности рабочих, что свидетельствует о более высоком уровне результативности служащих (рисунок 8). Значение показателя эффективности мотивации как для служащих (3,91), так и для рабочих (3,01) свидетельствует о невысоком уровне эффективности мотивации персона-

ла и выявлении причин сложившейся ситуации. Оценка материальной мотивации показала рост показателя ёмкости стимулирующих выплат, в большей степени вызванный ростом ёмкости выплат, стимулирующих результативность труда, и ёмкости выплат, стимулирующих лояльность работников. Основная часть стимулирующих выплат в филиале «Витебские тепловые сети» выплачивается в фиксированном процентном соотношении к окладу, доведённом РУП «Витебскэнерго», без учёта результативности деятельности работника в течение месяца. Таким образом, можно сделать вывод, что в организации уделяется недостаточное внимание мотивации повышения профессионализма и активизации инициативы работников, что не соответствует требованиям «экономики знаний».

Проведённый анализ позволил судить о необходимости корректировки системы мотивации и стимулирования труда персонала филиала. С учётом полученных результатов основным направлением совершенствования системы мотивации и стимулирования труда персонала филиала «Витебские тепловые сети» определен пересмотр системы оплаты труда. Наиболее целесообразной системой оплаты труда выбрана система грейдов. Апробация системы грейдов проводилась на примере шести отделов общей численностью тридцать девять человек. Внедрение системы грейдов позволит более рационально распределить должностные оклады (при этом общая экономия фонда оплаты труда по исследуемым подразделениям составит более 2 %), инициировать профессиональный рост сотрудников, повысить мотивацию работников к более напряженному и результативному труду в организации.

Оценка уровня мотивации и стимулирования труда персонала ООО «Модерн-Экспо» позволила выявить значимость мотивационных факторов для работников и степень их удовлетворённости. Общий показатель уровня мотивации персонала организации составил 0,753, что свидетельствует о достаточно высоком уровне мотивации персонала (рисунок 7). Оценка результативности деятельности организации на основе матричного метода продемонстрировала наличие высокой результативности труда работников (7,25) (рисунок 9). Значение показателя эффективности

мотивации персонала (5, 46) свидетельствует о достаточно высоком его уровне.

Анализ материальной мотивации показал, что в ООО «Модерн-Экспо» премия за результаты работы назначается ежемесячно в зависимости от вклада конкретного работника в развитие организации, кроме того, оклады персонала регулярно пересматриваются в зависимости от личных достижений и результатов выполнения доведённых работникам заданий. Это обусловлено тем, что организация находится на этапе становления и ей необходима мотивации сотрудников для запуска завода в максимально короткие сроки. Таким образом, результаты проведённого анализа системы мотивации ООО «Модерн-Экспо» показали, что система мотивации не требует значительных корректировок, однако следует обратить внимание на значимые факторы мотивации.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях развития «новой экономики», становления новых форм собственности и трансформации всей системы социально-трудовых отношений происходит качественное изменение мотивации трудовой деятельности, ее содержания и структуры. В этот период важнейшей задачей управления трудом является создание мотивационного механизма, главная функция которого – рост заинтересованности работников в эффективном использовании своей рабочей силы, интеллекта на основе предоставления им возможностей для наиболее полного удовлетворения своих потребностей. Для обозначения основных направлений к формированию оптимального механизма мотивации труда необходимо, прежде всего, изучение реальной структуры мотивационных приоритетов, выявление определяющих системообразующих факторов мотивации.

Разработанная методика оценки и анализа системы мотивации и стимулирования труда персонала коммерческой организации позволяет:

- выделить наиболее значимые для персонала организации мотивационные факторы и степень удовлетворённости ими;
- дать оценку уровня мотивации как по категориям, так и персоналу организации;
- дать комплексную обобщающую оценку



## Матрица результативности труда работников

	Освоение ремонтного фонда	Освоение инвестиций	Выполнение плана по строительству	Выполнение плана по продажам	Обеспеченность персоналом	
Единица измерения	%	%	%	%	%	
<b>ФАКТ</b>	<b>98,75</b>	<b>100,00</b>	<b>107,65</b>	<b>110,25</b>	<b>98,31</b>	
<b>10</b>	95	112	110	112	110	
<b>9</b>	96	109	108	110	108	
<b>8</b>	97	107	106	108	106	
<b>7</b>	98	105	104	106	104	
<b>6</b>	99	103	102	104	102	
<b>5</b>	100	100	100	102	100	
<b>4</b>	101	99	98	99	98	
<b>3</b>	102	97	96	98	96	
<b>2</b>	103	96	94	97	94	
<b>1</b>	104	94	92	96	92	
<b>0</b>	105	93	90	95	90	
<b>Оценка</b>	6	5	9	9	4	
<b>Значимость</b>	15	20	35	20	10	
<b>Итого</b>	<b>90</b>	<b>100</b>	<b>315</b>	<b>180</b>	<b>40</b>	<b>7,25</b>

Рисунок 9 – Матрица результативности работы персонала ООО «Модерн-Экспо»

Источник: составлено авторами.

результативности труда персонала организации;

- дать оценку эффективности функционирования системы мотивации и стимулирования труда в организации и необходимости корректировки данной системы;

- оценить наличие и тесноту связи между уровнем эффективности системы мотивации и уровнем отдачи стимулирующих выплат, размером стимулирующих выплат и уровнем зарплатоёмкости;

- дать оценку эффективности применяемой в организации системы материальной мотивации и необходимости её корректировки;

- способствует созданию информационно-аналитической базы и эффективности управления персоналом организации.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Александренко, М.С. (2007), Проблема справедливой заработной платы, *Экономика и управление*, 2007, № 1(9), С. 33-36.
2. Бершаков, П.В., Трененков Е.М. (2004), *Управление потенциалом персонала. Предпринимательский подход*, Москва, ТК Велби, 144 с.
3. Волгин, Н., Валь, Е. (2000), Мотивационная основа эффективности труда, *Человек и труд*, 2000, № 4, С. 75-80.
4. Дмитриенко, Г.А., Шарапатова, Е.А., Максименко Т.М. (2002), *Мотивация и оценка персонала*, Киев, МАУП, 248 с.
5. Долинина, Т.Н. (2008), *Внутрифирменная политика оплаты труда: экономическое обоснование*, Минск, Издательство Гревцова, 320 с.
6. Ильин, Е.П. (2002), *Мотивация и мотивы*, Санкт-Петербург, Питер, 512 с.
7. Комаров, Е.И. (2002), Стимулирование и мотивация в современном управлении персоналом, *Управление персоналом*, 2002, № 1, С. 38-41.
8. Маркин, В.Н. (2008), *Мотивационный менеджмент*, Москва, РАГС, 88 с.
9. Милкович, Дж. Т., Ньюман, Дж. М. (2005), *Система вознаграждений и методы стимулирования персонала*, Москва, Вершина, 760 с.
10. Панов, М.М. (2013), *Оценка деятельности и система управления компанией на основе KPI*, Москва, Инфра-М, 255 с.
11. Ребров, А.В. (2011), *Система грейдов: как разработать и внедрить*, Санкт-Петербург, Лик, 74 с.
12. Федосеев, В.Н., Капустин, С. Н. (2003), *Управление*

## REFERENCES

1. Alexandrino, M.S. (2007), Problem of a fair wage [Problema spravedlivoy zarabotnoy platy], *Ekonomika i upravlenie – Economy and management*, 2007, No 1(9), Pp. 33-36.
2. Barsukov, P.V., Trenenkov, E.M. (2004), *Upravlenie potencialom personala. Predprinimatel'skij podhod* [Managing staff capacity. Entrepreneurial approach], Moscow, TK velbi Publ., 144 p.
3. Volgin, N., Val, E. (2000), The Motivational basis of work efficiency [Motivacionnaja osnova effektivnosti truda], *Chelovek i trud - Man and work*, 2000, No. 4, Pp. 75-80.
4. Dmitrienko, A., Sarapulova, E.A., Maksimenko T.M. (2002), *Motivaciya i ocenka personala* [Motivation and assessment of staff], Kiev, MAUP Publ., 248 p.
5. Dolinina, T.N. (2008), *Vnutrifirmennaya politika oplaty truda: ekonomicheskoe obosnovanie* [Intra-company wage policy: a feasibility study], Minsk, Publisher Grevtsova, 320 p.
6. Ilyin, E.P. (2002), *Motivaciya i motivy* [Motivation and motives], St. Petersburg, Piter Publ., 512 p.
7. Komarov, E.I. (2002), Incentives and motivation in modern personnel management [Stimulirovanie i motivaciya v sovremennom upravlenii personalom], *Upravlenie personalom – Staff management*, 2002, No. 1, Pp. 38-41.
8. Markin, V.N. (2008), *Motivacionnyj menedzhment* [Motivation management], Moscow, RAGS Publ., 88 p.
9. Milkovich, John. T., Newman, John. M. (2005), *Sistema voznagrazhdeniy i metody stimulirovaniya personala* [The System of remuneration and incentives of personnel], Moscow, Vershina Publ., 760 p.

ние персоналом организации, Москва, Экзамен, 368 с.

10. Gentry, M.M. (2013), *Oценка deyatel'nosti i sistema upravleniya kompaniey na osnove KPI* [Evaluation of a company management system based on KPI], Moscow, Infra-M, 255 p.

11. Rebrov, A.V. (2011), *Sistema greydov: kak razrabotat' i vnedrit'* [Grades: how to develop and implement], St. Petersburg, Lik Publ., 74 p.

12. Fedoseyev, V.N., Kapustin, S.N. (2003), *Upravlenie personalom organizacii* [Personnel management organization], Moscow, Exam Publ., 368 p.

Статья поступила в редакцию 21. 02. 2017 г.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

<b>Абрамович Наталья Анатольевна</b>	– кандидат технических наук, доцент кафедры «Дизайн и мода», Витебский государственный технологический университет
<b>Агиевич Дмитрий Юрьевич</b>	– старший мастер, ОАО «Моготекс», г. Могилев
<b>Анисимов Виталий Сергеевич</b>	– магистрант, инженер кафедры «Технология и оборудование машиностроительного производства», Полоцкий государственный университет
<b>Арашкова Алина Александровна</b>	– научный сотрудник, Институт микробиологии Национальной академии наук Беларуси
<b>Атабаев Рустам Раевич</b>	– магистр технических наук, аспирант кафедры «Технология и оборудование машиностроительного производства», Витебский государственный технологический университет
<b>Артимович Виктор Станиславович</b>	– магистр технических наук, инженер 1 категории, ГП «БелдорНИИ»
<b>Балабанович Ольга Александровна</b>	– кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика и управление», Белорусский государственный экономический университет
<b>Башметов Валерий Степанович</b>	– доктор технических наук, профессор кафедры «Технология текстильных материалов», Витебский государственный технологический университет
<b>Беляков Николай Владимирович</b>	– кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология и оборудование машиностроительного производства», Витебский государственный технологический университет
<b>Бизюк Андрей Николаевич</b>	– старший преподаватель кафедры «Информационные системы и автоматизация производств», Витебский государственный технологический университет
<b>Бодяло Наталья Николаевна</b>	– кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Конструирование и технология одежды», Витебский государственный технологический университет

<b>Брайкова Алла Мечиславовна</b>	– кандидат химических наук, доцент кафедры «Физикохимия материалов и производственных технологий», Белорусский государственный экономический университет
<b>Гарская Наталья Петровна</b>	– кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструирование и технология одежды», Витебский государственный технологический университет
<b>Глухова Наталья Михайловна</b>	– ассистент кафедры «Экономика и управление», Белорусский государственный экономический университет
<b>Гончарова Инесса Адамовна</b>	– кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Институт микробиологии Национальной академии наук Беларуси
<b>Горбачик Владимир Евгеньевич</b>	– доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Конструирование и технология изделий из кожи», Витебский государственный технологический университет
<b>Гречаников Александр Викторович</b>	– кандидат технических наук, доцент кафедры «Экология и химические технологии», Витебский государственный технологический университет
<b>Денисенко Сергей Михайлович</b>	– магистр технических наук, инженер-механик ООО «ТрейдСервисГрупп»
<b>Довыденкова Вера Петровна</b>	– магистр технических наук, старший преподаватель кафедры «Конструирование и технология одежды», Витебский государственный технологический университет
<b>Жерносек Сергей Васильевич</b>	– ассистент кафедры «Технология и оборудование машиностроительного производства», Витебский государственный технологический университет
<b>Зарапин Виталий Георгиевич</b>	– кандидат технических наук, доцент кафедры «Физикохимия материалов и производственных технологий», Белорусский государственный экономический университет
<b>Зими́на Елена Леонидовна</b>	– кандидат технических наук, докторант кафедры «Технологии текстильных материалов», Витебский государственный технологический университет
<b>Казарновская Галина Васильевна</b>	– кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Дизайн и мода», Витебский государственный технологический университет

<b>Климентьев Андрей Леонидович</b>	– старший преподаватель кафедры «Технология и оборудование машиностроительного производства», Витебский государственный технологический университет
<b>Ковчур Андрей Сергеевич</b>	– кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология и оборудование машиностроительного производства», Витебский государственный технологический университет
<b>Коган Александр Григорьевич</b>	– доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии текстильных материалов», Витебский государственный технологический университет
<b>Козловская Инна Юрьевна</b>	– кандидат технических наук, ассистент кафедры «Промышленная экология», Белорусский государственный технологический университет
<b>Крищюняйте Элита</b>	– магистр инженерии полимеров и текстиля, управляющий производством АО «Гарлита», г. Каунас
<b>Кукушкин Максим Леонидович</b>	– кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии текстильных материалов», Витебский государственный технологический университет
<b>Кульнев Александр Олегович</b>	– аспирант кафедры «Технология и оборудование машиностроительного производства», Витебский государственный технологический университет
<b>Левшицкая Ольга Романовна</b>	– старший преподаватель кафедры «Финансы и коммерческая деятельность», Витебский государственный технологический университет
<b>Марцуль Владимир Николаевич</b>	– кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Промышленная экология», Белорусский государственный технологический университет
<b>Матвейко Николай Петрович</b>	– доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой «Физикохимия материалов и производственных технологий», Белорусский государственный экономический университет
<b>Микучионене Дайва</b>	– доктор технологических наук, доцент кафедры «Инженерия материалов», Каунасский технологический университет
<b>Милюшкова Юлия Валерьевна</b>	– кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструирование и технология изделий из кожи», Витебский государственный технологический университет

<b>Ольшанский Анатолий Иосифович</b>	– кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология и оборудование машиностроительного производства», Витебский государственный технологический университет
<b>Ольшанский Валерий Иосифович</b>	– кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология и оборудование машиностроительного производства», Витебский государственный технологический университет
<b>Панкевич Дарья Константиновна</b>	– магистр технических наук, старший преподаватель кафедры «Конструирование и технология одежды», Витебский государственный технологический университет
<b>Попок Николай Николаевич</b>	– доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология и оборудование машиностроительного производства», Полоцкий государственный университет
<b>Посканная Екатерина Сергеевна</b>	– ведущий инженер, расчетно-кассовый центр, Витебское отделение филиала «Энергосбыт» РУП «Витебскэнерго»
<b>Пришляк Анна Александровна</b>	– студент, Витебский государственный технологический университет
<b>Прокофьева Нина Леонидовна</b>	– кандидат экономических наук, заведующий кафедрой «Коммерческая деятельность», Витебский государственный технологический университет
<b>Прудникова Людмила Викторовна</b>	– старший преподаватель кафедры «Экономика», Витебский государственный технологический университет
<b>Рыклин Дмитрий Борисович</b>	– доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологии текстильных материалов», Витебский государственный технологический университет
<b>Садовский Виктор Васильевич</b>	– доктор технических наук, профессор, первый проректор Белорусского государственного экономического университета
<b>Сакевич Валерий Николаевич</b>	– доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Физика и техническая механика», Витебский государственный технологический университет

<b>Семенчукова Ирина Юзэфовна</b>	– кандидат экономических наук, доцент, декан факультета повышения квалификации и подготовки кадров, Витебский государственный технологический университет
<b>Скобова Наталья Викторовна</b>	– кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология текстильных материалов», Витебский государственный технологический университет
<b>Тимонов Иван Афанасьевич</b>	– кандидат технических наук, доцент кафедры «Экология и химические технологии», Витебский государственный технологический университет
<b>Тимонова Елена Тимофеевна</b>	– кандидат технических наук, доцент кафедры «Экология и химические технологии», Витебский государственный технологический университет
<b>Тригубович Андрей Михайлович</b>	– младший научный сотрудник, Институт микробиологии Национальной академии наук Беларуси
<b>Ульянова Наталья Вячеславовна</b>	– магистр технических наук, старший преподаватель кафедры «Конструирование и технология одежды», Витебский государственный технологический университет
<b>Хмельницкий Руслан Сергеевич</b>	– старший преподаватель кафедры «Технология и оборудование машиностроительного производства», Полоцкий государственный университет
<b>Чэпуконе Лина</b>	– докторант кафедры «Инженерия материалов», Каунасский технологический университет
<b>Шарич Татьяна Владимировна</b>	– младший научный сотрудник, Институт микробиологии Национальной академии наук Беларуси
<b>Шелег Валерий Константинович</b>	– доктор технических наук, профессор, член-корреспондент НАН Беларуси, заведующий кафедрой «Технология машиностроения», Белорусский национальный технический университет
<b>Юркевич Ольга Ивановна</b>	– экономист, филиал «Витебские тепловые сети» РУП «Витебскэнерго»
<b>Ясинская Наталья Николаевна</b>	– кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Экология и химические технологии», Витебский государственный технологический университет



## INFORMATION ABOUT AUTHORS

<b>Abramovich Natallia</b>	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department «Artistic Design and Fashion», Vitebsk State Technological University
<b>Agiewitsch Dmitry</b>	– senior master, JSC «Mogotex», Mogilev
<b>Alshanski Anatoli</b>	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department «Machine Building Technology and Equipment», Vitebsk State Technological University
<b>Alshanski Valery</b>	– Candidate of Sciences (in Engineering), Professor, Chair of the Department «Machine Building Technology and Machinery», Vitebsk State Technological University
<b>Anisimov Vitali</b>	– Master Degree student an engineer at the Department «Machine Building Technology and Equipment», Polotsk State University
<b>Arashkova Alina</b>	– researcher, the Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus
<b>Atabaeyeu Rustam</b>	– Master of Science (in Engineering), a postgraduate student at the Department «Machine Building Technology and Equipment», Vitebsk State Technological University
<b>Artimovich Victor</b>	– Master of Science (in Engineering), a first rank engineer, State Enterprise «BeldorNII»
<b>Balabanovich Olga</b>	– Candidate of Sciences (in Economics), Associate Professor at the Department «Economics and Management», Belarus State Economic University
<b>Bashmetau Valery</b>	– Doctor of Science (in Engineering), professor at the Department «Textile Technology», Vitebsk State Technological University
<b>Belyakov Nikolay</b>	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department «Machine Building Technology and Equipment», Vitebsk State Technological University
<b>Biziuk Andrei</b>	– Assistant Professor at the Department «Information Systems and Automation of Production», Vitebsk State Technological University

<b>Bodyalo Nataliya</b>	– Candidate of Sciences (in Engineering), Chair of the Department «Clothes Design and Technology», Vitebsk State Technological University
<b>Braikova Ala</b>	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department «Physics of Materials and Manufacturing Technologies», Belarus State Economic University
<b>Garskaya Nataliya</b>	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department «Clothes Design and Technology», Vitebsk State Technological University
<b>Gluhova Natalya</b>	– assistant lecturer at the Department «Economics and Management», Belarus State Economic University
<b>Goncharova Inessa</b>	– Candidate of Sciences (in Biology), leading researcher, the Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus
<b>Gorbachik Vladimir</b>	– Doctor of Science (in Engineering), Professor, Chair of the Department «Design and Technology of Leather Articles», Vitebsk State Technological University
<b>Hrachanikau Aliaksandr</b>	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department «Environment Science and Chemical Technologies», Vitebsk State Technological University
<b>Dzianisenka Siarhei</b>	– Master of Science (in Engineering), a mechanical engineer at LLC «TradeServiceGroup»
<b>Davydzenkava Vera</b>	– Master of Science (in Engineering), Assistant professor at the Department «Clothes Design and Technology», Vitebsk State Technological University
<b>Zhernosek Sergei</b>	– an assistant lecturer at the Department «Machine Building Technology and Equipment», Vitebsk State Technological University
<b>Zarapin Vitali</b>	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department «Physics and Chemistry of Materials and Manufacturing Technologies», Belarus State Economic University
<b>Zimina Alena</b>	– Candidate of Sciences (in Engineering), a postdoctoral student at the Department «Textile Technology», Vitebsk State Technological University

<b>Kazarnovskaya Galina</b>	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor, Chair of the Department «Fashion Design and Fashion», Vitebsk State Technological University
<b>Klimentyev Andrej</b>	– an assistant professor at the Department «Machine Building Technology and Equipment», Vitebsk State Technological University
<b>Kovchur Andrej</b>	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department «Machine Building Technology and Equipment», Vitebsk State Technological University
<b>Kogan Alexander</b>	– Doctor of Science (in Engineering), Professor at the Department «Textile Technology», Vitebsk State Technological University
<b>Kozlovskaja Inna</b>	– Candidate of Sciences (in Engineering), assistant lecturer at the Department «Industrial Ecology», Belarus State Technological University
<b>Krisciunaite Jolita</b>	– Master of Science (in Polymer and Textile Engineering), a production manager at JSC «Garlita», Kaunas
<b>Kukushkin Maxim</b>	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department «Textile Technology», Vitebsk State Technological University
<b>Kulnev Alexander</b>	– a postgraduate student at the Department «Machine Building Technology and Equipment», Vitebsk State Technological University
<b>Levshitskaya Olga</b>	– an assistant professor at the Department «Finance and Commercial Activity», Vitebsk State Technological University
<b>Marcul' Vladimir</b>	– Candidate of Sciences (in Engineering), Chair of the Department «Industrial Ecology», Belarus State Technological University
<b>Matveika Mikalai</b>	– Doctor of Science (in Chemistry), Professor, Chair of the Department «Physics and Chemistry of Materials and Manufacturing Technologies», Belarus State Economic University
<b>Mikucioniene Daiva</b>	– Doctor of Science (in Engineering), Associate Professor at the Department «Engineering of Materials», Kaunas University of Technology
<b>Miliushkova Yuliya</b>	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department «Design and Technology of Leather Articles», Vitebsk State Technological University

<b>Pankevich Darya</b>	– Master of Science (in Engineering), Assistant professor at the Department «Clothes Design and Technology», Vitebsk State Technological University
<b>Popok Nikolay</b>	– Doctor of Science (in Engineering), Professor, Chair of the Department «Machine Building Technology and Machinery», Polotsk State University
<b>Poskannaja Ekaterina</b>	– principal engineer, payment processing center, Vitebsk office of «Energosbyt» Affiliate of RUE «Vitebskenergo»
<b>Prisliak Hanna</b>	– a student, Vitebsk State Technological University
<b>Prakofyeva Nina</b>	– Candidate of Sciences (in Economics), Chair of the Department «Commercial Activity», Vitebsk State Technological University
<b>Prudnikava Liudmila</b>	– an assistant professor at the Department «Economics», Vitebsk State Technological University
<b>Ryklin Dzmitry</b>	– Doctor of Science (in Engineering), Professor, Chair of Department «Textile Technology», Vitebsk State Technological University
<b>Sadovski Viktor</b>	– Doctor of Science (in Engineering), Professor, First Vice-Rector of Belarus State Economic University
<b>Sakevich Valerij</b>	– Doctor of Science (in Engineering), Associate Professor, Professor at Department «Physics and Technical Mechanics», Vitebsk State Technological University
<b>Semianchukova Iryna</b>	– Candidate of Sciences (in Economics), Associate Professor, Dean of the Faculty «Qualifications Improvement and Staff Retraining», Vitebsk State Technological University
<b>Skobova Natallia</b>	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department «Textile Technology», Vitebsk State Technological University
<b>Tsimanov Ivan</b>	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department «Environment Science and Chemical Technologies», Vitebsk State Technological University
<b>Tsimanava Alena</b>	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department «Environment Science and Chemical Technologies», Vitebsk State Technological University

<b>Trigubovich Andrej</b>	– junior researcher, the Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus
<b>Ulyanova Natalya</b>	– Master of Science (in Engineering), lecturer at the Department «Clothes Design and Technology», Vitebsk State Technological University
<b>Hmelnickiy Ruslan</b>	– an assistant professor at the Department «Machine Building Technology and Equipment», Polotsk State University
<b>Cepukone Lina</b>	– a postdoctoral student at the Department «Engineering of Materials», Kaunas University of Technology
<b>Sharich Tat'jana</b>	– junior researcher, the Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus
<b>Sheleg Valery</b>	– Doctor of Science (in Engineering), Professor, Corresponding member of NAS of Belarus, Chair of the Department «Machine Building Technology», Belarus National Technical University
<b>Yurkevich Olga</b>	– economist, «Vitebsk Heat Supply Networks» Affiliate of RUE «Vitebskenergo»
<b>Yasinskaya Natallia</b>	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor, Chair of the Department «Environment Science and Chemical Technologies», Vitebsk State Technological University

# ПАМЯТКА АВТОРАМ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ЖУРНАЛА «ВЕСТНИК ВИТЕБСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА»

1. Научно-технический журнал «Вестник Витебского государственного технологического университета» выходит два раза в год. К печати допускаются статьи по трем тематическим направлениям:

- технология и оборудование легкой промышленности и машиностроения;
- химическая технология и экология;
- экономика.

2. Рукописи, направляемые в журнал, должны являться оригинальным материалом, не опубликованным ранее в других печатных изданиях.

3. К рукописи статьи необходимо приложить следующие материалы:

- заявку с названием статьи, тематическим направлением (из п. 1), к которому она подается, списком авторов и их личными подписями. В заявке необходимо указать согласие авторов на размещение полного текста статьи на сайтах журнала «Вестник ВГТУ» (<http://vestnik.vstu.by/rus/>) и Научной электронной библиотеки (<http://elibrary.ru/>);

- реферат на языке оригинала объемом не менее 10 строк (не менее 100 – 250 слов) – на русском или белорусском языке. Реферат оформляется по ГОСТ 7.9 – 95, включает ключевые слова и следующие аспекты содержания статьи: предмет, тему и цель работы, метод или методологию проведения работы, результаты работы, область применения результатов, выводы. Последовательность изложения содержания статьи может быть изменена. Сведения, содержащиеся в заглавии статьи, не должны повторяться в тексте реферата;

- авторскую аннотацию (abstract) и название статьи – на английском языке. Аннотация призвана выполнять функцию независимого источника информации, должна быть информативной, оригинальной, то есть не дублировать текст реферата, структурированной; объем аннотации должен составлять 100 – 250 слов;

- сопроводительное письмо от организации, где выполнялась работа, или выписку из протокола заседания кафедры (для авторов, являющихся сотрудниками ВГТУ);

- экспертное заключение о возможности опубликования представленных материалов в открытой печати;

- справку, содержащую сведения об авторах (место работы, должность, ученая степень, адрес, телефон, e-mail) – на русском и английском языках. Требуется также указывать транслитерированное (с использованием букв латинского алфавита) название места работы автора, которое можно получить, воспользовавшись бесплатной программой транслитерации русского языка в латиницу на сайте <http://www.translit.ru/>;

- электронный вариант всех материалов, кроме сопроводительного письма (выписки из протокола заседания кафедры) и экспертного заключения.

4. Структура принимаемых к опубликованию статей следующая: индекс УДК; название статьи; фамилии и инициалы авторов; текст статьи; список использованных источников.

5. В тексте статьи должны быть последовательно отражены: состояние проблемы до начала ее изучения авторами; цель представленной работы и задачи, которые были решены для ее достижения; методика проведенных исследований; анализ полученных результатов, их научная новизна и практическая ценность; выводы. Полученные результаты должны быть обсуждены с точки зрения их научной новизны и сопоставлены с соответствующими известными данными. В выводах должны быть в сжатом виде сформулированы основные полученные результаты с указанием их новизны, преимуществ и возможностей применения. При необходимости должны быть также указаны границы применимости полученных результатов.

6. Список использованных источников оформляется отдельно в конце статьи; ссылки на публикации должны быть вставлены в текст в виде номера публикации в списке, заключенного в квадратные скобки. Ссылки на неопубликованные работы (диссертации, отчеты, депонированные рукописи) не допускаются. В библиографическом описании источника указываются фамилии и инициалы всех авторов, год издания (в круглых скобках), название источника (для статей – название журнала курсивом), номера страниц. Каждый источник должен иметь автора. Если упоминается сборник под редакцией, то в качестве автора указывается первый из ре-

дакторов. Если работа выполнена коллективом организации и конкретные авторы не указаны, в качестве автора указывается организация.

Если использованный источник опубликован не на английском языке, его библиографическое описание необходимо привести на языке оригинала и дополнить переводом на английский язык и транслитерацией всей указываемой в описании информации.

Примеры перевода и транслитерации библиографического описания (оформление соответствует требованиям, описанным выше для русскоязычного описания) приведены в таблицах.

Характеристика источника	Рекомендации по составлению пристатейных списков литературы по стандарту Harvard (Harvard reference system)
Книга	Nenashev, M.F. (1993), <i>Poslednee pravitelstvo SSSR</i> [Last government of the USSR], Moscow, Krom Publ., 221 p. Kanevskaya, R.D. (2002), <i>Matematicheskoe modelirovanie gidrodinamicheskikh protsessov razrabotki mestorozhdenii uglevodorodov</i> [Mathematical modeling of hydrodynamic processes of hydrocarbon deposit development], Izhevsk, 140 p.
Статья из журнала	Zagurenko, A.G., Korotovskikh, V.A., Kolesnikov, A.A., Timonov, A.V., Kardymon, D.V. (2008), Techno-economic optimization of the design of hydraulic fracturing [Tekhniko-ekonomicheskaya optimizatsiya dizaina gidrorazryva plasta], <i>Neftyanoe khozyaistvo – Oil Industry</i> , 2008, № 11, pp. 54-57.
Статья из электронного журнала	Swaminathan, V., Lepkoswka-White, E., Rao, B.R. (1999), Browsers or buyers in cyberspace? An investigation of electronic factors influencing electronic exchange, <i>Journal of Computer-Mediated Communication</i> , Vol. 5, № 2, available at: <a href="http://www.ascusc.org/jcmc/vol5/issue2/">www.ascusc.org/jcmc/vol5/issue2/</a> .
Материалы конференции	Usmanov, T.S., Gusmanov, A.A., Mullagalin, I.Z., Muhametshina, R. Ju., Svechnikov, A.V. (2007), Features of the design of field development with the use of hydraulic fracturing [Osobennosti proektirovaniya razrabotki mestorozhdeniy s primeneniem gidrorazryva plasta], New energy saving subsoil technologies and the increasing of the oil and gas impact, <i>Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Technological Symposium</i> , Moscow, 2007, pp. 267-272.
Электронные источники	APA Style (2011), available at: <a href="http://www.apastyle.org/apa-style-help.aspx">http://www.apastyle.org/apa-style-help.aspx</a> (accessed 5 February 2011). Pravila Tsicirovaniya Istochnikov [Rules for the Citing of Sources], (2011), available at: <a href="http://www.scribd.com/doc/1034528/">http://www.scribd.com/doc/1034528/</a> (accessed 7 February 2011).

Характеристика источника	Рекомендации по оформлению русскоязычного библиографического описания
Книга	Ненашев, М.Ф. (1993), <i>Последнее правительство СССР</i> , Москва, Кром, 221 с. Каневская, Р.Д. (2002), <i>Математическое моделирование гидродинамических процессов разработки месторождений углеводородов</i> , Ижевск, 140 с.
Статья из журнала	Загуренко, А.Г., Коротовских, В.А., Колесников, А.А., Тимонов, А.В., Кардымон, Д.В. (2008), Техничко-экономическая оптимизация дизайна гидроразрыва пласта, <i>Нефтяное хозяйство</i> , 2008, № 11, С. 54-57.
Материалы конференции	Усманов, Т.С., Гусманов, А.А., Муллагалин, И.З., Мухаметшина, Р. Ю., Свечников, А.В. (2007), Особенности проектирования разработки месторождений с применением гидроразрыва пласта, Новые ресурсосберегающие технологии недропользования и повышения нефтегазоотдачи, <i>Труды 6-го Международного технологического симпозиума</i> , Москва, 2007, С. 267-272.

Также подробные рекомендации по составлению пристатейных списков литературы по стандарту Harvard (Harvard reference system) практически для всех видов публикаций даны на сайте <http://www.emeraldinsight.com/authors/guides/write/harvard.htm?part=2>.

7. Оформление статьи должно удовлетворять следующим требованиям:

- статьи подаются на русском, белорусском или английском языке;
- объем публикации должен составлять от 14 000 до 22 000 печатных знаков (4–10 страниц), набранных шрифтом Times New Roman 12, с полями по 20 мм на сторону и одинарным межстрочным интервалом;
- в файлах не должно быть макросов, колонтитулов и других сложных элементов форматирования;
- исключается автоматическая или ручная расстановка переносов;
- формулы набираются в прикладной программе Microsoft Equation 3.0, входящей в состав MS Office 2007, Times New Roman 12 полужирный курсив. Межстрочный интервал перед строкой формул составляет от 6 до 10 пт.;
- таблицы располагаются после первого упоминания в тексте. При этом они не должны дублировать сведения, отображенные на графиках.

Заголовки таблиц располагаются по центру страницы. Табличные данные – по центру или выравниваются по левому краю. Шрифт – Times New Roman чёрный от 9 до 12 пт. Заливка не используется;

- иллюстрации располагаются после первого упоминания о них в тексте. Каждая иллюстрация должна иметь подрисуючную надпись (Times New Roman, 11 пт). Графики и диаграммы представляются как рисунки, выполняются в графическом редакторе, совместимым с MS Word. Для названия осей координат и указания их размерности применяют шрифт Times New Roman от 9 до 11 пт. Фотографии должны иметь контрастное черно-белое изображение. В электронном виде фотографии представляются в стандартах растровой графики JPG, Tiff, BMP, PCX разрешением не менее 300 dpi;
- иллюстрации, графики, диаграммы, формулы и таблицы должны быть сохранены на электронном носителе каждый отдельным файлом, файл должен называться по названию аналогичного элемента в тексте;
- иллюстрации, формулы, уравнения и сноски, встречающиеся в статье, должны быть пронумерованы в соответствии с порядком цитирования в тексте. Нумерация формул приводится арабскими цифрами в круглых скобках по правому краю страницы; порядковые номера



ссылок на использованные источники должны быть написаны внутри квадратных скобок;

- распечатка статьи должна полностью соответствовать приложенному файлу.

Рукописи, не соответствующие указанным требованиям, не принимаются.

8. Авторы статей несут ответственность за достоверность приводимых в статье данных и результатов исследований.

9. Редакция не взимает плату за опубликование научных статей.

10. Редакция предоставляет возможность первоочередного опубликования статей, представленных лицами, осуществляющими послевузовское обучение (аспирантура, докторантура, соискательство) в год завершения обучения.

11. Поступившие в редакцию статьи после предварительной экспертизы на соответствие предъявляемым требованиям направляются на рецензию специалистам. Окончательное решение о публикации принимается на заседании редакционной коллегии с учетом результатов рецензирования.

12. Отклоненные редколлегией рукописи статей авторам не возвращаются. В случае возврата статьи автору на доработку датой представления считается день получения редакцией исправленной рукописи.

13. Редакция оставляет за собой право производить редакционные изменения и сокращения в тексте статьи, реферате и abstract, не искажающие основное содержание статьи.

14. Статьи представляются в редакцию по адресу: 210035, Республика Беларусь, г. Витебск, Московский пр., 72, Скробовой Алине Сергеевне. Электронный вариант материалов допускается направлять по электронной почте на адрес [vestnik-vstu@tut.by](mailto:vestnik-vstu@tut.by) ответственному секретарю редакционной коллегии Рыклину Дмитрию Борисовичу.

**НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ**

**ВЕСТНИК**

**ВИТЕБСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

**№ 1 (32)**

Дизайн **Погорельская С.И.**

Вёрстка **Погорельская С.И.**

Редактор **Медведева Н.В.**

Подписано в печать 22.06.2017. Печать ризографическая. Гарнитура PT Sans. Усл. печ. листов 15,9.  
Уч.-изд. листов 13,8. Формат 60x90 1/8. Тираж 100 экз. Заказ № 95.

Свёрстано и подготовлено к печати редакционно-издательским отделом Витебского государственного технологического университета  
210035, Республика Беларусь, г. Витебск,  
Московский пр-т, 72.  
Свидетельство о государственной регистрации  
издателя, изготовителя, распространителя печатных  
изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.

Полиграфическое исполнение – учреждение образования «Витебский государственный университет им. П.М. Машерова»  
Отпечатано на ризографе УО «Витебский государственный университет им. П.М. Машерова»  
210038, Республика Беларусь, г. Витебск,  
Московский пр-т, 33.  
Свидетельство о государственной регистрации  
издателя, изготовителя, распространителя печатных  
изданий № 1/255 от 31 марта 2014 г.

Журнал зарегистрирован в Министерстве информации Республики Беларусь № 2554 от 31 мая 2005 г.